



CD e livro fazem parte do projeto executado pelo CETEM, com apoio financeiro da PETROBRAS.

[Entrar](#)

# FERTILIZANTES

## agroindústria & sustentabilidade

EDITORES: F.E. LAPIDO-LOUREIRO, R. MELAMED E J. FIGUEIREDO NETO

**CETEM**  **PETROBRAS**

Ministério da  
Ciência e Tecnologia





## Apresentação

A agroindústria convive com situações antagônicas: altas taxas de produtividade e crise alimentar; abundância em certos países e fome em outros; aumento da produção de biocombustíveis e diminuição das reservas de cereais; tecnologia de ponta em várias regiões e precariedade em muitas outras; busca de qualidade/quantidade e agressão ao meio ambiente.

Neste livro procura-se analisar fatos e indicar soluções que façam prevalecer as primeiras palavras desta enumeração de antíteses e mostrar a importância dos fertilizantes na produtividade/fertilidade dos solos e no desenvolvimento sustentável da agricultura. São 25 capítulos agrupados em cinco blocos temáticos, antecedidos da "Abertura" que, apresenta uma síntese sobre a evolução e características do agronegócio brasileiro.

No primeiro bloco, mostram-se os antecedentes históricos, a evolução e acentua-se como a correta fertilização e calagem dos solos, quando bem executadas, podem "substituir a terra", racionalizar o avanço das fronteiras agrícolas e reduzir ou até eliminar impactos ambientais.

Nos cinco capítulos do segundo bloco, são abordadas as fontes, produção e funções dos macro e micronutrientes na agricultura e a problemática da forte dependência externa do Brasil em relação aos fertilizantes.

No terceiro bloco, abordam-se, nos seus nove capítulos, as vantagens e complementaridade de materiais fertilizantes alternativos e moderadores, as suas características, processos de fabricação, contribuição na produtividade dos cultivos e na melhoria da qualidade dos produtos agrícolas.

Rotas alternativas de produção de fertilizantes fosfatados, como os termofosfatos e os organo-fosfatados, e o estudo de dois casos de lixiviação clorídrica de minérios

fosfáticos, o primeiro associado à recuperação de terras-raras, são apresentados no quarto bloco.

No último bloco, Eurípedes Malavolta e Milton Morais apresentam uma excelente síntese sobre "Nutrição de Plantas, Fertilidade do Solo, Adubação e a Economia Brasileira". Nela definem os meios e finalidade do Agronegócio e a sua participação na economia do País. Referem os autores que a adubação é um "meio maior, mais rápido e mais barato para se aumentar a produção via ganhos de produtividade. Adubo e corretivo são dois insumos indispensáveis para uma agricultura sustentável, que não necessita ser sustentada pelo artifício dos subsídios, barreiras alfandegárias, taxas e outros instrumentos protecionistas."

Estão de parabéns:

- o CETEM, por cumprir uma de suas principais missões, a de difundir conhecimentos e tecnologia para o setor mineral, neste caso o dos agrominerais;
- a PETROBRAS, pelo apoio financeiro que viabilizou a edição deste livro;
- os editores, autores e a reduzida equipe técnica, pela realização, com qualidade e dedicação, de um trabalho de tal dimensão.

Esperamos que, como afirmou o professor Eurípedes Malavolta, seja uma obra de referência obrigatória para não sei quantas profissões.

Rio de Janeiro, novembro de 2008.

Adão Benvindo da Luz  
Diretor



## Sumário

<b>Apresentação</b>	<b>5</b>
<b>Nota dos Editores</b>	<b>7</b>
<b>Agradecimentos</b>	<b>11</b>
<b>Prefácio</b>	<b>13</b>
<b>Abertura</b>	<b>21</b>
<b>Bloco 1 - O uso da tecnologia favorecendo o princípio da substituição da terra</b>	<b>31</b>
Capítulo 1 - Fertilidade do solo e produtividade agrícola: histórico	33
Capítulo 2 - Importância sócio-econômica-ambiental dos fertilizantes numa agricultura sustentável	81
Capítulo 3 - Desafios do milênio	133
Capítulo 4 - Implicações das interações físico-químicas no manejo de fertilizantes para sistemas de produção agrícola em solos tropicais	139
Capítulo 5 - Fertilização natural: rochagem, agricultura orgânica e plantio direto. Breve síntese conceitual	149
Capítulo 6 - Agricultura familiar: multifuncionalidade e sustentabilidade. O Caso do calcário agrícola	173
<b>Bloco 2 - Nutrientes: fontes, produção e sua importância na agroindústria</b>	<b>209</b>
Capítulo 7 - O nitrogênio na agricultura brasileira	211
Capítulo 8 - O fósforo na agroindústria brasileira	257
Capítulo 9 - O potássio na agricultura brasileira: fontes e rotas alternativas	305
Capítulo 10 - Macronutrientes secundários – Ca, Mg, S	337
Capítulo 11 - Micronutrientes na agricultura brasileira: disponibilidade, utilização e perspectivas	369



◀ Home ▶    ◀ Apresentação ▶    ◀ Sumário ▶    ◀ Créditos ▶

<b>Bloco 3 - Agricultura e sustentabilidade. Materiais fertilizantes e moderadores</b>	<b>383</b>
Capítulo 12 - Pó-de-rocha como fertilizante alternativo para sistemas de produção sustentáveis em solos tropicais	385
Capítulo 13 - Aplicação dos produtos da pirólise rápida de biomassa como fertilizante natural	397
Capítulo 14 - Calcário agrícola no Brasil	409
Capítulo 15 - O gesso nos agrossistemas brasileiros: fontes e aplicações	445
Capítulo 16 - Gipsita: características geológicas e sua aplicação na agricultura	479
Capítulo 17 - O gesso na agricultura brasileira	485
Capítulo 18 - Uso de zeólitas na agricultura	493
Capítulo 19 - Caracterização e perspectivas para o uso e manejo da turfa	509
Capítulo 20 - Impactos radiológicos da indústria do fosfato	525
<b>Bloco 4 - Rotas alternativas de produção de fertilizantes fosfatados</b>	<b>545</b>
Capítulo 21 - Uso agrônômico do termofosfato no Brasil	547
Capítulo 22 - Fabricação de um fertilizante organo-fosfatado	573
Capítulo 23 - Lixiviação clorídrica de rochas fosfáticas com recuperação de terras-raras: estudo de caso Angico dos Dias	585
Capítulo 24 - Ensaio de lixiviação clorídrica e sulfúrica de concentrado fosfático: estudo de caso	615
<b>Bloco 5 - Concluindo</b>	<b>629</b>
Capítulo 25 - Nutrição de plantas, fertilidade do solo, adubação e a economia brasileira	631
<b>Síglas</b>	<b>643</b>
<b>Glossário</b>	<b>649</b>



◀ Home ▶

◀ Apresentação ▶

◀ Sumário ▶

◀ Créditos ▶

## **Anexos**

### **Anexo I - Apresentações no Seminário de Lançamento**

Análise do mercado de fertilizantes

Aplicação dos produtos da pirólise rápida de biomassa como fertilizante

Produção de potássio: panorama do Brasil e do mundo

Oportunidades para o fortalecimento da indústria brasileira de fertilizantes

Nutrição e adubação da cana-de-açúcar

Remineralização de solos agrícolas

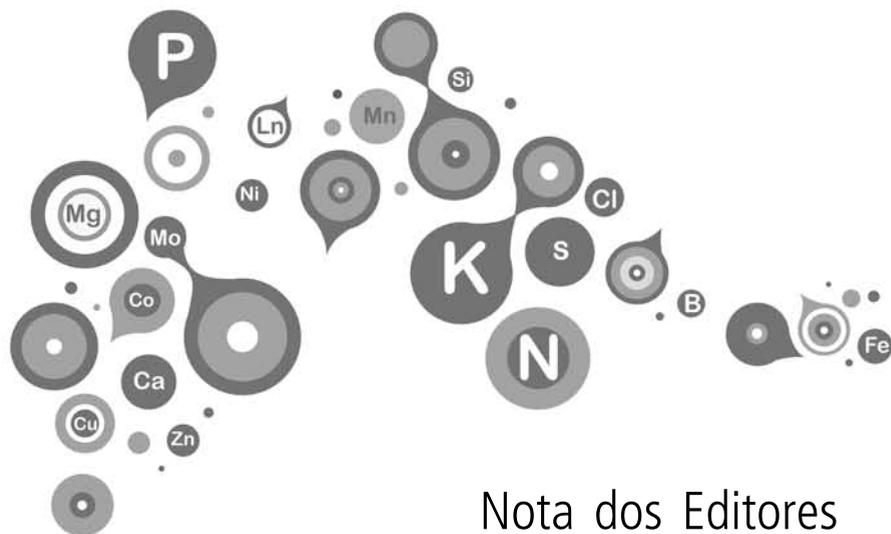
### **Anexo II - Apresentações do CETEM no I Congresso Brasileiro de Rochagem**

Avaliação de um minério de amazonita como fonte alternativa de potássio

Tecnologias de aplicação de glauconita como fonte de potássio na agricultura: o caso brasileiro e a experiência indiana

Ação de micro-organismos na solubilização de agrominerais

Potencial de uso de zeólitas na agropecuária



## Nota dos Editores

A aplicação de fertilizantes e a definição dos caminhos que levam ao desenvolvimento da fertilidade e da bioprodutividade dos solos são temas complexos que envolvem conhecimentos profundos sobre o comportamento de, pelo menos, metade dos elementos químicos da Tabela Periódica e sobre os minerais e rochas que os contêm. O seu estudo requer equipas especializadas em diferentes campos da ciência.

É essa a razão, e a principal característica, da abordagem abrangente feita nos 25 capítulos do livro, "Fertilizantes: Agroindústria e Sustentabilidade".

Todos os nutrientes, à exceção do nitrogênio, são de origem mineral. Cabe, pois, às entidades da área mineral, em conjunção com a agrônoma, desenvolverem, com urgência, estudos intensivos e abrangentes que possam contribuir para o equacionamento da problemática dos materiais fertilizantes pela definição de parâmetros agrogeológicos, minero-metalúrgicos e bioquímicos, se necessário percorrendo caminhos inovadores. Neste caso, a biotecnologia reveste-se já de grande importância, que certamente aumentará no futuro.

Os solos estão a deteriorar-se em todo o mundo, e 20% da terra cultivada já é considerada degradada de algum modo. Em termos de micronutrientes, a má nutrição atinge 3 bilhões de pessoas, segundo afirmam R.M. Welch e R.D. Graham no nº 396 de 2004 do *Journal of Experimental Botany*. Além disso, essa carência ceifa anualmente a vida de mais de 5 milhões de crianças nos países em desenvolvimento, como divulgou a FAO em 2004. Lembra-se também que a perda de biomassa e de matéria orgânica libera carbono na atmosfera e afeta a qualidade do solo e a capacidade de reter água e nutrientes.

Hoje em dia o uso de fertilizantes contribui de tal forma para o aumento da produtividade que é comum dizer-se que "alimentam o mundo". Por outro lado, a ampliação da produtividade e da eficiência na agricultura criam pressões adicionais nos solos que exigem estudos abrangentes em várias áreas da geologia (agrogeologia),

pedologia e da química dos solos, para evitar o seu empobrecimento ou até mesmo a sua exaustão, pela carência ou má utilização das fontes naturais ou importadas de nutrientes.

Estudos de longa duração realizados em vários países mostraram que, pelo menos, 30% a 50% da produção das culturas (40% a 60%, nos EUA e Inglaterra) é atribuível à utilização de nutrientes oriundos de fertilizantes comerciais. No Brasil e Peru, a contribuição média dos fertilizantes NPK associados à calagem atingiu, praticamente, valores de 100%, no caso da soja, e superiores a 95%, para arroz e milho, como afirmaram Stewart et al. no volume 97 do *Agronomy Journal*. Hoje exige-se, cada vez mais, que quantidade seja acompanhada de qualidade.

No gigantismo da produção agrícola e do agronegócio brasileiros há um ponto fraco: os fertilizantes. O País depende fortemente de importações que, em 2006, se traduziram em mais de 12 milhões de toneladas de matérias-primas e produtos fertilizantes importados, a um custo de 2,7 bilhões de dólares. Mesmo assim, o déficit de nutrientes, por área, continua a ser da ordem de 25 a 30 kg ha<sup>-1</sup>, fato que é abordado em vários capítulos do livro. Esses números, segundo referiu a FAO em 2004, e admitindo-se uma eficiência média de 60% para o N, 30% para o P e 70% para o K, traduziam um déficit de 859.000 toneladas de N, 514.000 de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 324.000 de K<sub>2</sub>O nos cultivares do Brasil.

Além de produzir alimentos que satisfaçam a premente necessidade do combate à fome e à subalimentação, principais alvos, a agroindústria tem de atender à forte demanda quantitativa resultante do crescimento populacional, à mudança do padrão alimentar nos países em desenvolvimento, à progressiva procura por produtos de melhor qualidade e, mais recentemente, a um novo desafio de grandes proporções: a produção de biocombustíveis, campo em que o Brasil já ocupa posição de destaque, com amplas perspectivas de ampliação.

O Diretor-geral da *International Fertilizer Association* (IFA), L. M. Maene, mostra a importância dos fertilizantes na disponibilidade de alimentos, afirmando que os fertilizantes comerciais contribuem, em escala global, com quase metade do nitrogênio contido nos cultivares. Por outro lado, a agricultura responde por 3/4 do nitrogênio consumido pela humanidade por meio das proteínas da carne (pecuária). Assim pode-se concluir que 1/3 das proteínas da alimentação humana resultam da ação dos fertilizantes.

Para atender aos três pilares fundamentais da agroindústria - produtividade, qualidade e sustentabilidade - a agricultura brasileira terá de considerar, além da correta utilização de fertilizantes, os caminhos da agricultura de conservação/plantio direto, agricultura orgânica, rotação de culturas, desenvolvimento de variedades de plantas perenes (substituição de culturas de uma única estação por perenes), calagem, gessagem e remineralização dos solos, com aplicação direta de vários materiais sob a forma de 'pó-de-rocha' (rochagem / "rocks-for-crops"), envolvendo diversas rochas, minerais, miné-

rios pobres e rejeitos de diferentes indústrias, biofertilização e biotecnologia. Estes caminhos terão de apoiar-se em estudos intensos, para tornar efetivo e economicamente viável o desenvolvimento social e sustentável da agroindústria no Brasil e para reduzir a dependência externa de fertilizantes.

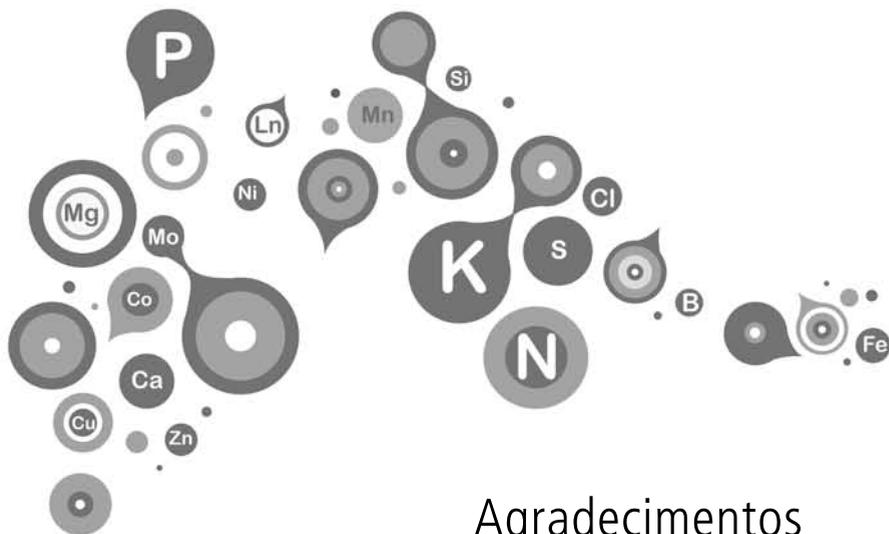
O CETEM, com a edição deste livro, de ampla e oportuna abordagem temática, os autores dos capítulos, que transmitiram o seu saber graciosamente, e a Petrobras, que desde início sempre se identificou com a idéia e deu apoio financeiro, esperam poder dar uma contribuição válida ao equacionamento da problemática dos fertilizantes e da produtividade sustentável, ambientalmente correta e socialmente justa, na agricultura do Brasil.

Um agradecimento/homenagem muito especial ao professor Eurípedes Malavolta, um dos maiores nomes, das Ciências Agronômicas. Desde o momento em que lhe apresentamos a idéia da edição do livro e da sua temática, sempre a apoiou, colaborou e se identificou com ela. Já o designava como "nosso livro". Seu saber e valiosíssima colaboração estão presentes na "Abertura" e em dois valiosos capítulos sobre o macronutriente "Nitrogênio" (Capítulo 7) e "Nutrição de Plantas, Fertilidade do Solo e a Economia Brasileira" (Capítulo 25). O professor Malavolta desapareceu de nosso convívio, mas em nenhum momento deixará o melhor de nossas lembranças.

Chama-se a atenção para o fato das notas explicativas utilizadas em alguns capítulos poderem ser encontradas ao final de cada um deles, referenciadas por numeração seqüencial. Correspondem a notas de rodapé.

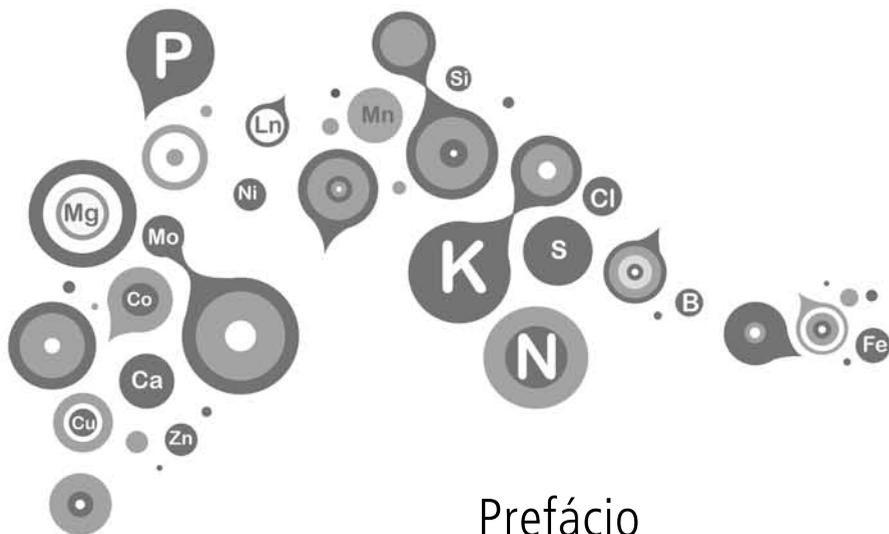
Rio de Janeiro, novembro de 2008.

Os Editores



## Agradecimentos

- à Petrobrás pelo apoio financeiro que viabilizou a edição deste livro;
- aos autores dos capítulos que aceitaram transmitir suas idéias e saber graciosamente, com dedicação, competência e entusiasmo;
- às instituições, onde os autores exercem suas atividades, por terem permitido que fossem divulgados os trabalhos de pesquisa, seus caminhos e resultados
- a Thatyana P. Rodrigues de Freitas pela minuciosa revisão gramatical e ortográfica
- a Vera Lúcia do Espírito Santo Souza que, com grande competência e entusiasmo criou, montou e executou o projeto gráfico.



## Prefácio

Desde o início da pesquisa científica sobre a nutrição mineral de plantas, no século XIX, que se buscam, estudam, aplicam e avaliam compostos químicos e materiais diversos para alimento dos vegetais.

O homem, e todos os animais, dependem totalmente das plantas para viver. Por outro lado, a planta, para se desenvolver, depende dos elementos químicos (nutrientes) contidos no solo. Se a “exportação” dos nutrientes for superior à reposição, o solo deteriora-se, a produtividade diminui e a qualidade do produto decresce. A percepção pública sobre fertilizantes minerais e a sua importância na fertilidade do solo não leva em conta, em geral, estes simples fatos.

Surge assim a principal razão da edição de FERTILIZANTES: AGROINDÚSTRIA E SUSTENTABILIDADE, livro polivalente que inclui autores de renome, marcantes em diversas áreas de pesquisa, e que aborda, de forma abrangente e interdisciplinar, os caminhos, importância e função dos fertilizantes numa agricultura que se quer economicamente desenvolvida, ecologicamente correta, socialmente justa, sustentável e não sustentada.

Como referia o Professor Eurípedes Malavolta, o homem, desde que surgiu sobre a Terra, é uma planta, ou uma planta transformada.

*“Por sua vez, a planta também necessita de alimento para viver, retirando-o do ar, da água e do solo e, frequentemente, no todo ou em parte, do fertilizante mineral e/ou do adubo orgânico – é necessário alimentar o solo, que alimenta a planta, que alimenta o homem e o animal. Segue-se daí que, sem “comer”, a planta não vive e, se não houver planta, o homem não vive.*

*Dentro deste raciocínio simples cabe a ciência da Nutrição Mineral de Plantas (NMP).*

*Para que seja aplicada na prática agrícola é indispensável a colaboração de duas outras ciências: Ciência do Solo – física, química, biologia, fertilidade – e Adubos/Adubação.*

*Resumidamente, a NMP ensina o que a planta necessita, quanto e quando; a Ciência do Solo mostra o que o solo pode oferecer; Adubos e Adubação ensina*

como fazê-lo em termos econômicos e sustentáveis dos pontos de vista social e ambiental.

*A ação e interação positiva das três ciências, ou áreas do conhecimento, tem um papel maior na produção de alimento, fibra e energia renovável, componentes do agronegócio e da riqueza das nações.*”

(In: Eurípedes Malavolta – “O futuro da nutrição de plantas tendo em vista aspectos agrônômicos, econômicos e ambientais.” - *Informações Agronômicas* n° 121 – março/2008)

Fertilizantes minerais compreendem elementos que ocorrem naturalmente e que são essenciais para a vida. Dão vida, não são biocidas.

São 19 os elementos considerados necessários e/ ou essenciais para as plantas superiores e que satisfazem os critérios estabelecidos por Arnon e Stout, 1939 (In: MALAVOLTA, 2008, *op. cit.*):

- critério direto – o elemento faz parte de um composto ou de uma reação crucial do metabolismo;
- critério indireto – abrange as seguintes circunstâncias: (a) na ausência do elemento a planta morre antes de completar o seu ciclo, (b) o elemento não pode ser substituído por nenhum outro;

Três dos nutrientes têm que ser aplicados em grandes quantidades: **nitrogênio**, **fósforo** e **potássio**. Outros três, **enxofre**, **cálcio** e **magnésio** também são necessários em quantidades elevadas. São os **macronutrientes**, **principais** e **secundários**, respectivamente. Juntamente com o carbono, oxigênio e hidrogênio, são os constituintes de muitos componentes das plantas, tais como proteínas, ácidos nucléicos e clorofila. São essenciais para processos de transferência de energia, manutenção da pressão interna e ação enzimática. Os metais são constituintes de enzimas que controlam diferentes processos nas plantas.

Sete outros elementos são necessários em quantidades pequenas e são conhecidos como **micronutrientes**.

Nutrientes	Metais	Não-metais
Macronutrientes	K – Ca – Mg	C – H – O – N – P - S
Micronutrientes	Fe – Mn – Zn – Cu – Mo - Co – Ni	B – Cl - Se

Todos têm uma grande variedade de funções, essenciais no metabolismo das plantas.

A deficiência de qualquer desses nutrientes pode comprometer o desenvolvimento das plantas.

Outros, como o sódio (Na) e o silício (Si) são exemplos de **elementos benéficos**, assim definidos porque sem eles a planta vive, mas, em dadas condições, podem melhorar o crescimento e aumentar a produção.

Os lantanídeos, embora não referidos, há muito que são utilizados na China, como micronutrientes. As entidades chinesas referem aumento de produtividade, pela

sua aplicação, em vários cultivares, entre os quais os de cana-de-açúcar. Citam ganhos de até 10%. É assunto abordado nos Capítulos 5 e 8.

Por outro lado como o Si é um micronutriente importante no cultivo da cana-de-açúcar, fica assim em aberto a possibilidade da utilização, como material fertilizante, dos silicitos de Catalão (GO) e de Araxá (MG), rochas abundantes neste dois complexos carbonatíticos e que apresentam elevados teores de lantanídeos (Ln) e de silício (Si)

Os fertilizantes, tema deste livro, são usados, na agricultura, para:

- complementar a disponibilidade natural de nutrientes do solo com a finalidade de satisfazer a demanda das culturas que apresentam um alto potencial de produtividade e de levar a produções economicamente viáveis;
- compensar a perda de nutrientes decorrentes da remoção das culturas, por lixiviação ou perdas gasosas;
- melhorar as condições não favoráveis, manter boas condições do solo para produção das culturas ou contribuir para recuperar solos.

Segundo referem Mário A. Barbosa Neto, Presidente da Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA), no 'Prefácio', e Wladimir Antônio Puggina, Presidente da *International Fertilizer Industry Association*, na 'Apresentação' do livro "Fertilizantes Minerais e o Meio Ambiente", de autoria de K.E. Isherwood, publicado pelas IFA / UNEP com edição em português da ANDA:

*"O Brasil é um dos poucos países do mundo com enorme potencial para aumentar a sua produção agrícola, seja pelo aumento de produtividade, seja pela expansão da área plantada. Com isto, estará contribuindo, não somente para uma maior oferta de alimentos no contexto mundial, mas, também, para atender a crescente demanda interna de sua população.*

*Tanto para o aumento da produtividade das culturas como para a expansão da fronteira agrícola no Brasil, o papel positivo dos fertilizantes minerais tem sido comprovado cientificamente pelos centros de pesquisa, universidades, empresas públicas e privadas e pelos próprios agricultores. O uso eficiente de fertilizantes minerais é o fator que, isoladamente, mais contribui para o aumento da produtividade agrícola.*

*Os fertilizantes promovem o aumento de produtividade agrícola, protegendo e preservando milhares de hectares de florestas e matas nativas, assim como a fauna e a flora. Sendo assim, o uso adequado de fertilizantes se tornou ferramenta indispensável na luta mundial de combate à fome e subnutrição."*

Isherwood, o autor do livro, acentua, logo no primeiro capítulo, que:

- fertilizantes minerais são materiais, naturais ou manufaturados, que contêm nutrientes essenciais para crescimento normal e desenvolvimento das plantas;

- nutrientes de plantas são alimentos para as espécies vegetais, algumas das quais são utilizadas diretamente por seres humanos como alimentos, para alimentar animais, suprir fibras naturais e produzir madeira;
- a agricultura, em conjunto com outros elementos tais como água, energia, saúde e biodiversidade, tem uma função de grande relevância na conquista do Desenvolvimento Sustentável;
- a indústria de fertilizantes, por sua vez, tem desempenhado, por mais de 150 anos, um papel fundamental no desenvolvimento da agricultura e no atendimento das necessidades nutricionais de uma população continuamente crescente;
- em geral, os fertilizantes são responsáveis por cerca de um terço da produção agrícola, sendo que em alguns países chegam a ser responsáveis por até cinquenta por cento das respectivas produções nacionais;
- os fertilizantes ao promoverem o aumento de produtividade agrícola, protegem e preservam milhares de hectares de florestas e de matas nativas, assim como a fauna e a flora, pelo que o uso adequado de fertilizantes tornou-se ferramenta indispensável na luta mundial de combate à fome e à subnutrição;
- os fertilizantes são usados para: i) suplementar a disponibilidade natural do solo com a finalidade de satisfazer a demanda das culturas que apresentam um alto potencial de produtividade e levá-las a produções economicamente viáveis; ii) compensar a perda de nutrientes decorrentes da remoção das culturas, por lixiviação ou perda gasosa; iii) melhorar as condições adversas ou manter as boas condições do solo para produção das culturas.

#### Segundo Malavolta:

*Macro e micronutrientes exercem as mesmas funções em todas as plantas superiores. Por esse motivo, sua falta ou excesso provoca a mesma manifestação visível – o sintoma. Inicialmente há uma lesão ou alteração no nível molecular, não se forma um composto, uma reação não se processa. Em seguida, há alterações celulares, no tecido e aparece o sintoma visível. O que acontece com os elementos individualmente é detalhado em Römheld (2001) e Malavolta (2006) (In: MALAVOLTA, 2008, op. cit.)*

*Tem sido acumulado um grande volume de informações sobre as exigências de macro e micronutrientes: quantidades totais, exportação na colheita, absorção durante o ciclo e repartição nos diversos órgãos. No Brasil, dispõe-se de dados das principais culturas: arroz, milho, trigo, cana-de-açúcar; hortaliças folhosas e condimentares; hortaliças de bulbo, tubérculo, raiz e fruto; plantas forrageiras; eucalipto e Pinus; cacau, café, chá, fumo e mate; frutíferas tropicais (RAIJ et al., 1996; FERREIRA et al., 2001; MALAVOLTA, 2000 - In: MALAVOLTA, 2008, op. cit.).*

Malavolta (2008), apresenta uma excelente síntese das funções dos macro e micronutrientes, reproduzida a seguir:

### MACRONUTRIENTES

Carbono, hidrogênio, oxigênio	→	Estrutura dos compostos orgânicos.
Nitrogênio	→	Aminoácidos, proteínas, enzimas, DNA e RNA (purinas e pirimidinas), clorofila, coenzimas, colina, ácido indolilacético.
Fósforo	→	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> – regulação da atividade de enzimas. Liberação de energia do ATP e do fosfato de nucleotídeo de adenina – respiração, fixação de CO <sub>2</sub> , biossíntese, absorção iônica. Constituinte dos ácidos nucléicos. Fosfatos de uridina, citosina e guanidina – síntese de sacarose, fosfolipídeos e celulose. Fosfolipídeo de membrana celular.
Potássio	→	Economia de água. Abertura e fechamento dos estômatos – fotossíntese. Ativação de enzimas – transporte de carboidratos fonte-dreno.
Cálcio	→	Como pectato, na lamela média, funciona como “cimento” entre células adjacentes. Participa do crescimento da parte aérea e das pontas das raízes. Redução no efeito catabólico das citocininas na senescência. No vacúolo, presente como oxalato, fosfato, carbonato – regulação do nível desses ânions. Citoplasma: Ca-calmodulina como ativadora de enzimas (fosfodiesterase cíclica de nucleotídeo, ATPase de membrana e outras). Mensageiro secundário de estímulos mecânicos, ambientais, elétricos. Manutenção da estrutura funcional do plasmalema.
Magnésio	→	Ocupa o centro do núcleo tetrapirrólico da clorofila. Cofator das enzimas que transferem P entre ATP e ADP. Fixação do CO <sub>2</sub> : ativação da carboxilase da ribulose fosfato e da carboxilase do fosfoenolpiruvato. Estabilização dos ribossomas para a síntese de proteínas.
Enxofre	→	Presente em todas as proteínas, enzimáticas ou não, e em coenzimas: CoA – respiração, metabolismo de lipídeos; biotina – assimilação de CO <sub>2</sub> e descarboxilação; tiamina – descarboxilação do piruvato e oxidação de alfacetoácidos. Componente da glutatona e de hormônios. Pontes de bissulfato, -S-S-, participam de estruturas terciárias de proteínas. Formação de óleos glicosídicos e compostos voláteis. Formação de nódulos das leguminosas. Ferredoxina – assimilação do CO <sub>2</sub> , síntese da glicose e do glutamato, fixação do N <sub>2</sub> , redução do nitrato.

## MICRONUTRIENTES

Boro	→	Relacionado com crescimento do meristema, diferenciação celular, maturação, divisão e crescimento – necessário para a síntese de uracila, parte do DNA. Tem influência no crescimento do tubo polínico. Proteção do ácido indolilacético oxidase. Bloqueio da via da pentose fosfato, o que impede a formação de fenóis. Biossíntese de lignina.
Cloro	→	Exigido para a decomposição fotoquímica da água (reação entre H e Cl): aumenta a liberação de O <sub>2</sub> e a fotofosforilação. Transferência de elétrons do OH para a clorofila <b>b</b> no fotossistema II.
Cobalto	→	Parte da coenzima da vitamina B12 – fixação simbiótica do nitrogênio. Ativação da isomerase da metilmalonil CoA – síntese do núcleo pirrólico. Outras enzimas ativadas: mutase de glutamato, desidratase do glicerol, desidratase do diol, desaminase de etanolamina, mutase de lisina.
Cobre	→	Plastocianina – enzima envolvida no transporte eletrônico do fotossistema II. Mitocôndrios – oxidases do citocromo – parte da via respiratória. Outras enzimas – redução do O <sub>2</sub> a H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ou H <sub>2</sub> O. Membranas tilacóides e mitocôndrias: fenolases oxidam fenóis que são oxidadas a quinonas. Fenóis e lacase – síntese da lignina. Cloroplastos: três isoenzimas da dismutase de superóxido (SOD) – proteção da planta contra o dano do superóxido (O <sub>2</sub> <sup>-</sup> ) que é reduzido a H <sub>2</sub> O. Neste caso, a proteína SOD contém os íons Cu e Zn na sua estrutura. Citoplasma e parede celular: oxidase de ácido ascórbico oxidado a dehidroascorbato. Oxidases de aminas: desaminação de compostos com NH <sub>3</sub> , inclusive poliaminas.
Ferro	→	Participante de reações de oxi-redução e de transferência de elétrons. Componente de sistemas enzimáticos: oxidases do citocromo, catalases, SOD, peroxidases, ferredoxina (proteínas) exigida para a redução do nitrato e do sulfato, fixação do N <sub>2</sub> e armazenamento de energia (NADP). Papéis indiretos: síntese da clorofila e de proteínas, crescimento do meristema da ponta da raiz, controle da síntese de alanina.
Manganês	→	Atua na fotólise da água, no processo de transferência de elétrons que catalisa a decomposição da molécula de H <sub>2</sub> O. Cofator para: redutases de nitrito e hidroxilamina, oxidase de ácido indolacético, polimerase do RNA, fosfoquinase e fosfotransferases. SOD: neutralização de radicais livres formados na reação de Hill; controle de superóxidos e radicais livres produzidos pelo ozônio e por poluentes da atmosfera. Germinação do pólen e crescimento do tubo polínico.
Molibdênio	→	Componente essencial da redutase de nitrato (NO <sub>3</sub> –NO <sub>2</sub> ) e da nitrogenase (fixação do N atmosférico). Oxidases de sulfito e de xantina.
Níquel	→	Hidrogenase – fixação biológica do N, exigência de níquel e selênio. Urease – metal-enzima com Ni. Resistência a doenças (ferrugens).
Selênio	→	Constituinte do RNA transferido (selenionucleosídeo). Aminoácidos protéicos. Ferredoxina com Se no lugar do S encontrado no sal (pinho).
Zinco	→	Enzima: anidrase carbônica, SOD, aldolase, sintetase do triptofano, ribonuclease (inibição).

O Brasil é um gigante na agroindústria mundial, pelo volume da produção e exportação conforme demonstrado a seguir:

Produto	Produção	Exportação
Café	1º	1º
Açúcar	1º	1º
Suco de laranja	1º	1º
Carne bovina	2º	1º
Soja e derivados	2º	1º
Carne de frango	3º	1º
Algodão	6º	3º

Por outro lado, apresenta forte dependência externa de nutrientes que, em 2007, se traduziu na importação de 17,5 milhões de toneladas de produtos fertilizantes. Mesmo assim, assumindo-se uma eficiência média de 60% para o N, 30% para o P e 70% para o K, há um déficit anual, na agricultura brasileira, de quase 900 mil toneladas de nitrogênio (embora considerando-se todo o N da soja e do feijão como provenientes da fixação biológica), um pouco mais 400 mil toneladas de  $P_2O_5$  e igual quantidade de  $K_2O$ .

Este é assunto analisado em vários capítulos do livro. Logo no primeiro mostra-se que “o déficit total de nutrientes corresponde a cerca de 30% do consumo atual no País, ou seja, um déficit, por área, de 25 a 30 kg ha<sup>-1</sup> de nutrientes”. Isto significa que o recurso solo está a ser ‘minado’ e, a longo prazo, trazer conseqüências altamente danosas para a sustentabilidade da agricultura brasileira.

Segundo E. Malavolta e M. Morais indicam no Capítulo 7, “se todo o lixo e o esgoto ‘produzidos’ pelos paulistas fossem reciclados, o total de nutrientes seria, em 1000 t: N – 33.972;  $P_2O_5$  – 4.662;  $K_2O$  – 23.408. Esses números são maiores que os correspondentes ao consumo de adubos minerais”.

Síntese esclarecedora sobre Adubação, Produtividade e Sustentabilidade é apresentada, por aqueles autores, no item 6, do Capítulo 7.

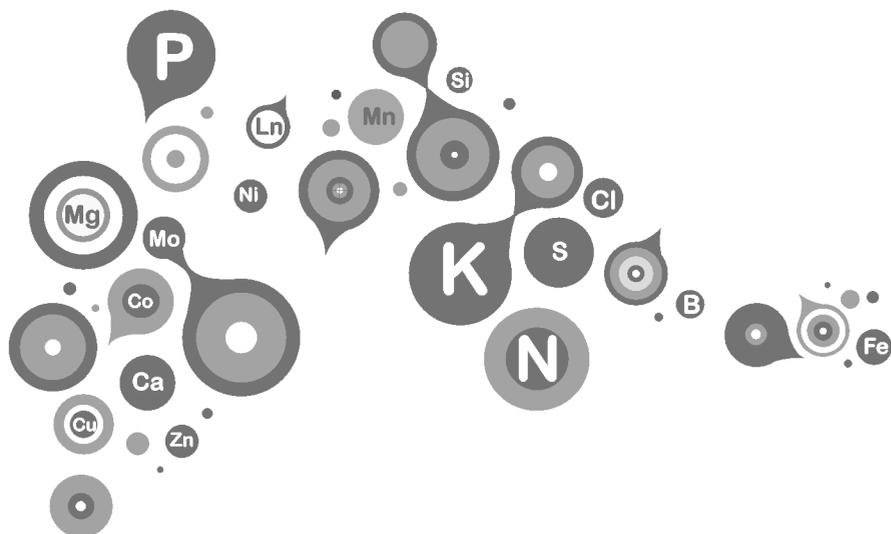
O gigantismo do agronegócio brasileiro, que movimenta mais de 500 bilhões de reais, isto é, cerca de 30% do PIB, contrapõe-se à altíssima dependência externa de importações de nutrientes para a agricultura que, no caso do potássio é superior a 90%, leva à seguinte conclusão: o Brasil é um gigante na agropecuária, mas “gigante de pés de barro” em que os fertilizantes são o lado frágil, tanto mais que os solos brasileiros apresentam fortes limitações e necessitam de elevadas taxas de fertilização.

O estudo das várias incidências desta situação, e os caminhos para solucioná-la, é o que os autores apresentam no livro: analisam e comentam situações, desenvolvem idéias, sugerem caminhos e mostram a necessidade de trabalhos, intensos e abrangentes, de P, D & I, tanto por parte das entidades oficiais como das próprias empresas, para que a área mínero-química não continue a somar atrasos em relação ao desenvolvimento agrícola, ainda mais agora com o grande incremento dos cultivares para biocombustíveis.

Como foi referido, em 1989, pelo Comité Técnico Executivo (TAC) do CGIAR, a sustentabilidade deve ser tratada como um conceito dinâmico e uma agricultura sustentável deve ter como objetivo manter a produção em níveis necessários.

Rio de Janeiro, março de 2009.

F.E. Lapido-Loureiro  
Geólogo, D.Sc / Geoquímica,  
Pesquisador Emérito CETEM / MCT



# 1 O uso da tecnologia favorecendo o princípio da substituição da terra

<b>Capítulo 1</b> Fertilidade do solo e produtividade agrícola	<b>33</b>
<b>Capítulo 2</b> Importância e função dos fertilizantes numa agricultura sustentável e competitiva	<b>81</b>
<b>Capítulo 3</b> Desafios do milênio	<b>133</b>
<b>Capítulo 4</b> Implicações das interações físico-químicas no manejo de fertilizantes para sistemas de produção agrícola em solos tropicais	<b>139</b>
<b>Capítulo 5</b> Fertilização natural: rochagem, agricultura orgânica e plantio direto. Breve síntese conceitual	<b>149</b>
<b>Capítulo 6</b> Agricultura familiar - multifuncionalidade E sustentabilidade. O caso do calcário agrícola	<b>173</b>

## “Entre Aspas”

Ao contrário dos animais que são estreitamente solidários com o meio ambiente, o homem só pode sobreviver se o transformar e o adaptar às suas necessidades (Carl Grimberg - Historiador).

A idade ecozóica representa a culminação da idade humana da globalização. A característica básica reside no novo acordo de respeito, veneração e mútua colaboração entre Terra e Humanidade. É a idade da ecologia integral (Leonardo Boff - Teólogo, escritor, professor universitário).

*Water, Energy, Health, Agriculture, and Biodiversity. Five areas that can be remembered by a simple acronym: WEHAB. You might think of it like this: We inhabit the earth. And we must rehabilitate our one and only planet* (Kofi Annan - Ex-Secretário Geral da ONU).

Fertilizantes minerais compreendem elementos que ocorrem naturalmente e que são essenciais para a vida. Eles dão a vida e não são biocidas (K.E. Isherwood).

A maioria dos efeitos adversos do uso de fertilizantes resulta da sua aplicação inadequada pelos agricultores. /.../ Levar as informações sobre técnicas corretas aos agricultores e persuadi-los para que as adotem é uma tarefa difícil (Jacqueline A.

de Larderel, Diretora da UNEP & Luc M. Maene, Diretor Geral da IFA).

*There is need for education not only to improve the knowledge of the farmer but also to inform politicians and decision-makers on the consequences of continuous soil nutrient mining due to unbalanced fertilization. /.../ Mineral fertilizer is the primary source of nutrients and usually contributes 35 to 50% to yield increases /.../ One kg mineral fertilizer can achieve, under farmer conditions, about 10 kg additional yield* (A. Kraus - Ex-Presidente do International Potash Institute - IPI).

*Only about 12% of the soils in the tropics have no inherent constraint. Of the remaining land, 9% has limited nutrient retention capacity, 23% Al toxicity, 15% high P fixation and 26% low K reserves* (Hanson).

*Fertilizers play an essential role in securing food supplies around the World. Commercial fertilizers contribute almost half of the nitrogen taken up by the world's crops. These crops in turn provide about three quarters of the nitrogen in protein that humans eat, directly through animals. In other words, about one third of the protein consumed by mankind is the direct result of fertilizer use* (L.M. Maene, Diretor Geral / IFA).

# Capítulo 1 - Fertilidade do solo e produtividade agrícola

## Os autores

---

### Alfredo Scheid Lopes

Eng. Agrônomo, D.Sc. Professor Emérito da UFLA, Consultor do ANDA. E-mail: ascheidl@ufla.br

### Luiz Roberto Guimarães Guilherme

Eng. Agrônomo, D.Sc. Professor UFLA - E-mail: guilherme@ufla.br

## 1. Introdução

A agricultura brasileira experimentou um grande desenvolvimento durante os últimos 100 anos, obtendo aumentos significativos na produtividade de um grande número de culturas, notadamente nas últimas três décadas. Isto foi resultado de uma série de inovações tecnológicas que surgiram baseadas em inúmeras pesquisas e também na difusão do uso dessas técnicas.

Um dos componentes mais importantes para esse desenvolvimento da agricultura, principalmente no que diz respeito ao aumento da produtividade agrícola, sem esquecer os outros fatores de produção, foi a pesquisa em fertilidade do solo e as inovações científicas e tecnológicas que permitiram o uso eficiente de corretivos e de fertilizantes na agricultura brasileira. Segundo dados da *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO), cada tonelada de fertilizante mineral aplicado em um hectare, de acordo com princípios que permitam sua máxima eficiência, equivale à produção de quatro novos hectares sem adubação. É, portanto, indissociável a estreita inter-relação entre fertilidade do solo e produtividade agrícola.

Embora a disciplina Fertilidade do Solo, como parte das ciências agrárias e afins, seja de implantação relativamente recente nas escolas e universidades, é cada vez mais acentuada a importância que ela tem para a segurança alimentar no Brasil e no mundo. Entretanto, estudantes dessa disciplina geralmente desconhecem relatos pertinentes às observações práticas, aos trabalhos de pesquisa e a outros fatos importantes que, pela sua evolução através dos tempos, permitiram que se alcançasse o

patamar de conhecimento em que nos situamos hoje, no mundo e no Brasil. Esses aspectos são abordados nos primeiros tópicos deste capítulo.

Discute-se, a seguir, o manejo da fertilidade do solo no contexto atual e futuro da agricultura brasileira, com enfoque para as causas da baixa fertilidade dos solos, a produtividade agrícola brasileira, o uso eficiente de corretivos e de fertilizantes e as perspectivas quanto a fatores que nos permitem antever um papel de destaque para o Brasil, face à crescente demanda por alimentos no mundo.

Finalmente, como considerações finais, são mostrados três exemplos de como o crescimento sustentável da produtividade agrícola brasileira transcende aos seus efeitos apenas no campo, tendo, também, profundas implicações na preservação ambiental e no desenvolvimento econômico e social.

## 2. Histórico

O período do desenvolvimento da raça humana durante o qual o homem iniciou o cultivo das plantas marca o nascimento da agricultura. A época exata em que isso aconteceu não é conhecida, mas certamente foi há milhares de anos antes de Cristo. Até então, o ser humano tinha hábitos nômades e vivia quase exclusivamente da caça e colheita para a obtenção de seus alimentos.

Com o passar do tempo, o homem foi se tornando menos nômade e mais e mais dependente da terra em que vivia. Famílias, clãs e vilas se desenvolveram e, com isto, o desenvolvimento da habi-

lidade de produzir, ou seja, assim surgiu a agricultura.

O que deve ser destacado é que, desde a pré-história, quando o homem deixou as atividades nômades alimentando-se de produtos da caça e passou a se estabelecer em áreas mais definidas, a fertilidade do solo e a produtividade das culturas passaram a interagir mais ou menos profundamente.

Um dos capítulos mais concisos e objetivos sobre o passado e o presente da fertilidade do solo no mundo foi escrito por Tisdale, Nelson e Beaton (1990), no livro *Soil Fertility and Fertilizers*. Os tópicos 2.1 a 2.6, a seguir, constituem-se numa tradução dessa literatura, acrescidos de outros pontos históricos relevantes descritos por outros autores. Na seqüência, são apresentados alguns fatos marcantes da história da fertilidade do solo no Brasil.

## 2.1. Relatos antigos

Uma das regiões do mundo onde existem evidências de civilizações muito antigas é a Mesopotâmia, situada entre os rios Tigre e Eufrates, onde se localiza atualmente o Iraque. Documentos escritos em 2500 a.C. mencionam, pela primeira vez, a fertilidade da terra e sua relação com a produtividade de cevada, com rendimentos variando de 86 até 300 vezes em algumas áreas, ou seja, uma unidade de semente plantada levou a uma colheita de 86 a 300 unidades.

Cerca de 2000 anos mais tarde, o historiador grego Heródoto relata suas viagens pela Mesopotâmia e menciona produtividades excepcionais obtidas pelos habitantes da região. As altas produções eram, provavelmente, resultado de avançados sistemas de irrigação e solos de alta fertilidade, fertilidade esta atribuída, em parte, às enchentes anuais dos rios. Teofrasto foi outro que deixou relatos, cerca de 300 a.C., sobre a riqueza dos aluviões do rio Tigre, mencionando que a água era deixada o maior tempo possível, de modo a permitir que uma grande quantidade de silte fosse depositada.

Com o passar do tempo, o homem observou que certos solos não iriam produzir satisfatoriamente quando cultivados continuamente. A prática de adicionar esterco de animais ou restos de vegetais ao solo, para restaurar sua fertilidade, provavelmente, foi decorrente dessas observações, mas não se sabe como e quando a adubação realmente começou. A mitologia grega, entretanto, oferece uma explicação pitoresca: Augeas, um lendário rei de Elis, era famoso por seu estábulo, que tinha 3.000 cabeças de bovinos. Este estábulo não havia sido limpo por 30 anos, e o rei contratou Hércules para limpá-lo, concordando em dar-lhe 10% do seu rebanho em pagamento. Diz-se que Hércules fez o seu trabalho, fazendo passar pelo estábulo o rio Alpheus, removendo os detritos e presumivelmente fazendo com que estes ficassem depositados nas terras adjacentes. O rei Augeas se recusou a pagar o prometido seguindo-se uma guerra na qual Hércules matou o rei.

Mesmo no épico poema grego a *Odisséia*, atribuído ao poeta grego, cego, Homero, que se acredita ter vivido entre 900 e 700 a.C., é mencionada a aplicação de esterco em videiras, pelo pai de Odisseu. Também é mencionado um monte de esterco, fato que sugere uma sistemática coleta e armazenamento deste material. Argos, o fiel cão de caça de Odisseu, é descrito como estando em cima de tal monte de esterco quando o seu dono voltou depois de uma ausência de 20 anos. Esses escritos sugerem que o uso de esterco era uma prática agrícola na Grécia, nove séculos antes de Cristo.

Xenofonte, que viveu entre 434 e 355 a.C., observou que *“o estado tinha ido às ruínas”* porque *“alguém não sabia que era importante aplicar esterco à terra”*. E outra vez escreveu, *“... não existe nada tão bom como o esterco”*.

Teofrasto (372-287 a.C.) recomendava o uso abundante de esterco nos solos rasos, mas sugeria que solos ricos fossem menos adubados. Ele também endossava a prática hoje considerada boa - o uso de camas (palhas) nos estábulos. Ele mencionava que isso iria conservar a urina e as fezes e que o valor do húmus do esterco seria aumentado. É interessante notar que Teofrasto sugeriu que

plantas com maior exigência de nutrientes também teriam alto requerimento de água.

As áreas de plantio de verduras e de oliveiras ao redor de Atenas eram enriquecidas com esgoto da cidade. Um sistema de canais foi usado e existem evidências de utilização de um sistema para regulação do fluxo. Acredita-se que o esgoto era vendido aos agricultores. Os antigos também adubavam suas videiras e arvoredos com água que continha esterco dissolvido.

Estercos foram classificados de acordo com sua riqueza e concentração. Teofrasto, por exemplo, listou-os na seguinte ordem decrescente de valor: humanos, suínos, caprinos, ovinos, bovinos e eqüinos. Mais tarde, Varro, num dos primeiros escritos sobre a agricultura romana, desenvolveu uma lista semelhante, mas classificou estercos de pássaros e outras aves como superiores aos excrementos humanos. Columelo recomendava que se alimentasse o gado com trevo lucerna porque ele acreditava que isso iria enriquecer o esterco.

Os antigos não apenas reconheciam os méritos do esterco, mas também observavam o efeito que os corpos mortos tinham sobre o aumento do crescimento das culturas. Arquiloco fez essa observação ao redor de 700 a.C., e as citações do Velho Testamento são até anteriores a isso. No Deuteronômio é mencionado que o sangue de animais deveria ser espalhado no solo. O aumento da fertilidade da terra que recebeu corpos mortos tem sido reconhecido através dos anos, mas provavelmente de uma forma mais poética por Omar Khayyam, o poeta-astrônomo da Pérsia, que ao redor do fim do século XI escreveu:

*“Eu às vezes penso que nunca floresce tão vermelha  
A rosa como onde algum César enterrado sangrou;  
Que cada jacinto que brota no jardim  
Caído em seu regaço de alguma vez cabeça encantadora.  
E esta deliciosa planta cujo verde tenro  
Empluma a orla do rio na qual nós repousamos  
Ah! Repousemos sobre ela suavemente! Pois quem sabe*

*Da beleza de quem está enterrado sob essas plantas”.*

O valor dos adubos verdes, particularmente das leguminosas, foi logo reconhecido. Teofrasto observou que um tipo de feijão (*Vicia fava*) era incorporado pela aração por agricultores da Tessália e Macedônia. Ele observou que a cultura enriquecia o solo, mesmo quando densamente semeada e quando grandes quantidades de sementes eram produzidas.

Catão (234-149 a.C.) sugeriu que áreas pobres com videiras deveriam ser plantadas com cultura intercalar de *Acinum*. Não se sabe que cultura é essa, mas sabe-se que ela não era deixada até produzir sementes, inferindo-se que ela seria incorporada ao solo. Ele afirmava ainda que as melhores leguminosas para enriquecer o solo eram: feijão, trevo lupino e ervilhaca.

O trevo lupino era muito popular entre os povos antigos. Columelo listou numerosas leguminosas, incluindo, trevo lupino, ervilhaca, lentilha, ervilha, trevo e alfafa, que eram adequadas para a melhoria do solo. Muitos dos escribas da época concordavam, entretanto, que o trevo lupino era o melhor como adubo verde porque crescia bem sob uma grande variedade de condições do solo, fornecia alimento para o homem e para os animais, era fácil de semear e crescia com rapidez.

Virgílio (70-19 a.C.) recomendava o uso de leguminosas, como é indicado na passagem seguinte:

*“ou, mudando a estação, você semeará o trigo amarelo, onde antes você tinha colhido grãos de leguminosas com ferrugem nas vagens, ervilhaca e lupino amargo de talos frágeis ou arvoredos praguejados”.*

O uso do que atualmente é chamado de corretivos e fertilizantes minerais a serem aplicados ao solo, não era totalmente desconhecido das antigas civilizações. Teofrasto sugeria a mistura de diferentes solos com a finalidade de “corrigir defeitos e adicionar força ao solo”. Esta prática pode ter sido benéfica sob vários aspectos. A adição de solo fértil

sobre um solo infértil poderia levar a um aumento da fertilidade do solo, e a prática de misturar um solo com o outro poderia, também, promover uma melhor inoculação das sementes de leguminosas em alguns campos. Também, a mistura de um solo mais arenoso com um mais argiloso ou vice-versa poderia melhorar as relações de umidade e ar nos solos dos campos que recebiam esse tratamento.

O valor das margas também era conhecido. Os primitivos habitantes de Aegina escavavam as margas e as aplicavam nas suas terras. Os romanos, que aprenderam esta prática com os gregos e gauleses, chegaram a classificar os vários materiais calcários e recomendavam que um tipo fosse aplicado às lavouras produtoras de grãos e outro às pastagens. Plínio (62-113 d.C.) afirmava que o calcário deveria ser espalhado para formar uma fina camada sob o terreno e que um tratamento era “suficiente para vários anos, mas não para 50”. Columelo também recomendava a distribuição das margas em um solo pedregoso e a mistura de cascalho com solos ricos em carbonato de cálcio e densos.

A Bíblia menciona o valor das cinzas de madeira em referência à queima de roseiras selvagens e arbustos pelos judeus, e Xenofonte e Virgílio reportam a queima de restolhos para limpar os campos e destruir as ervas daninhas. Catão aconselhava um proprietário de videiras a queimar os restos da poda no local e enterrar as cinzas para enriquecer o solo. Plínio afirmava que o uso de calcário queimado nos fornos era excelente para as oliveiras, e alguns agricultores queimavam o esterco e aplicavam as cinzas aos seus campos. Columelo também sugeriu a distribuição de cinzas ou calcário em solos de baixada para “destruir” a acidez.

Salitre ou nitrato de potássio ( $KNO_3$ ) foi mencionado por Teofrasto e Plínio como conveniente para adubar as plantas e isso é mencionado na Bíblia, no livro de Lucas. Salmoura foi mencionada por Teofrasto. Aparentemente, reconhecendo que palmáceas necessitam de grandes quantidades de sal, os primeiros agricultores aplicavam salmouras nas raízes de suas árvores.

Virgílio escreveu sobre a característica hoje conhecida como densidade do solo. Seu conselho em como determinar essa propriedade era:

*“(...) primeiro, você deve marcar um lugar e fazer um buraco profundo no terreno sólido, e, a seguir, retornar toda a terra para o seu lugar, nivelando com seu pé a parte de cima. Se for possível nivelar ou ainda houver espaço no buraco, o solo é solto e mais adequado para o gado e videiras generosas; mas se não houver a possibilidade de voltar todo o material para seu lugar, e sobrar terra após o buraco ter sido preenchido, trata-se de um solo denso; espere torrões de terra relutantes e espinhaços rijos, e dê a primeira aradura à terra com touros robustos castrados”.*

Virgílio descreve outro método que poderia ser considerado hoje o protótipo de uma análise de solo:

*“(...) mas, o solo salgado, e com acentuado sabor amargo (onde o milho não se desenvolve), irá dar prova de sua característica. Pegue do teto enfumado esteiras de vime e peneiras das prensas de vinho. Encha-as com a terra de má qualidade, adicione água doce que brota da fonte e esteja certo de que toda a água irá drenar e grossas gotas passarão pelo vime. O seu gosto será o indício de sua qualidade e o amargor ao ser percebido, será mostrado por um gesto de desagrado nos rostos dos provadores”.*

Columelo também sugeriu um teste de sabor para medir o grau de acidez e salinidade dos solos, e Plínio afirmou que o sabor amargo dos solos poderia ser pela presença de ervas negras e subterrâneas.

Plínio escreveu que “entre as provas que o solo é bom está a espessura comparativa do colmo do milho” e Columelo afirmou simplesmente que o melhor teste para a adequabilidade da terra para uma cultura específica seria se ela poderia crescer no mesmo.

Muitos dos escribas no passado (e, sobre este assunto, muitos ainda hoje) acreditavam que a cor do solo era um critério para avaliar sua fertilidade.

A idéia geral é que solos pretos eram férteis e que solos claros ou cinza eram inférteis. Columelo não concordava com este ponto de vista, ressaltando a infertilidade dos solos negros de pântanos e a alta fertilidade dos solos claros da Líbia. Ele acreditava que fatores como estrutura, textura e acidez eram muito melhores guias para se estimar a fertilidade do solo.

A era dos Gregos de cerca de 800 a 200 a.C. foi, sem dúvida, uma época áurea. Muitos dos feitos de homens deste período refletem um trabalho de gênio inigualável. Seus escritos, sua cultura, sua agricultura foram copiados pelos Romanos, e a filosofia de muitos dos Gregos deste período dominou o pensamento do homem por mais de 2000 anos.

## **2.2. Fertilidade do solo nos primeiros dezoito séculos da era cristã**

O pensamento clássico grego e romano chegou ao ocidente graças ao florescimento das cidades islâmicas, lugares de trabalho, centros de culto e também focos de cultura e ciência, como Cairo, Fez, Marrakesh e Alexandria, na África; Bagdá, Bassora, Damasco, Isfaham, Bukhara, Samarkanda e Lahore, na Ásia; Istambul e Córdoba, na Europa (CHATTY, 1981). Nas Medinas, acima de todo o saber humano, as ciências do mundo inteiro – da China ou da Índia, da Grécia ou de Roma, do Egito ou de Caldéia - teóricas ou práticas, experimentais ou fundamentais foram minuciosamente recolhidas, cuidadosamente conservadas, traduzidas para o árabe e comentadas com sabedoria, foram aprofundadas, recriadas e repensadas de forma genial (CHATTY, 1981). Toda essa atividade intelectual gerou um desenvolvimento sem precedentes, sem o qual a modernidade atual teria sido impossível.

A contribuição da civilização árabe-islâmica foi muito marcante no desenvolvimento de uma agricultura próspera em regiões áridas e semi-áridas. Esta civilização criou as bases das ciências agrárias, ultrapassando o simples acúmulo de conheci-

mentos empíricos, superando-os e liberando-os dos sentidos místicos e sobrenaturais que os cercavam. O ambiente de tolerância e admiração pela diversidade cultural permitiram a combinação da grande experiência asiática com a riqueza do conhecimento do mediterrâneo. Durante a longa presença árabe na Europa a agricultura mediterrânica conheceu aperfeiçoamento e complexidade sem precedentes (MIRANDA, 1982).

Na região de Granada e Sevilha, Espanha, o agrônomo árabe-andaluz Ilu Al Awan (? – 1145), agregando à literatura o conhecimento local testou as diferentes técnicas conhecidas gerando verdadeiros “jardins de ensaios” ou “estações experimentais”. O conhecimento adquirido e testado transformou-se na obra “O Livro da Agricultura”, com cerca de 1500 páginas, três volumes e 35 capítulos. Nesta obra, se verifica que os agrônomos andaluzes atingiram grande domínio na escolha do material vegetal e no controle dos fatores de produção especialmente dos solos e da água (MIRANDA, 1982).

Nos capítulos que tratam dos solos, eles são identificados em cerca de 12 classes, com sua origem explicada pela desagregação das rochas pela ação da água e do calor. São descritas em detalhes as características que permitem identificar a terra de boa qualidade e as técnicas necessárias para a recuperação daquelas consideradas impróprias à agricultura.

Os capítulos sobre adubos e corretivos apresentam classificação dos diversos tipos de compostos e das técnicas possíveis de compostagem, indicam as formas de utilização de margas e calcários, das épocas mais adequadas de sua aplicação, das plantas e árvores que se beneficiam ou não dos diferentes tipos de fertilização.

Os capítulos sobre irrigação tratam dos diferentes tipos de água, quais são convenientes a cada tipo de planta; da construção de poços, do nivelamento dos terrenos e das várias técnicas de irrigação, em quadros, por submersão, em potes etc. (MIRANDA, 1982).

A monumental obra de Ilu Al Awan, pelo adiantado da agronomia andaluza, influenciou a agricultura européia, especialmente a do mediterrâneo, até o século XIX, pois a expansão colonial francesa no norte da África se fundamentou no uso da tradução para o francês, como manual de técnicas agrícolas a serem utilizadas pelos colonos.

Após o declínio de Roma, apareceram poucas contribuições para o desenvolvimento da agricultura, até a publicação de *Opus ruralium comodorum*, uma coleção de práticas agrícolas locais, por Pietro de Crescenzi (1230-1307). De Crescenzi é considerado por alguns como o fundador da agronomia moderna, mas o seu manuscrito parece estar restrito ao trabalho de escritores do tempo de Homero. Sua contribuição foi principalmente fazer um resumo do material já existente. Ele, entretanto, sugeriu um aumento das doses de esterco acima das recomendadas naquela época.

Após o trabalho de De Crescenzi, pouco foi adicionado ao conhecimento agrícola por muitos anos, apesar de ter sido atribuído a Palissy, em 1563, a observação de que o teor de cinzas das plantas representava o material que elas tinham retirado do solo.

Ao redor do início do século XVII, Francis Bacon (1561-1624) sugeriu que o principal alimento das plantas era a água. Ele acreditava que a principal função do solo era manter as plantas eretas e protegê-las do calor e do frio e que cada planta tirava do solo uma única substância para sua alimentação, em particular. Bacon afirmava também que a produção contínua de um mesmo tipo de planta em um solo iria empobrecê-lo para aquela espécie em particular.

Durante esse mesmo período, Jean Baptiste van Helmont (1577-1644), um físico-químico flamengo, relatou os resultados de um experimento em que ele acreditava provar que a água era o único nutriente das plantas. Ele colocou 200 libras de solo (90,7 kg) em um vaso, umedeceu o solo e plantou um pé de salgueiro pesando cinco libras (2,3 kg). Ele cuidadosamente protegeu o solo no vaso da poeira, e adicionava somente água da chuva ou água destilada. Após um período de cinco anos,

van Helmont terminou o experimento. A árvore pesava 169 libras e três onças (76,7 kg). Ele só não pode explicar a variação de peso de duas onças (56,6 g) das 200 libras (90,7 kg) de solo originalmente usadas. Em função de ter adicionado apenas água, sua conclusão foi que a água era o único nutriente da planta. Ele atribuiu a perda de duas onças de solo (56,6 g) ao erro experimental.

O trabalho de van Helmont e suas conclusões errôneas foram, na verdade, contribuições valiosas para o nosso conhecimento, pois apesar de serem erradas, estimularam investigações posteriores cujos resultados levaram a um melhor entendimento da nutrição de plantas. Este trabalho foi repetido vários anos mais tarde por Robert Boyle (1627-1691), na Inglaterra. Boyle é provavelmente mais conhecido por expressar a relação do volume de um gás a uma dada pressão. Ele tinha também interesse por biologia e era um grande defensor de métodos experimentais na solução de problemas relacionados à ciência. Acreditava que a observação era o único caminho para a verdade. Boyle confirmou os resultados de van Helmont, mas foi mais além. Como resultado das análises químicas que fez em amostras de plantas, concluiu que as plantas continham sais, terra e óleo, todos eles formados da água.

Mais ou menos na mesma época, J.R. Glauber (1604-1668), um químico alemão, sugeriu que salitre ( $KNO_3$ ) e não a água era o "princípio da vegetação". Ele coletou o sal de currais de gado e ponderou que o sal vinha das fezes dos animais. Afirmando que como os animais comem forragem, o salitre deve ter sido originado das plantas. Quando aplicou esse sal às plantas, observou um substancial aumento no crescimento das mesmas, concluindo, ainda, que a fertilidade do solo e o valor do esterco eram totalmente devidos ao salitre.

John Mayow (1643-1679), um químico inglês, deu suporte às afirmações de Glauber. Mayow estimou as quantidades de salitre no solo em várias épocas durante o ano e encontrou a maior concentração na primavera. Não encontrando nada durante o verão, concluiu que o salitre tinha sido absorvido ou adsorvido pela planta, durante seu período

de crescimento rápido, à medida que era aplicado ao solo.

Por volta do ano de 1700, entretanto, foi feito um estudo que pode ser considerado excepcional e que representou um avanço considerável para o progresso das ciências agrárias. Um inglês de nome John Woodward, que estava familiarizado com o trabalho de Boyle e van Helmont, fez crescer plantas de hortelã em amostras de água que tinha obtido de várias procedências: água de chuva, água de rio, água de esgoto e água de esgoto acrescida de mofo de jardim. Cuidadosamente mediu a quantidade de água transpirada pelas plantas e anotou o peso das plantas no início e no fim do experimento. Observou que o crescimento das plantas foi proporcional à quantidade de impurezas na água e concluiu que o material da terra ou solo, ao invés de água, era o princípio da vegetação. Apesar de sua conclusão não ser totalmente correta, ela representou um avanço no conhecimento, e sua técnica experimental foi consideravelmente melhor do que qualquer outra anterior.

Havia muita ignorância em relação à nutrição de plantas naquela época. Muitas idéias estranhas surgiram, tiveram evidência efêmera e foram esquecidas. Parte dessas idéias foi introduzida por outro inglês, Jethro Tull (1674-1741). Tull foi educado em Oxford, o que era considerado um pouco fora do comum para uma pessoa com propensão à agricultura. Parece ter tido interesse pela política, mas problemas de saúde o forçaram a uma aposentadoria no campo e aí levou a cabo vários experimentos, a maioria envolvendo práticas agrícolas. Acreditava que o solo deveria ser finamente pulverizado para dar o “sustento adequado” para a planta em crescimento. De acordo com Tull, as partículas do solo seriam na verdade ingeridas através de aberturas nas raízes das plantas. Ele acreditava que a pressão causada pela expansão das raízes em crescimento forçava as partículas finas do solo para dentro das “bocas dos vasos das raízes”, após o que, entraria no “sistema circulatório” das plantas.

As idéias de Tull sobre nutrição de plantas eram, no mínimo, bizarras. Seus experimentos, entretanto, levaram ao desenvolvimento de dois valiosos equipamentos de cultivo: a plantadeira em linha e o cultivador puxado por cavalos. Seu livro *Horse Hoeing Husbandry* foi, por muito tempo, considerado um texto importante no meio agrícola inglês.

Ao redor de 1762, John Wynn Baker, um partidário de Tull, estabeleceu uma fazenda experimental na Inglaterra, cuja finalidade era a exibição pública dos resultados dos experimentos agrícolas. O trabalho de Baker foi elogiado mais tarde por Arthur Young que, entretanto, alertava os leitores para terem cuidado ao dar crédito excessivo aos cálculos tomando por base os resultados de somente alguns anos de trabalho, um cuidado que é tão importante hoje como quando foi feito originalmente.

Um dos mais famosos agricultores ingleses do século XVIII foi Arthur Young (1741-1820). Young conduziu trabalhos em vasos para encontrar aquelas substâncias que poderiam melhorar a produtividade das culturas. Ele fez crescer cevada em areia à qual adicionava materiais, como carvão, óleo de máquinas, esterco de galinha, vinho, salitre, pólvora, piche, ostras e numerosos outros materiais. Alguns dos materiais promoveram o crescimento das plantas e outros não. Young, um escritor prolífico, publicou o trabalho intitulado *Annals of Agriculture*, em quarenta e seis volumes, que foi muito considerado e teve um grande impacto na agricultura inglesa.

Muitas das publicações envolvendo agricultura nos séculos XVII e XVIII refletiam a idéia de que as plantas eram compostas de uma substância, e a maioria dos autores durante esse período estava buscando este princípio da vegetação. Por volta de 1775, entretanto, Francis Home afirmou que não havia apenas um princípio, mas provavelmente vários, entre os quais se incluía ar, água, terra, sais, óleo e fogo em um estado fixo. Home acreditava que os problemas da agricultura eram essencialmente aqueles de nutrição das plantas. Ele conduziu experimentos em vasos para avaliar os efeitos de diferentes substâncias no crescimento das

plantas e fez análises químicas de materiais das plantas. Seu trabalho foi considerado valioso pilar no progresso da agricultura científica.

O descobrimento do oxigênio por Priestley foi a chave para inúmeras outras descobertas que avançaram muito na explicação dos mistérios da vida das plantas. Jan Ingenhousz (1730-1799) mostrou que a purificação do ar ocorre na presença de luz, mas no escuro o ar não é purificado. Juntamente com essa descoberta, ocorreu a afirmação de Jean Senebier (1742-1809), um filósofo e historiador suíço, de que o aumento no peso do salgueiro no experimento de van Helmont foi resultado do ar.

### 2.3. Progresso durante o século XIX

Essas descobertas estimularam a mente de Theodore de Saussure, cujo pai estava familiarizado com o trabalho de Senebier. Ele atacou dois dos problemas nos quais Senebier tinha trabalhado - o efeito do ar e a origem dos sais nas plantas. Como resultado, de Saussure foi capaz de demonstrar que as plantas absorvem  $O_2$  e liberam  $CO_2$ , o princípio da respiração. Além disso, observou que as plantas poderiam absorver  $CO_2$  e liberar  $O_2$  na presença da luz. Se, entretanto, as plantas fossem mantidas em um ambiente livre de  $CO_2$ , elas morreriam.

De Saussure concluiu que o solo fornece somente uma pequena fração dos nutrientes necessários às plantas, mas ele demonstrou que o solo fornece cinzas e N. Afastou efetivamente a idéia de que as plantas geravam espontaneamente o K e afirmou ainda que as raízes das plantas não se comportam como um mero filtro. Além disso, as membranas são seletivamente permeáveis, permitindo uma entrada mais rápida da água do que dos sais. Ele também mostrou a absorção diferencial dos sais e a inconstância da composição das plantas, que varia com a natureza do solo e com a idade da planta.

A conclusão de De Saussure de que o carbono contido nas plantas vinha do ar não foi imediatamente aceita por seus colegas. Sir Humphrey Davy, que havia publicado seu livro *The Elements of*

*Agricultural Chemistry*, em 1813, afirmou que, embora algumas plantas pudessem absorver seu C do ar atmosférico, a maior parte era absorvida pelas raízes. Davy estava tão entusiasmado com sua crença que recomendava o uso de óleo como fertilizante em função do seu teor de C e H.

A segunda metade do século XIX até o início do século XX foi o período em que ocorreu grande progresso na compreensão da nutrição de plantas e da adubação das culturas. Dentre os homens desse período que deixaram grandes contribuições está Jean Baptiste Boussingault (1802-1882), um químico francês muito viajado, que estabeleceu uma propriedade na Alsácia, onde levou a cabo experimentos de campo. Boussingault utilizava as técnicas cuidadosas de de Saussure, pesando e analisando os esterco que ele aplicava aos seus experimentos e também às culturas que ele colhia. Ele manteve um balanço que mostrava quanto dos vários nutrientes de plantas vinham da chuva, do solo e do ar, analisava a composição das culturas durante vários estádios de crescimento e determinava que a melhor rotação de culturas foi aquela que produziu a maior quantidade de matéria orgânica além daquela adicionada por meio do esterco. Boussingault é considerado por alguns como o pai da experimentação de campo.

Justus von Liebig (1803-1873), um químico alemão, muito efetivamente “fez desabar” o mito do húmus. A apresentação de seu trabalho em um respeitado congresso científico mexeu com os conservadores de tal forma que somente alguns cientistas desde aquela época ousaram sugerir que o conteúdo de C nas plantas vem de outra fonte que não o  $CO_2$ . Liebig fez as seguintes afirmações:

1. A maior parte do C nas plantas vem do dióxido de carbono da atmosfera.
2. O H e O vêm da água.
3. Os metais alcalinos são necessários para a neutralização dos ácidos formados pelas plantas como resultado de suas atividades metabólicas.
4. Os fosfatos são necessários para a formação das sementes.

5. As plantas absorvem tudo indiscriminadamente do solo, mas excretam de suas raízes aqueles materiais que não são essenciais.

Nem todas as idéias de Liebig, entretanto, eram corretas. Ele pensava que o ácido acético era excretado pelas raízes. Também acreditava que o  $\text{NH}_4^+$  era a única forma de N absorvida e que as plantas poderiam obter esse composto do solo, do esterco ou do ar.

Liebig acreditava firmemente que analisando a planta e estudando os elementos que ela continha, poder-se-ia formular um conjunto de recomendações de fertilizantes, com base nessas análises. Era sua opinião, também, que o crescimento das plantas era proporcional à quantidade de substâncias minerais disponíveis nos fertilizantes.

A *lei do mínimo* estabelecida por Liebig em 1862 é um guia simples mas lógico de se fazer a previsão das respostas das plantas à adubação. Essa lei diz o seguinte:

*“...cada campo contém um máximo de um ou mais e um mínimo de um ou mais nutrientes. Com esse mínimo, seja calcário, potássio, nitrogênio, ácido fosfórico, magnésia ou qualquer outro nutriente, as produtividades apresentam uma relação direta. Este é o fator que governa e controla ...produtividades. Se o mínimo for calcário ...a produtividade ... será a mesma e não maior mesmo que as quantidades de potássio, sílica, ácido fosfórico, etc ... sejam aumentados em cem vezes”.*

A lei do Liebig ou lei do mínimo dominou o pensamento dos pesquisadores na agricultura por muito tempo e tem tido uma importância universal no manejo da fertilidade do solo.

Liebig produziu um fertilizante com base nas suas idéias de nutrição de plantas. A formulação de uma mistura fazia sentido, mas ele cometeu um erro fundindo sais de K e P com calcário. Como resultado, o fertilizante foi um completo fracasso. Não obstante, as contribuições de Liebig para o desenvolvimento da agricultura foram monumentais, e ele é muito merecidamente reconhecido como o pai da química agrícola.

Outro fato marcante após o famoso trabalho de Liebig foi o estabelecimento, em 1843, de uma estação experimental agrícola em Rothamsted, na Inglaterra. Os fundadores dessa instituição foram J. B. Lawes e J. H. Gilbert. Os trabalhos conduzidos nessa estação experimental seguiam a mesma linha daqueles conduzidos por Boussingault, na França.

Lawes e Gilbert não acreditavam que todas as afirmações de Liebig eram corretas. Doze anos após a fundação da estação de Rothamsted, apresentaram os seguintes pontos:

1. as culturas necessitam de ambos, P e K, mas a composição da cinza das plantas não se constitui em uma medida das quantidades desses constituintes necessários à planta;
2. culturas não leguminosas necessitam do fornecimento de N. Sem este elemento, não se obterá crescimento, independentemente das quantidades de P e K presentes. A contribuição da quantidade de N na forma de amônia, pela atmosfera, é insuficiente para as necessidades das culturas;
3. a fertilidade do solo poderia ser mantida por alguns anos por meio de fertilizantes químicos;
4. o efeito benéfico do pousio está no aumento da disponibilidade de compostos de N no solo.

Por muito tempo, e mesmo hoje em alguns lugares, os agricultores foram relutantes em acreditar que a fertilidade poderia ser mantida somente pelo uso de fertilizantes minerais. Os primeiros trabalhos em Rothamsted, entretanto, provam de maneira conclusiva que isso pode ser feito. Uma das provas mais inquestionáveis nesse sentido é o relato do experimento denominado Broadbalk Winter Wheat, comparando fertilizantes orgânicos e minerais, iniciado em 1843 e sendo conduzido até hoje (LAWES Agriculture Trust, 1984). Desde o início, vêm sendo aplicados, anualmente, uma série de tratamentos. De 1979 a 1983, portanto 150 anos após o início do experimento, foi colhido trigo sarraceno, cujos valores de produção média (cinco anos) podem ser conferidos no *Guide to the Classical Experiments*, do *Lawes Agriculture Trust* já citado.

É óbvio que uma aplicação anual de 35 toneladas de esterco de curral (o que envolveu um grande volume de material e um trabalho intenso para aplicação ao solo), durante 150 anos, pode substituir a adubação com fertilizantes minerais. É também óbvio que a adubação mineral balanceada, que produziu a média de 5,7 toneladas por hectare, pode substituir a adubação orgânica e que o simples enriquecimento da adubação orgânica com 96 quilos por hectare de nitrogênio mineral por ano levou às maiores produções.

O problema do N do solo e das plantas permanecia sem solução. Vários estudiosos tinham observado o comportamento não convencional das leguminosas. Em alguns casos elas cresciam bem sem a aplicação de N, enquanto em outras situações não havia crescimento das plantas. Plantas não leguminosas, por outro lado, sempre deixavam de crescer quando havia quantidade insuficiente de N no solo.

Em 1878, alguma luz surgiu nessa confusão, pelo trabalho de dois bacteriologistas franceses, Theodore Schloessing e Alfred Müntz. Esses cientistas purificaram água de esgoto fazendo-a passar por um filtro feito de areia e calcário. Analisaram o filtrado periodicamente e por vinte e oito dias somente detectaram amônia. No fim desse período começou a aparecer nitrato no filtrado. Schloessing e Müntz constataram que a produção de nitratos poderia ser paralisada pela adição de clorofórmio e que poderia ser reiniciada pela adição de um pouco de água de esgoto. Concluíram que a nitrificação era resultado da ação bacteriana.

Os resultados destes experimentos foram aplicados a solos por Robert Warrington, na Inglaterra. Ele mostrou que a nitrificação poderia ser paralisada pelo bissulfeto de carbono e clorofórmio e que o processo poderia ser reiniciado pela adição de solo não esterilizado. Também demonstrou que a reação era um fenômeno que ocorria em duas fases, primeiro a amônia sendo convertida em nitrito e, subsequentemente, em nitrato.

Warrington, entretanto, não foi capaz de isolar os organismos responsáveis pela nitrificação. Esta tarefa foi resolvida por S. Winogradsky, que fez o

isolamento usando uma placa com sílica-gel, ao invés do meio de cultura de ágar, porque esses organismos são autotróficos e obtêm seu C do CO<sub>2</sub> da atmosfera.

Com referência ao comportamento errático das plantas leguminosas em relação ao N, dois alemães, Hellriegel e Wilfarth, em 1886, concluíram que uma bactéria deveria estar presente nos nódulos das raízes das leguminosas. Mais tarde, estes organismos foram associados à sua capacidade de assimilar N<sub>2</sub> gasoso da atmosfera para convertê-lo em uma forma que poderia ser utilizada por plantas superiores. Esta foi a primeira informação específica em relação à fixação de N<sub>2</sub> pelas leguminosas. Hellriegel e Wilfarth utilizaram como base para os seus argumentos as observações feitas em alguns dos seus experimentos. Eles, entretanto, não isolaram os organismos responsáveis por esse processo. Isto foi feito mais tarde por M. W. Beijerinck, que denominou o organismo de *Bacillus radicícola*.

## 2.4. Desenvolvimento da fertilidade do solo nos Estados Unidos

Apesar de a maioria dos avanços na agricultura do século XVIII terem sido alcançados no continente europeu, umas poucas contribuições de americanos foram suficientemente importantes para serem mencionadas. Em 1733, James E. Oglethorpe estabeleceu uma área experimental nas encostas íngremes do Rio Savana, onde hoje se localiza a cidade de Savana, na Georgia. A área era dedicada à produção de culturas alimentícias exóticas e era citada como um lugar de “belezas” enquanto foi mantida. Houve perda de interesse pela mesma e logo ela deixou de existir. Mas como essa área foi na maior parte resultado do interesse de britânicos, ela provavelmente não pode ser considerada, em sua essência, como um empreendimento americano.

Benjamin Franklin demonstrou o valor do gesso agrícola. Em uma colina em sua propriedade, ele aplicou gesso num padrão de distribuição com a seguinte frase: “Esta terra foi gessada”. O aumento de crescimento da pastagem na área onde o gesso havia sido aplicado serviu como uma demonstração efetiva do seu valor como fertilizante.

Em 1785, uma sociedade foi formada na Carolina do Sul e tinha, entre seus objetivos, o estabelecimento de uma fazenda experimental. Onze anos após, o Presidente George Washington, em sua mensagem anual ao congresso, defendeu o estabelecimento do comitê nacional de agricultura. Algumas das contribuições mais importantes para a agricultura americana no passado foram feitas por Edmond Ruffin, da Virgínia, entre 1825 e 1845. Acredita-se que ele tenha sido um dos primeiros a utilizar calcário em solos da região úmida para repor nutrientes perdidos pela remoção das culturas e lixiviação. Ruffin era um observador cuidadoso, um leitor estudioso e possuía uma mente aguçada e inquisitiva. Apesar do uso do calcário para aumentar a produção das culturas ser conhecido em outros continentes, essa foi aparentemente uma nova experiência na América.

Foi somente em 1862 que o Ministério da Agricultura foi estabelecido, e, no mesmo ano, a Lei Morrill levou ao estabelecimento das escolas estaduais de agricultura. A primeira estação experimental agrícola estabelecida em 1875, em Middletown, Connecticut, teve suporte de fundos estaduais. Em 1877, a Carolina do Norte estabeleceu uma unidade semelhante, seguindo-se New Jersey, New York, Ohio e Massachusetts. Em 1888, a lei Hatch levou à implantação de estações experimentais estaduais que seriam operacionalizadas em conjunto com os *land-grant colleges*, e uma dotação anual de US\$15.000,00 foi disponibilizada para cada estado como suporte. Apesar da maioria dos primeiros trabalhos experimentais terem sido muito mais demonstrações de resultados, uma metodologia científica nos estudos dos problemas da agricultura foi gradualmente desenvolvida no país.

A idéia de se proceder à extração de nutrientes de solos com ácidos para determinar sua fertilidade persistia, e E. W. Hilgard (1833-1916) estabeleceu que a solubilidade máxima dos minerais do solo em HCl foi obtida quando o ácido tinha peso específico de 1,115 kg L<sup>-1</sup> (~7,9 mol L<sup>-1</sup>), o que corresponde à concentração do ácido obtida após fervura prolongada. Hilgard deu significância particular para esse fato. A digestão em ácido forte

tornou-se muito popular e grande número de análises de solos foram feitas por esse método. Mais tarde, foi mostrado que havia pouca fundamentação para assumir que esta técnica poderia obter dados de maior valor e o seu uso foi descontinuado.

Dois cientistas que muito contribuíram para o desenvolvimento do interesse por fertilidade do solo nos Estados Unidos foram Milton Whitney e C. G. Hopkins. No início do século XX, eles se envolveram em uma controvérsia que atraiu atenção nacional e que, de fato, tornou-se muito amarga. Whitney defendia que o suprimento total de nutrientes nos solos era inexaurível e que o fator importante sob o ponto de vista de nutrição de plantas era a taxa pela qual estes nutrientes iam para a solução do solo. Hopkins, por outro lado, acreditava que essa filosofia levaria à exaustão do solo e a sério declínio na produção das culturas. Fez um levantamento dos solos de Illinois e considerou a fertilidade do solo a um sistema semelhante à "contabilidade". Como resultado desses estudos exaustivos, concluiu que os solos de Illinois necessitavam apenas de calcário e P e pregou essa doutrina de forma tão eficaz que o uso de calcário e fosfato de rocha nas culturas do milho, aveia e rotações com trevo foi uma prática contínua nesse estado por muitos anos.

A controvérsia entre Whitney e Hopkins finalmente diminuiu. As idéias de Whitney foram mostradas pelo menos parcialmente incorretas, mas os argumentos conflitantes muito fizeram para estimular o pensamento dos cientistas agrícolas desse período.

Logo na virada do século XX, a maior parte das estações experimentais tinha parcelas experimentais no campo que mostravam os benefícios extraordinários da adubação. Como resultado desses experimentos, os principais problemas de fertilidade do solo podiam ser geralmente delimitados. Foi mostrado, por exemplo, que havia uma generalizada necessidade de fertilizantes fosfatados, que K era geralmente deficiente nos solos da região da planície costeira e que N era particularmente deficiente nos solos do sul do país. Os so-

los a leste do rio Mississippi eram geralmente ácidos e precisavam de calcário, enquanto aqueles a oeste desse rio eram, regra geral, bem supridos de Ca. Embora um quadro geral do estado de fertilidade dos solos dos Estados Unidos tenha sido razoavelmente bem definido, logo se tornou aparente que recomendações generalizadas de fertilizantes, com base nesse conhecimento, não deveriam ser feitas. Cada propriedade requeria atenção individual, assim como cada talhão da propriedade. O interesse por análises para avaliação da fertilidade do solo “explodiu” mais uma vez.

Durante os últimos 30 anos, muito progresso foi alcançado no sentido de compreender os problemas de fertilidade do solo. Enumerar aqueles estudos cujas contribuições levaram ao progresso no conhecimento iria requerer muito mais espaço do que o disponível neste capítulo. Esses avanços não foram de trabalhos de cientistas de um único país. Os ingleses, que começaram seus trabalhos ao redor de 1600 continuaram a dar grandes passos nesse sentido. Os pesquisadores da França, Alemanha, Escandinávia, Rússia, Canadá, Austrália, Nova Zelândia, assim como dos Estados Unidos, além de outros países, solucionaram muitos problemas que dificultavam o progresso da ciência. Os frutos desses estudos são aparentes em todos os lugares, fazendo com que a produção agrícola nos países desenvolvidos seja mais alta hoje do que nunca antes, e o mundo livre, de maneira geral, é hoje mais bem alimentado, com melhores vestuários e moradias do que em qualquer época no passado. Isto não poderia ser possível se a produção das culturas hoje estivesse no patamar da Europa durante o “escurantismo” da Idade Média, quando a produtividade média de grãos era de 6 a 10 bushels acre<sup>-1</sup> (450 a 750 kg ha<sup>-1</sup>).

## 2.5. Olhando para o século XXI

À medida que as civilizações entram no século XXI e a população do mundo continua a aumentar, é óbvia a importância de um contínuo aumento na produção de alimentos. A continuidade das pesquisas em todas as fases da produção agrícola é necessária, se a população crescente tem que ser

alimentada e vestida. Avanços nas pesquisas foram alcançados, nos centros de pesquisas agrícolas e outros, que podem contribuir para o aumento da produção agrícola no futuro.

Alguns dos avanços que surgem no horizonte, ou, de fato, já colocados em prática, mostram grandes perspectivas para aumentar a produtividade das culturas e aumentar a eficiência da produção agrícola. Estes avanços vão colocar “pressão” adicional na terra e farão aumentar ainda mais a importância que a fertilidade do solo exerce na produção das culturas.

O sensoriamento remoto, constituído de fotografias infravermelhas tomadas de grandes altitudes, é usado para determinar as condições das culturas. Problemas relativos a solos, irrigação ou controle de pestes podem, freqüentemente, ser detectados e corrigidos a tempo de prevenir sérias diminuições na produtividade.

Pesquisas têm demonstrado que o plantio direto pode aumentar a eficiência de uso da água e diminuir a erosão do solo, provocando aumento na produtividade das culturas. Este tipo de manejo pode ter efeito considerável nas exigências das culturas em relação a certos nutrientes, especialmente nitrogênio, fósforo, potássio e enxofre, porém mais pesquisas são necessárias para desenvolver práticas adequadas de fertilidade do solo para utilização no plantio direto.

Em muitas áreas nos mais diversos países, grandes extensões de terra, que eram consideradas marginais para a produção das culturas por causa da falta de água, estão hoje com altos níveis de produtividade em decorrência do desenvolvimento dos sistemas de irrigação com “pivots” centrais. Poços são perfurados no centro desses campos, a água é transferida para as lavouras por aspersores ligados a tubos condutores alto-propelidos que se movem em círculos sobre a área. Centenas de hectares podem ser irrigados com os maiores sistemas. Fertilizantes fluídos e pesticidas podem também ser distribuídos por esses sistemas. Em decorrência da eliminação da umidade do solo como um fator limitante, pode-se obter maior eficiência

no uso de fertilizantes, e os custos de produção podem diminuir. Para que essas fontes de água de alto custo sejam utilizadas de modo mais eficiente pelas culturas, o suprimento de nutrientes disponível deve ser otimizado.

Em várias regiões semi-áridas do mundo, existem desenvolvimentos promissores na captação de água e uso mais eficiente da umidade para a produção das culturas. Sistemas de produção das culturas envolvendo esses métodos de manejo da umidade do solo, em conjunto com outros fatores para a obtenção de altas produtividades, tais como adubação, variedades e híbridos e época de plantio, precisam ser estudados.

A eficiência da irrigação é um tema importante em várias áreas do mundo que apresentam limitado suprimento de água para uso agrícola. A irrigação por gotejamento pode reduzir em 50% a água atualmente em uso nos sistemas convencionais de irrigação. A necessidade de fertilizantes e sistemas para sua aplicação sob irrigação por gotejamento precisa de mais estudos.

Análises de solos e de plantas como instrumentos para determinar as necessidades de fertilizantes e calcário para as culturas têm sido utilizadas por muitos anos. A utilização dessas técnicas não só continua como está aumentando. Um número considerável de informações adicionais é necessário antes dessas análises se tornarem mais do que guias refinados de adubação e calagem das culturas. Adubação foliar de outros nutrientes além dos micronutrientes promete tornar-se uma prática agrícola geral em algumas áreas. Entretanto, em decorrência de resultados inconsistentes, mais pesquisas são necessárias para se determinar quais condições são determinantes para a obtenção de respostas claras em relação a esse método de adubação.

Melhorias têm sido obtidas e deverão continuar a ser alcançadas no desenvolvimento de materiais fertilizantes mais eficientes. Alguns dos materiais que têm sido ou estão sendo desenvolvidos incluem os fertilizantes nitrogenados de liberação len-

ta, polifosfatos de alta concentração, compostos magnesianos adequados ao uso em fertilizantes fluídos completos, micronutrientes na forma de quelatos e fertilizantes com altos teores de enxofre para uso em fertilizantes sólidos e líquidos.

Concomitantemente ao desenvolvimento dessas novas tecnologias e produtos deve-se efetuar uma avaliação contínua de sua eficiência por meio de experimentações de curto e longo prazos. Esse tipo de experimentação no campo é uma exigência necessária para o contínuo aumento da eficiência de produção das culturas. Altas produtividades das culturas impõem diferentes exigências de nutrientes. Doses de fertilizantes que dão respostas satisfatórias com produtividades do milho de 8 t ha<sup>-1</sup> não serão adequadas aos tetos de produtividades de 12 t ha<sup>-1</sup> ou mais. Além disso, com a calibração das análises de solos geralmente obtidas anos atrás, doses dos nutrientes necessárias para teores diferentes de análises de solo podem ser muito baixas para as altas produtividades das culturas hoje obtidas e maiores ainda no futuro.

Um novo desenvolvimento aparece com destaque no horizonte, o qual pode ter um impacto profundo na produção agrícola e do desenvolvimento recente da ciência de genética molecular. Por meio desta técnica de transplante de genes, qualidades desejáveis de um gênero ou espécie podem ser transferidas para outra. Se e quando esta ciência tornar-se perfeita, é concebível que maior eficiência fotossintética, mais altos teores de proteínas e vitaminas, melhor resistência a doenças e pragas e outros fatores podem ser introduzidos em outras espécies desejáveis de culturas. Estas alterações genéticas poderão causar um grande impacto nas exigências nutricionais e, conseqüentemente, nas práticas de adubação.

Progressos na agricultura dependem de pesquisas de alta importância. Para cada problema resolvido por um cientista, hoje, muitos outros aparecem. Pesquisadores agrícolas devem investigar questões de natureza fundamental, aquelas que tratam mais do *porquê* das coisas do que do *o quê*.

Não é objetivo desse capítulo cobrir todos os eventos significativos do desenvolvimento da ciência da Fertilidade do Solo. Muitos dados foram omitidos, e muito mais poderia ter sido escrito. Certamente, os avanços obtidos no fim do século XIX e no século XX foram grandes responsáveis pelo estágio atual de nosso conhecimento. Esses avanços foram apenas superficialmente cobertos neste capítulo, mas nos capítulos seguintes deste livro confirma-se a importância de tais eventos para o progresso da fertilidade do solo. Em resumo, espera-se que este capítulo possa dar ao estudante algumas idéias em relação ao tempo, esforço e pensamentos que foram dedicados nos últimos 4.500 anos para acumular aquilo que ainda é conhecimento insuficiente.

## 2.6. Fatos marcantes da evolução da fertilidade do solo no Brasil

A história do desenvolvimento da agricultura no Brasil, desde o seu descobrimento, está diretamente, mas de forma empírica no passado, ligada à fertilidade do solo. Os grandes ciclos da cana-de-açúcar e do café se alicerçaram, no início, na fertilidade natural dos solos das matas e na migração para novas áreas quando essa fertilidade natural se exauria.

Passaram-se muitas décadas até que, por meio de observações práticas do início, seguindo-se trabalhos envolvendo fertilidade do solo e o uso de fertilizantes orgânicos e minerais mais tarde, estabelecessem-se as bases para a prática da adubação que permitisse a exploração contínua das propriedades rurais.

É muito difícil destacar os fatos mais marcantes da evolução da fertilidade do solo no Brasil, uma vez que, no País, esse segmento do conhecimento é bastante recente como ciência, estando muito mais atrelado a programas envolvendo essa área do conhecimento do que a pesquisadores individualmente. Entretanto, mesmo com a possibilidade de pecar por omissão, serão relatados a seguir alguns pontos importantes da evolução dessa área do conhecimento da Ciência do Solo no Brasil, bem como

sua implicação com a produtividade das culturas até os dias atuais.

### 2.6.1. Trabalhos pioneiros em fertilidade do solo e adubação

Segundo Heitor Cantarella, pesquisador do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), o primeiro diretor desta instituição, 119 anos atrás, o austríaco Dr. Franz W. Dafert, profundo conhecedor da química agrícola de sua época, trouxe para o Brasil a experiência européia sobre análise de solo e no primeiro relatório da então Estação Agrônômica de Campinas, em 1889, estão os registros das análises de solos pioneiras no Brasil. Em 1892, o IAC já realizava análises de solo para cafeicultores paulistas, fornecendo inclusive pareceres sobre adubação. Nessa época, já havia uma publicação do IAC sobre métodos para a determinação de nitrogênio em solos. Os demais métodos empregados em análise de solo foram publicados em 1895, pelo Dr. Bolliger, outro químico importante que trabalhava no IAC na época.

Também em 1895 foi publicado um dos primeiros trabalhos sobre fertilidade do solo no Brasil, de autoria do Dr. Franz W. Dafert, que fornece detalhes sobre a análise química de fertilizantes orgânicos, na época chamados de "*estrumes nacionais*" (DAFERT, 1895). Até aquela época, os fertilizantes utilizados nas lavouras eram basicamente produtos orgânicos, dos quais se tinha pouca informação sobre características químicas, composição e modos de aplicação.

As análises químicas realizadas no então Instituto Agrônomo do estado de São Paulo, hoje IAC, envolviam a determinação em partes por mil de "*agua, substancias organicas, azoto, acido phosphorico, potassa, soda, cal, magnesia, acido sulfúrico, chloro e fluor, acido silicico e areia, oxydo de ferro e alumina*" nos mais diferentes tipos de esterco animais produzidos nas fazendas: compostos, excrementos humanos, casca de café, palhas de milho e feijão, turfa, bagaço de cana, restos de criação (ossos, chifres, cabelos, sangue, etc.), além de outros estrumes, como re-

síduos da fabricação do gás de iluminação, apatita, cinzas de bagaço de cana, resíduos de destilação da cana, bagaço de sementes de oleaginosas, restos de curtume e serragem.

Em relação ao composto, assim dizia o autor:

*“O estrume denominado composto é uma mistura de todos os resíduos, restos e mais substancias sem valor immediato, existentes ou produzidas na fazenda, reunidas e preparadas para fins de estruturação. Todas as cinzas da cozinha das caldeiras, ás vezes também das roças, reboco, folhas cahidas, matto capinado, lama de tanques, lixo, resíduos de cozinha (feijão, café), palha de milho, sangue, cabellos, ossos, etc., bem misturados e depositados em covas ou túmulos até á decomposição completa, dão um estrume de primeira ordem, cuja composição naturalmente dependerá dos componentes empregados”.*

Quanto ao uso de esterco, principalmente o de bovinos, o autor já mencionava estratégias que permitiriam a sua concentração em determinados lugares, para facilitar a coleta e distribuição:

*“Muitas vezes se ouve dizer que o esterco póde ser muito bom para as plantas, mas que não se póde obtel-o porque os nossos animaes estão no pasto”. Tal objecção tem certo fundamento. É verdade que será muito mais fácil trabalhar com esterco, quando todos os animaes estiverem em estábulos.*

*Enquanto não cultivamos forragens boas tão extensamente que possamos dispensar todos os pastos – e isto não se dará talvez mais neste seculo – precisamos nos accomodar ao facto de que a maior parte dos nossos animaes passeiem pelos gramados. Mas não há meio de obter apezar disto uma parte considerável do seu esterco?*

*Respondemos sem exitação – sim –. Construamos por exemplo em nossos pastos ranchos abertos, baratos e acostumemos os nossos animaes a comerem allí o seu milho e sal, a entrarem de noite, durante a chuva, etc. O resultado será que nos depositarão nestes ranchos grande parte do esterco que sem elles estaria perdido. Teremos assim ganho mais uma cousa: a preservação dos animaes, pois, achamos que não haverá pessoa alguma que*

*affirme que é bom para uma vacca de leite, para um boi de trabalho, para uma besta de montaria, permanecer num calor de 60° C durante horas e horas para receber depois uma chuva de pedra nas costas ou a geada de noite. Civilizemos um pouco nosso gado; tiremos-lhe um pouco da liberdade e tornemol-o um pouco mais productivo”.*

Deve-se destacar, ainda, neste documento, o que talvez tenha sido uma das primeiras menções sobre a ocorrência de rochas fosfáticas no Brasil, quando em 1891, o Dr. Orville A. Derby chamou a atenção do governo de São Paulo:

*“Snr. Presidente. – No curso dos estudos que estão sendo feitos pela Comissão á meu cargo para uma Memoria geológica sobre as jazidas de ferro de Ipanema, acaba-se de verificar um facto que julgo de meu dever trazer ao conhecimento do Governo sem esperar a publicação da dita Memoria.*

*Em muitas amostras de minereo de ferro e em outras rochas do lugar nota-se a presença do mineral Apatite, ou phosphato de cal, facto este que faz lembrar a associação analoga em muitas das famosas minas de ferro de Suécia e Noruega. Este mineral, cuja mistura com os minereos de ferro é extremamente prejudicial, por introduzir phosphoro no producto do forno, é, de seu lado, de consideravel importancia industrial para o fabrico de estrumes fertilizados.*

*Pesquisas feitas com o intuito de determinar (tanto quanto for necessario para poder formar o juizo seguro sobre a possibilidade de seu aproveitamento industrial) a quantidade e a qualidade das jazidas de Apatite, deram o mais satisfactorio resultado. A rocha contendo Apatite, que está á mostra em dois pontos diversos, indica uma possança relativamente enorme, talvez não inferior a do próprio minereo de ferro. Três amostras tiradas em diversos pontos e submetidas á analyse deram, de acido phophorico: 16,36 a 30,38%.*

*Sendo este theor em acido phosphorico superior ao de muitos Phosphatos que são aproveitados na industria, ha bem fundados motivos para acreditar que as jazidas de Ipanema possam servir de base de uma industria que seria lucrativa para os emprehen-*

*dedores e de vantagem incalculavel para a Lavoura brasileira.*

*Além do theor relativamente alto do elemento fertilizante, ha em Ipanema uma outra circumstancia extremamente favoravel que não me consta existir em nenhuma das jazidas de Apatite, até hoje exploradas. É que, em virtude da decomposição profunda da rocha, que tem respeitado a Apatite enquanto transformou em barro as impurezas com que ella se acha misturada, é muito facil, por meio de uma lavagem muito rapida e economica, obter o mineral em estado de pureza quase absoluta. – Saude e fraternidade. – Ao Muito Digno Presidente do Estado de S. Paulo. – S. Paulo, em 30 de Novembro de 1891.*

*Assignado: Dr. Orville A. Derby, Chefe da Commisão Geographica e Geológica do Estado de S. Paulo”.*

Outro trabalho bastante amplo e que merece destaque, foi o do Professor Dr. Paul Wagner sob o título: *A applicação de adubos articiaes na cultura das arvores fructiferas, legumes, flores e nos jardins*, traduzido do alemão, com autorização do autor pelo diretor, em 1893 (WAGNER, 1895). Foi, talvez, um dos mais completos guias de recomendação de adubação, em português, publicados até então, embora essas recomendações não tenham sido baseadas em uso de técnicas da diagnose da fertilidade do solo, como as análises de solos e foliar, comuns nos dias atuais. Inicia com uma discussão sucinta sobre as substâncias das quais vive a planta e quais as substâncias mais importantes para a sua adubação, nos capítulos I e II. No capítulo III, é feita uma descrição detalhada dos adubos mais importantes para árvores frutíferas e legumes, para as flores e jardins existentes no mercado:

*“(...)escoria de Thomas e superphosphato, salitre chileno e sulfato de ammoniaco, chlorureto de potássio e sulfato de potassa, farinha de chifre, resíduos de sementes oleaginosas, os chamados saes alimentícios puros - phophato de potássio, phosphato de ammoniaco e azotato de potássio, e mistura de saes alimentícios para plantas de jardim em vasos”.*

Um aspecto interessante dos chamados “saes alimentícios” mencionados anteriormente é que estes talvez se constituam numa das primeiras menções de fertilizantes foliares ou fertirrigação no Brasil, nas palavras textuais do autor:

*“Chamarei sal alimentício uma mistura de saes de estrumação concentrados, que recommendo para a estrumação de jardins e de plantas em vasos. O sal alimentício compõe-se de: 30 partes de phosphato de ammoniaco; 25 de azotato de sódio (salitre do Chile); 25 de azotato de potássio e 20 de sulfato de ammoniaco e em 100 partes contém 13 partes de acido phosphorico, 13 de azoto e 11 de potassa. Esta mistura de saes que se póde mesmo preparar ou comprar em qualquer negocio de estrumes, é applicavel a todas as culturas. Escolheu-se, segundo a proporção das substancias alimenticias, de modo que corresponda mais ou menos á necessidade media de estrumação das varias plantas de cultura, e, na escolha dos saes alimentícios, foi considerado que entre os ácidos e as bases (também das substancias accessorias que existem em quantidades mínimas) procure-se obter a relação equilibrada. É muitíssimo recommendavel o emprego do sal alimentício em fórmula de solução, contendo 1 g de sal em 1 litro de água”.*

Nos capítulos IV e V, procurou-se responder a duas perguntas: “*Quaes as condições do solo e da cultura mais favoráveis ao bom efeito dos adubos?*” e “*Os adubos do commercio podem também exercer má influencia sobre as plantas?*”.

No capítulo VI, são apresentadas “*regras especiaes para uma boa applicação dos adubos do commercio na cultura das plantas fructiferas, legumes e flores, e nos jardins*”. Este tópico envolve não apenas recomendações de adubação para um total de dezessete culturas, em quilos por hectare e grammas por metro quadrado, mas também mostra 21 fotos de dezenas de experimentos conduzidos em vasos onde foram observadas respostas amplamente positivas pelo uso dos mais diferentes tipos e doses desses “*adubos do commercio*”. Um dos casos foi a cultura da cevada pelo uso de “*1/4 g de acido phosphorico em forma de super-*

*phosphato e 1/2 g de ácido fosfórico em forma de farinha fina de escória de Thomas”, comparado com o tratamento testemunha, “sem ácido fosfórico”, em vasos que foram “estrumados” com azoto e potassa. Fica-se a imaginar o sucesso que uma publicação como essa deve ter tido naquela época!!!*

Um dos primeiros trabalhos, com características de experimento de campo, envolvendo a adubação em solos da região dos cerrados, foi desenvolvido no início de 1900 (EMBRAPA – Milho e Sorgo, 2000). Em 1907, a Diretoria de Agricultura, Comércio e Colonização noticiou que fora estabelecido, no dia 14 de agosto, “um pequeno campo de experiência, com área de um alqueire (4,84 ha) nas proximidades de Sete Lagoas, em terreno de cerrado, onde se poderia verificar a utilização e o comportamento das culturas”. A área citada se localiza no Distrito de Wenceslau Braz, município de Sete Lagoas, onde hoje se situa o 4º Grupo de Artilharia Antiaérea - 4º GAAE.

Era uma experiência absolutamente nova. Cerca de 20% da área central de Minas Gerais, em sua maior parte concentrada em direção ao noroeste, era território de cerrado, até então considerada uma região de terras pobres e pouco produtivas. Os trabalhos aí encetados foram bem descritos. Cabia ao encarregado dos serviços, o mestre de cultura Américo de Souza Barbosa, roçar, destocar, arar, gradear o terreno, cercá-lo de arame e dividi-lo em quatro partes iguais, sendo três partes adubadas e uma testemunha sem adubação. Esse procedimento prático constituiu-se nos preparativos para a instalação da primeira experiência agrícola sobre manejo dos solos de cerrado no Brasil Central.

A experiência de Sete Lagoas avaliou a produtividade de milho e feijão sob quatro condições:

- 1ª) adubação com esterco de curral;
- 2ª) adubação com escória de Thomas;
- 3ª) adubação com salitre do Chile;
- 4ª) testemunha, sem adubação alguma.

Como resultado, foi descrito que:

*“(…)as plantas das três partes adubadas desenvolveram-se satisfatoriamente, proporcionando grãos nas duas culturas, ao contrário da testemunha, que nada produziu, ou seja, a terra de cerrado, adubada de modo adequado, era produtiva”.*

### 2.6.2. Programa do IRI

Um dos programas mais importantes envolvendo os aspectos de fertilidade do solo e produtividade das culturas no Brasil foi o iniciado em 1950 pelo Instituto de Pesquisas IBEC, que, em 1963, passaria a denominar-se Instituto de Pesquisas IRI (HARRINGTON e SORENSON, 2004). Fundado pelos irmãos David e Nelson Rockefeller e associados, os fundos para a fase inicial vieram pessoalmente dos irmãos Rockefeller e do “Fundo Irmãos Rockefeller”, que, por 14 anos ininterruptos, sustentaram os trabalhos num período crítico, por envolver as fases de descoberta, confirmação e desenvolvimento inicial do uso das áreas de cerrados. As fases seguintes de adoção e implementação receberam aportes substanciais da USAID e da Fundação Ford, contando, ainda, com a participação de vários grupos privados dos setores de corretivos, fertilizantes, defensivos e da indústria algodoeira. Várias organizações do governo brasileiro, bem como inúmeras pessoas individualmente também colaboraram por meio de análises laboratoriais e outros tipos de assistência. Em São Paulo, o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e a Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ) foram grandes colaboradores.

Um fato interessante é que uma das missões originais do IRI no Brasil era identificar as razões do declínio da produção de café nas terras exauridas de São Paulo e corrigi-las economicamente. O envolvimento do IRI com os problemas de fertilidade dos solos de cerrado era originalmente um projeto de nível secundário.

Em 1950, quando o IRI iniciou seu trabalho, o sistema tradicional de produção de café no Brasil incluía a derrubada da mata, a queima da madeira e

o plantio da lavoura nas áreas desmatadas. A fertilidade natural do solo era explorada por 20 ou 30 anos. Após esse período, a produtividade geralmente declinava abaixo do ponto de interesse, quando então as áreas eram abandonadas e destinadas a pastagens e exploração da pecuária. Esse sistema apresentava inúmeras repercussões negativas. À medida que as lavouras de café eram abandonadas e as áreas eram destinadas a atividades com menor demanda de mão-de-obra, como a pecuária e outras culturas menos lucrativas, ocorria uma desagregação nas comunidades locais e suas economias. Nessa época, a prática de “derrubar e queimar” já havia consumido a maior parte da mata virgem do estado de São Paulo. Simultaneamente, as plantações de café foram sendo empurradas rapidamente para as regiões de clima marginal do Paraná, onde as geadas se constituíam uma ameaça constante.

O Programa de Lavouras de Café, sob o comando de James C. Medcalf, constituía-se num programa prático e focado no campo, tendo como base a Fazenda Cambuhy (também chamada de Fazendas Paulistas), em Matão, estado de São Paulo, e com a coordenação do Instituto Agronômico de Campinas, instituição líder na pesquisa do café no Brasil. A maioria dos plantios dessa fazenda deuse na época do “boom” do café, durante a década de 1920, e grande parte da lavoura estava decadente em termos de produtividade, situação típica das antigas fazendas de café do estado. Um aspecto amplamente favorável à pesquisa é que havia, na fazenda, talhões de várias idades e em diferentes tipos de solos, além de excelentes informações a respeito das produtividades dos vários talhões, fertilizantes utilizados, danos de geadas, custos de produção, preços de vendas e outras variáveis.

Um aspecto interessante foi a forma técnica de encarar o problema de degradação da cafeicultura, que incluía a revisão de toda a literatura publicada no Brasil e em outros países da América Latina, assim como trabalhos anteriores executados pelos ingleses, na África Oriental, e pelos holandeses, na Indonésia. As informações

meteorológicas locais foram exaustivamente estudadas e, para conhecer melhor os problemas nutricionais, o Dr. Wreal L. Lott, do IRI, auxiliou o Instituto Agronômico de Campinas a montar o primeiro laboratório de análises foliares da América Latina. Esse laboratório analisava, nas folhas do café, 13 elementos minerais essenciais para o crescimento das plantas. Problemas nutricionais ou carências que poderiam limitar a produção do cafeeiro eram examinados da mesma forma que as análises de sangue são usadas para diagnósticos médicos.

O Programa de Lavouras de Café estudou o uso de técnicas, tais como: calagem, adubações com NPK, irrigação, utilização de micronutrientes quelatizados, cobertura morta, plantio intercalar de leguminosas, problemas de nematóides nas raízes, uso do esterco de curral e outros tratamentos visando ao aumento da produtividade.

Em 1956, o IRI iniciou um Programa Intensivo de Fertilidade de Solos sob a supervisão do Dr. Colin McClung que, além de ter como meta principal a recuperação de solos de antigas matas para a produção de café, visava também identificar os fatores importantes na fertilidade do solo para o desenvolvimento de outras culturas da época, notadamente nos solos dos cerrados, cujas características tinham alguma similaridade àqueles extremamente degradados oriundos das florestas. De acordo com o Dr. McClung, a experimentação com o uso de culturas de ciclo curto traria progressos mais rápidos no objetivo final de obter informações economicamente viáveis para a cultura do café, pois esta demandaria cerca de cinco anos para atingir a maturidade e algumas décadas para completar um ciclo de vida. Além disso, o café caracterizava-se pelo ciclo bienal de produção, trazendo complicações adicionais para interpretações estatísticas confiáveis.

Convencionou-se então que o programa deveria ser iniciado com experimentos em vasos na casa de vegetação, que serviriam como guia para os trabalhos que seriam posteriormente levados para o campo. A visão técnica era de que um largo espectro de possíveis tratamentos poderia ser ava-

liado nas casas de vegetação, onde o ciclo se completaria em três meses ou menos. O milheto “Pérola” (*Pennisetum americanum*), uma gramínea de crescimento rápido, foi a principal planta-teste. Com base nos resultados das casas de vegetação, os experimentos de campo foram então instalados com milho, soja e algodão, com duração aproximada de até seis meses. Após o acúmulo de um sólido conhecimento a partir desses experimentos, partiu-se para o plantio de café para testar os efeitos dos tratamentos mais promissores.

Em meados de 1958, já existia uma quantidade suficiente de resultados em vasos que justificasse o início de um grupo expressivo de experimentos de campo. Duas localidades de cerrados foram escolhidas, uma em São Joaquim da Barra (SP), onde o algodão e a soja foram as plantas-teste, e outra em Anápolis (GO), atendendo ao pedido de Bernardo Sayão, uma figura legendária encarregada de cuidar do planejamento geral, do desenvolvimento e construção do novo Distrito Federal (Brasília), preocupado com a capacidade dos solos reconhecidamente pobres dos cerrados de produzir alimentos para suprir Brasília.

Os resultados obtidos nas produções desses campos demonstrativos indicaram que os solos dos cerrados eram deficientes em diversos nutrientes para as plantas e que estas respondiam prontamente ao uso de calcário e de fertilizantes. Respostas em termos de crescimento e produtividade foram obtidas com a adição de calcário dolomítico, N, P, K, Zn, S e Mo. As duas localidades apresentaram resultados diferentes, assim como as culturas no mesmo local, ficando evidente que havia necessidade de muito mais trabalho de campo para se chegar a uma “sintonia fina” das necessidades de nutrientes e outros insumos para se atingir produtividades mais rentáveis.

Os resultados dessas pesquisas envolvendo a área de fertilidade do solo, ao longo dos anos, foram publicados em 23 boletins técnicos, notas técnicas, entre outros, das 58 publicações do IRI durante sua história.

### 2.6.3. Projeto FAO/ANDA/ABCAR

Em 1969, a Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA) deu início a um ambicioso projeto visando instalar 500 campos de demonstração de resultados de adubos em lavouras de arroz, milho, feijão e algodão no sul de Goiás, no Triângulo Mineiro e no sul de Minas Gerais. Posteriormente, o projeto se estendeu para o Mato Grosso e, em 1975, já compreendia 3000 campos experimentais.

A inspiradora e parceira do projeto foi a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO), que há seis anos comandava o mesmo tipo de ação em 17 países. Isso resultou em 45 mil demonstrações de resultados instalados em propriedades rurais para cerca de 1 milhão de agricultores, como um projeto da Campanha Mundial Contra a Fome. Outra importante parceira do programa foi a Associação Brasileira de Crédito e Assistência Rural (ABCAR), entidade à época responsável pela extensão rural em todo o País. Tal foi o êxito do projeto, conhecido como Projeto FAO/ANDA/ABCAR, que o mesmo foi estendido para outras regiões do País em 1972 e chegou aos estados do Nordeste, da Bahia ao Maranhão, que apresentavam um consumo incipiente de fertilizantes, os quais eram usados nas culturas da cana-de-açúcar, em Pernambuco, e de fumo, em Alagoas. Na época, foram instalados 300 ensaios de adubação e 1.500 campos de demonstração envolvendo as culturas do algodão, milho, mandioca, abacaxi, arroz e feijão.

Em 1977, por solicitação do agente financeiro da região, o Banco do Nordeste, o projeto foi prorrogado por três anos e abrangeu mais seis produtos: cana-de-açúcar, soja, citros, mamona, cebola e sorgo. Coordenado pelo escritório regional da ANDA no Nordeste, em Recife, comandado primeiro por Marcos Rocha e depois pelo saudoso Hermano Gargantini, que foi chefe da seção de Fertilidade do Solo do Instituto Agrônomo de Campinas, o trabalho mobilizou o Ministério da Agricultura, Secretarias Estaduais, Universidades e Órgãos de Pesquisa e Extensão. Em 1977, os ensaios de adubação já eram 750, os campos demonstrativos 3.500 e os estados alcançados pelo projeto, nove. Nos

seis anos em que atuou no Nordeste, o projeto FAO/ANDA/ABCAR atingiu 347 municípios. A ANDA atuou com projeto semelhante no Paraná, onde o alvo foram as culturas de milho e algodão, no Rio Grande do Sul (milho, soja, trigo, arroz), no Espírito Santo (batatinha) e nos cerrados, com o apoio do *IBEC Research Institute* (IRI), e nas pastagens da Companhia de Melhoramentos do Norte do Paraná, em 1976. Sem dúvida, foi esse o motivo que levou a FAO a adiantar na reunião de Roma, em 1972 que, “dentre os países onde o Programa de Fertilizantes apresenta resultados técnicos positivos e onde existe bom aproveitamento desses resultados, figuram o Brasil, Quênia, Argélia e Indonésia”.

#### 2.6.4. Operação Tatu

Outro programa que alterou a fertilidade do solo, especificamente em âmbito regional, no Rio Grande do Sul, foi a famosa Operação Tatu. O relato que segue, adaptado de Jardim Freire *et al.* (2006) e SBCS-CQFS (2004), mostra que, nas décadas de 1950 e 1960, quem de Porto Alegre subisse ao Planalto Riograndense, a partir de Soledade, encontraria uma só paisagem até o rio Uruguai, para oeste, na fronteira com a Argentina: campos com capim barba-de-bode (*Aristida pallens*), indicador de solo pobre, e uma ou outra pequena lavoura de trigo ou de mandioca. A estrada era pavimentada até São Leopoldo, sendo o centro de cimento, e as laterais, de pedra. Até a fronteira era terra batida, de Santa Maria para o norte, à fronteira de Santa Catarina, a paisagem era a mesma.

Nas cidades, poucas indústrias de máquinas agrícolas rudimentares, “atafonas” para a produção de farinha de mandioca. Aquela paisagem mudava apenas na região de Santa Rosa, com as pequenas lavouras coloniais de milho, mandioca e, principalmente, soja. Era comum realizar a plantação de soja intercalada com outra planta, como milho ou mandioca.

A situação geral da pesquisa agrônômica, especialmente, em fertilidade do solo, tinha bases errôneas, isto é, a baixa produtividade. Não se

considerava a real necessidade das plantas para o crescimento e produtividade adequados. Adubos e corretivos eram simplesmente taxados de “antieconômicos”. As recomendações técnicas eram para reduzir o uso de insumos: 500 a 1.000 kg ha<sup>-1</sup> de calcário; e 50 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, isto é, doses “homeopáticas”. As respostas eram baixas ou nulas.

Os campos experimentais eram comumente conduzidos com a fertilidade “natural”, sem amarração ao tipo e análise de solo. Havia preocupação em muitos centros, para a obtenção de cultivares “rústicos” ou tolerantes, isto é, resistentes à inanição.

O Projeto de Melhoramento da Fertilidade do Solo, denominado Operação Tatu, surgiu com a implantação do Curso de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), em 1965. A denominação Operação Tatu foi devida à base na coleta de amostras do solo (cavando buracos) para análise química. Nessa época foram iniciados os trabalhos de pesquisa visando à identificação dos fatores responsáveis pela baixa produtividade dos solos do estado do Rio Grande do Sul, com destaque para a baixa disponibilidade de nutrientes, especialmente, o fósforo, a acidez e os níveis tóxicos de alumínio e manganês.

O primeiro município em que foi implantado o projeto foi Ibirubá, sendo executado pelo Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da UFRGS, que, à época, mantinha um convênio de cooperação técnica com a Universidade de Winsconsin, EUA, pela Secretaria da Agricultura, pelo Ministério da Agricultura através do Instituto de Pesquisas e Experimentação Agropecuária do Sul (IPEAS) e pelo Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA).

Esse trabalho foi repetido em Santa Rosa, expandindo-se, a partir de 1967, para Três de Maio, Tuparendi e Horizontina, sob a coordenação da Associação Rural de Santa Rosa e da Associação Sulina de Crédito e Assistência Rural (ASCAR). Em 1968, já havia solicitação de 80 municípios para participar do projeto, que objetivava corrigir a aci-

dez e a fertilidade do solo, além de controlar a erosão e estimular o emprego de melhores cultivos e a adoção de novas práticas de cultivo.

A comunidade local fazia o projeto considerando a necessidade de calcário, fertilizante, crédito etc., envolvendo o agrônomo, o técnico rural, o agente do banco, o prefeito, as entidades de classe, enfim, os líderes da comunidade. Os estudantes de pós-graduação colhiam as amostras do solo e procediam às análises químicas para determinar a necessidade de calcário, P, K, teor de matéria orgânica e a adubação nitrogenada para as culturas não leguminosas.

O Banco do Brasil passou a considerar a primeira aplicação de calcário e fertilizantes como investimento (pagamento de três a cinco anos) e as posteriores eram consideradas custeio. Lavouras demonstrativas eram estabelecidas. Caravanas de ônibus de outras regiões iam ver os resultados em Santa Rosa. Para a obtenção de crédito do Banco, era necessário comprovar a análise do solo e a compra de inoculante de rizóbio para a soja. Surgiram então outros laboratórios de análise do solo, além da Secretaria de Agricultura, UFSM, UFRGS, UFPEL, e foi criada a rede Riograndense e Catarinense de Laboratórios de Análise de Solo (ROLAS). Nessa época, a produtividade de soja no Sul era de 1.200 kg ha<sup>-1</sup>.

Foi então implantada e difundida a filosofia para a obtenção de alta fertilidade e alta produtividade. Solos em que a recomendação era de 500 ou no máximo 1.000 kg ha<sup>-1</sup> de calcário passaram a ter a recomendação de 4.000 ou 5.000 kg ha<sup>-1</sup>, ou mais, para atingir valor de pH 6,0-6,5, além da aplicação de outros fertilizantes, especialmente o P. Nos experimentos e nas lavouras, a produtividade da soja passou de 2.000 para 3.000 kg ha<sup>-1</sup>, e o rendimento médio no Rio Grande do Sul atingiu 2.200 kg ha<sup>-1</sup>. O consumo de calcário e de fertilizantes teve alto incremento, além de outras medidas de melhoria de manejo, conservação do solo e variedades mais produtivas.

A Operação Tatu manteve ações intensas até 1974, estendendo-se, pelo menos, até 1976. Uma avalia-

ção dos efeitos desse projeto foi feito por Mielniczuk e Anghinoni (1976), em 20 lavouras, nos municípios de Santa Rosa, de Tapera e de Espumoso. Após um período de cinco a sete anos da primeira aplicação de calcário, o pH médio passou de 4,8 para 5,6 e a necessidade de calcário de 6,9 para 2,2 t ha<sup>-1</sup>, o que correspondia a um efeito residual de 50% em relação à primeira calagem. Os teores de P e K estavam adequados, e os produtores haviam corrigido o solo no restante da propriedade, obtendo altos rendimentos dos cultivos; demonstravam também entusiasmo pela utilização de práticas de melhoria da fertilidade e conservação do solo.

No estado de Santa Catarina, a partir dos resultados obtidos pela Operação Tatu no estado do Rio Grande do Sul, foi elaborado o Plano de Recuperação da Fertilidade do Solo, em meados de 1968, denominado Operação Fertilidade, para ser executado a partir de 1969 e com duração prevista até 1975. Os trabalhos de campo foram executados no município de Nova Veneza, região sul do estado de Santa Catarina, em 1969, com a instalação de 16 lavouras demonstrativas, com a cultura do milho, seguindo as normas técnicas preconizadas pelo Plano, entre elas, adubação corretiva e de manutenção e calagem pelo índice SMP para atingir pH 6,0. Nessas lavouras, foram aplicadas, em média, 8,1 t ha<sup>-1</sup> de calcário. O rendimento médio dessas lavouras foi de 5.040 kg ha<sup>-1</sup>. Nos anos seguintes, o Plano se expandiu para todo o estado, e o consumo de calcário atingiu aproximadamente 50 mil toneladas, em 1970, e 300 mil toneladas, em 1980. Os trabalhos de campo, a partir da safra de 1970/71, foram executados pela Secretaria da Agricultura daquele estado e pela Associação de Crédito e Assistência Rural do Estado de Santa Catarina (ACARESC).

Destacam-se, na elaboração e execução do projeto da Operação Tatu: pela Universidade de Wisconsin (EUA), John Murdock e Marvin Beaty J. R. e pela Faculdade de Agronomia da UFRGS, José G. Stammel, João Mielniczuk, Sérgio Wolkweiss e Egon Klamt, João Rui Jardim Freire; pela ASCAR

(Emater) Paulo Kappel e, como líder local, Pedro Carpenedo, entre outros.

Talvez as maiores contribuições resultantes da Operação Tatu tenham sido a introdução do princípio da calagem total, ou seja, a aplicação, em uma só vez, da quantidade de calcário necessária para corrigir a acidez do solo ao nível desejado e o desenvolvimento do conceito das adubações corretivas (principalmente de P e K), utilizadas na recuperação da fertilidade do solo, hoje difundidas em todo o País.

### **2.6.5. *International Soil Fertility Evaluation and Improvement Project***

Em junho de 1963, foi assinado um projeto entre a *North Carolina State University* e a Agência Internacional de Desenvolvimento dos EUA (USAID), cujos objetivos primários eram: documentar as necessidades em relação à fertilidade do solo e à aplicação de adubos com a finalidade de aumentar a produção agrícola na América Latina; e ajudar governos e agências que quisessem colaborar no desenvolvimento e manutenção de programas adequados de análise de solo. O Dr. R. B. Cate foi indicado como Diretor Regional do projeto no Brasil e, juntamente com Leandro Vettori, Hermano Gargantini e Raul Edgar Kalchmann, dentre outros, colaborou decisivamente para o sucesso do programa.

Uma das maiores contribuições desse convênio para o desenvolvimento da análise de solos como um instrumento de diagnose da fertilidade do solo e recomendação de calcário e fertilizantes para a agricultura brasileira foi a instalação, nas décadas de 60 e 70, de uma série de laboratórios com sistemas de pipetagem automática que permitiam a cada laboratório a execução de até 150 análises de rotina por dia. Até então, nos 31 laboratórios brasileiros que realizavam essas análises, a capacidade máxima diária de operação era, talvez, de 10 a 20 amostras.

A tarefa de pesagem das amostras de solos já preparadas foi substituída pelas chamadas "cachimbadas", nas quais os respectivos volumes uniformes eram medidos em séries de onze amos-

tras, sendo repetida sempre uma amostra-controle com características de fertilidade conhecidas, para aferição dos resultados. A adição das soluções extratoras (KCl, para extração de Ca, Mg e Al, e o extrator Mehlich-1 ( $H_2SO_4 + HCl$ ), para extração do K e P) era feita nos onze *erlenmeyers* que continham as amostras dispostas em bandejas de alumínio, por meio de um sistema de pipetagem automática a vácuo. Em seguida, essas bandejas com as amostras eram levadas a um agitador horizontal para o período normal de agitação e extração. Após a agitação e um período de repouso durante a noite, tiravam-se, também via pipetagem automática, onze extratos do líquido sobrenadante por vez. Outros conjuntos de pipetadores eram utilizados para se obterem alíquotas dos extratos de KCl, para a determinação do Ca e Mg trocáveis por titulação com EDTA, e de Al trocável, pelo NaOH  $0,025 \text{ mol L}^{-1}$ ; dos extratos do Mehlich-1, onze alíquotas para a determinação de K por fotometria de chama e do P por colorimetria. O pH em água era também determinado em séries de onze amostras num processo semi-automatizado. Os laboratórios mais privilegiados, que já tinham aparelhos de absorção atômica, determinavam, também, Cu, Zn, Fe, e Mn no mesmo extrato do Mehlich-1. Posteriormente, foram incluídos sistemas semi-automatizados para a determinação do S, B (pelo extrator de água quente), matéria orgânica, CTC.

Os protótipos desses laboratórios, que permitiam aumentar em cerca de 10 vezes a capacidade diária de análises nos laboratórios já em operação, foram desenvolvidos no Departamento de Ciência do Solo da *North Carolina State University*, pelos Professores J. W. Fitts e Arvel H. Hunter, e os modelos de laboratórios e orientações para a sua fabricação e montagem foram distribuídos, sem custo, pelo *International Soil Testing Project*, em dezenas de países na América Latina.

Deve ser ressaltado o trabalho fantástico do Dr. Leandro Vettori e do "mestre" Juca Abreu, do antigo Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo, no Rio de Janeiro, que, artesanalmente, fabricavam os componentes básicos desses equipamentos, sendo as bases dos pipetadores fabricados em bronze, estando mui-

tos em perfeita atividade até hoje. Posteriormente, esses pipetadores, diluidores e dispensadores passaram a serem fabricados por empresas produtoras de instrumentos e equipamentos de laboratório no Brasil.

Além de contribuir para o desenvolvimento da análise de solos no Brasil, esse projeto estabeleceu, por meio de suas inúmeras publicações, orientações básicas de como realizar trabalhos em casa de vegetação e experimentos em campo, com o objetivo de melhor calibrar os resultados das análises de solos com as respostas à adubação para diversas culturas. O Programa Nacional de Fertilidade do Solo, coordenado pelo Dr. Leandro Vettori, estabelecido em decorrência do *International Soil Testing Project*, que, durante muitos anos, funcionou para discutir os resultados desse convênio no Brasil, evoluiu posteriormente para as Reuniões Brasileiras de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas e, hoje, para as Reuniões Brasileiras de Fertilidade e Biologia do Solo (FERTBIO).

### **2.6.6. Tropical Soils Research Project**

Iniciado em julho de 1970, também sob a responsabilidade do Departamento de Ciência do Solo da *North Carolina State University*, EUA, e contando com o apoio financeiro da USAID, por meio do contrato AID/csd 2806, este projeto representou uma suplementação e complementação às atividades do *International Soil Fertility Evaluation and Improvement Project*. Os objetivos da fase 1 do projeto foram rever, analisar e interpretar a literatura publicada e outras fontes de informação relacionadas aos fatores de solo que influenciavam a produção das culturas nas regiões tropicais da América Latina e identificar os principais problemas e locais para pesquisas mais aprofundadas a serem desenvolvidas na fase 2 do projeto.

No Brasil, em estreita colaboração com a Universidade de Cornell e *North Carolina State University* (EUA) e pesquisadores do recém-criado Centro de Pesquisas Agropecuárias do Cerrado (CPAC), foram desenvolvidas várias teses de mestrado e de PhD, nos anos 70 e 80, contando com estudantes

de outros países e do Brasil, envolvendo os mais diversos aspectos básicos de manejo da fertilidade dos solos sob vegetação de cerrados, com destaque para:

- a) métodos de recomendação da calcário, profundidade de incorporação e efeito residual;
- b) movimentação de Ca e Mg no solo;
- c) aprofundamento do sistema radicular pelo uso do gesso agrícola;
- d) fontes, doses e métodos de aplicação da adubação fosfatada corretiva e de manutenção;
- e) efeito residual de doses, métodos e épocas de aplicação de P;
- f) movimentação de K no solo;
- g) adubação com K e Mg;
- h) respostas à aplicação de micronutrientes e calibração de análises de solo;
- i) adubação nitrogenada de culturas anuais etc.

Deve-se enfatizar que muitos dos princípios de manejo da fertilidade dos solos sob cerrado obtidos desses experimentos são válidos e aplicáveis até hoje.

### **2.6.7. Programas interlaboratoriais de controle de qualidade de análises de solos**

Um dos aspectos mais importantes ligados à fertilidade do solo e uso eficiente de corretivos e fertilizantes é que os laboratórios que se dedicam à execução de análises de solos, como instrumento básico e insubstituível nas tomadas de decisão, apresentem confiabilidade nos seus resultados. Isso tem sido uma preocupação constante da Seção IV – Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, nos diversos estados do País, o que levou a um grande esforço daqueles que atuam nesses segmentos, no sentido de montarem programas regionais de controle de qualidade de laboratórios de análise de solos.

O primeiro programa regional (ROLAS) envolvendo análises de solo foi estabelecido nos estados

do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, em 1968, e continua em operação até hoje. Outros programas envolvem os laboratórios de vários estados que realizam os trabalhos de análise seguindo diferentes orientações, como o sistema IAC, iniciado em 1986; o PROFERT-MG, cuja área de atuação, desde 1987, é principalmente o estado de Minas Gerais; o CELA-PR, no Paraná, iniciado em 1995; e o PAQLF, envolvendo laboratórios de diversos estados e/ou regiões brasileiras que utilizam o método da Embrapa desde 1992. Atualmente, 280 laboratórios do Brasil participam desses programas.

O princípio básico de atuação desses programas regionais envolveu, além da inclusão de amostras-controle de solos, que são sistematicamente repetidas em relação a certo número de amostras de terceiros (normalmente a décima primeira amostra de uma série automatizada de 11 amostras), no envio periódico, pelo órgão coordenador, de amostras para verificação de possíveis desvios em relação à média dos resultados obtidos em todos os laboratórios. Anualmente, os laboratórios que estiverem dentro dos padrões preestabelecidos recebem um selo de confiabilidade dos seus resultados. Aqueles laboratórios que não se enquadrarem dentro de um teste de proficiência são orientados no sentido de buscar os motivos de diferenças dos resultados e correção dos mesmos.

### 2.6.8. Programa Interlaboratorial de Análise de Tecido Vegetal

Este programa de âmbito nacional, ligado à Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, foi criado em 1982, com o intuito de estimular e fomentar a prática da análise de tecido vegetal, que se constitui, também, em um valioso instrumento na avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes.

Inicialmente com 15 laboratórios, o programa teve o objetivo de possibilitar aos seus participantes um diferencial no mercado, mas, principalmente, uma maneira de possíveis erros serem corrigidos, garantindo uma análise de tecido vegetal correta e confiável a seus clientes.

Sob a coordenação do Prof. Dr. Godofredo Cesar Vitti, da ESALQ-USP (em Piracicaba, SP), desde o ano de 1988, o Programa, que possui somente similares em âmbito mundial localizados na Holanda e França, conta atualmente com a participação efetiva de 119 laboratórios, localizados em todo o território nacional, além de um situado no Uruguai.

O Programa baseia-se no envio de 16 amostras-controle de tecido vegetal, identificadas apenas por um número. A cada ano, materiais vegetais das mais variadas culturas são coletados para compor cada uma delas. Os laboratórios devem enviar os resultados de macro e micronutrientes dessas amostras respeitando os prazos estabelecidos. Em cada prazo, os resultados de quatro amostras devem ser enviados, dividindo-se assim as análises ao longo do ano.

A avaliação dos resultados é realizada por meio de um procedimento estatístico elaborado especialmente para o Programa. Porcentagem de acertos e frequência de envio dos resultados são utilizados para a avaliação final e, a partir daí, uma nota é dada. Esta nota ou conceito varia de *A* a *D*, de acordo com a faixa de porcentagem de acerto do laboratório. Apenas os laboratórios que obtêm conceito *A* ou *B* têm direito a um certificado de aprovação e ao uso dos selos de qualidade no ano seguinte ao das avaliações dos resultados.

### 2.6.9. Recomendações oficiais de corretivos e fertilizantes

Um outro aspecto de grande relevância envolvendo fertilidade do solo e produtividade das culturas no Brasil foi o grande esforço de órgãos ligados ao ensino, pesquisa e extensão de vários estados no Brasil, no sentido de elaborarem, por estado ou região, recomendações de corretivos e fertilizantes para as mais diferentes culturas, com base na análise de solos e, em alguns casos, na análise foliar.

Até o início da década de 60, não havia, no Brasil, trabalhos de correlação e calibração de análises de solos - e muito menos de análises foliares - como base para a recomendação de corretivos e fertili-

zantes. A primeira tentativa neste sentido, de âmbito nacional, foi feita pelo Professor Robert Cate, Diretor Regional do *International Soil Testing Project* no Brasil, em 1965, em um trabalho modesto, mas que foi a base para despertar o interesse sobre o assunto em diversos estados ou regiões.

As premissas básicas usadas pelo Dr. Cate foram as seguintes:

- 1) abaixo de um certo “nível crítico” de um nutriente no solo (determinado por análise de amostra obtida num laboratório padronizado), a probabilidade de resposta à adubação com este elemento será muito maior do que quando o teor revelado pela análise estiver acima do nível crítico;
- 2) a quantidade de adubo que pode ser aplicada pelo agricultor depende da relação entre o valor provável da produção e o custo do adubo;
- 3) quando os solos estiverem bem abastecidos com P e K e não houver problema de acidez, quase sempre haverá resposta aos adubos nitrogenados (CATE e VETTORI, 1968). É interessante notar que neste trabalho, para aquela época, os critérios para interpretação de P, K, Ca + Mg e Al eram apenas baixos (abaixo do nível crítico) e médio/alto (acima do nível crítico).

Em âmbito estadual ou regional, foram publicados trabalhos muito mais elaborados e completos no Rio Grande do Sul (1969), Goiás (1970), Minas Gerais (1971), Espírito Santo (1977), Paraná (1978), São Paulo (1985), Distrito Federal (1987) e Rio de Janeiro (1988). Edições mais atualizadas dessas recomendações foram elaboradas nos estados de São Paulo (1996), Pernambuco (1998), Minas Gerais (1999), Espírito Santo (2001), Rio Grande do Sul e Santa Catarina (2004). Para a região dos cerrados, o livro “Cerrado: Correção do Solo e Adubação”, editado pelos pesquisadores do Centro de Pesquisa Agropecuária do Cerrado (CPAC), Djalma M. G. de Souza e Edson Lobato, em 2002, atende à filosofia de trabalho adotada em outros estados e regiões abrangidas pelos cerrados brasileiros.

## 2.6.10. Comitê de qualidade da ANDA

Um fator relevante para que se atinja a Produtividade Máxima Econômica das mais diversas culturas é o uso de doses adequadas de fertilizantes e corretivos agrícolas que tenham garantias quanto à sua qualidade.

Foi pensando nisto que a ANDA instituiu, em maio de 1973, sob a responsabilidade do professor José Carlos Alcarde (ESALQ-USP), coordenador até os dias atuais, o Programa Interlaboratorial de Metodologia de Análise de Fertilizantes. Esse Programa, que envolveu as empresas associadas à ANDA, teve como objetivo básico uniformizar e aferir os trabalhos dos laboratórios que serviam de apoio aos sistemas de controle da qualidade da produção nas empresas. Consistia na distribuição de amostras homogêneas de fertilizantes aos laboratórios das empresas, que as analisavam com seus próprios métodos e remetiam os resultados à ANDA, para serem estatisticamente avaliados. Com base nessa avaliação, os resultados eram discutidos em reuniões mensais.

Inicialmente, os métodos eram os utilizados nas próprias empresas. Logo houve a necessidade de padronizar esses métodos para que todos os laboratórios pudessem empregá-los. Em seguida, passou-se a estudar os problemas analíticos e a introduzir novos métodos, o que vem ocorrendo até hoje. Atualmente, a distribuição de amostras e reuniões são bimestrais. Os laboratórios que mostram bom desempenho no ano, de acordo com critérios preestabelecidos, recebem o Certificado de Proficiência Anual.

Por volta de 1980, foi criado o Programa Colaborativo de Controle de Qualidade com o objetivo de estudar, analisar e discutir os diferentes aspectos técnicos que envolvem o controle da qualidade da produção de fertilizantes.

Hoje, esses dois Programas constituem o Comitê de Qualidade da ANDA, que conta, atualmente, com a participação de cerca de 55 laboratórios das maiores e mais importantes empresas de fertilizantes do Brasil. Esse Comitê, além de proporcionar meios e facilidades para a avaliação do controle

da qualidade nas empresas, tem proporcionado inestimáveis colaborações ao Ministério da Agricultura no sentido de oferecer critérios para aperfeiçoar a legislação e a fiscalização da produção e comercialização de fertilizantes no Brasil.

### 2.6.11. Plano Nacional de Fertilizantes e Calcário Agrícola - PNFCA

Embora algumas das grandes empresas de fertilizantes já operassem no Brasil no fim dos anos 40 e no início da década de 50, até o início dos anos 60, a demanda brasileira de matérias-primas para a fabricação de fertilizantes era, essencialmente, atendida por importações. A produção local restringia-se à exploração de uma mina de fosfato na década de 40, no estado de São Paulo, a poucas unidades de amônia, ácido nítrico, nitrato de amônio e nitrocálcio, e a alguns produtores de superfosfato simples.

Na segunda metade da década de 60, surgiram novas unidades de superfosfato simples e o primeiro complexo industrial de fertilizantes, pertencente à Ultrafertil, o que marcou o início da produção de ácido fosfórico no País. Essa empresa também instalou a primeira unidade de porte para a fabricação de amônia anidra, além da produção de ácidos nítrico e sulfúrico, nitrato de amônio e de fosfato diamônico. Outros projetos entraram em operação nos anos 70.

Entretanto, a partir de 1971, a demanda de fertilizantes sofreu considerável impulso, principalmente em decorrência do início do desenvolvimento da agricultura na região dos cerrados, no Brasil Central, sendo limitada, contudo, pela necessidade de importações adicionais a custos crescentes. Essa pressão de demanda, associada aos altos preços no mercado internacional, como consequência dos conflitos no Oriente Médio, além de outros fatores, resultou, em 1974, na formulação do Plano Nacional de Fertilizantes e Calcário Agrícola (PNFCA), cujo objetivo principal era a ampliação e a modernização da indústria brasileira de fertilizantes e calcário agrícola. Esse programa, um marco no desenvolvimento da indústria nacional de fertilizantes, estimulou a implantação de vários

complexos industriais destinados à produção interna de matérias-primas e fertilizantes, com investimentos superiores a US\$ 2 bilhões.

Como resultado, a produção nacional de rocha fosfática, que em 1974 representava apenas 20% do consumo, evoluiu para uma condição de auto-suficiência em 1983. Em 1974, foram importadas 32% das necessidades de amônia e, em 1980, esta participação aumentou para 35%, embora o consumo tivesse crescido quase 2,5 vezes. A mesma evolução pode ser observada para o ácido fosfórico, pois, em 1974, foram importados 46% do consumo e, em 1985, apenas 3%.

Quando se analisa o segmento produtor de fertilizantes simples, verifica-se que as importações de nitrogenados, que, em 1974, representavam 60% do consumo, em 1986, situaram-se em 28% e foram constituídas quase que integralmente de sulfato de amônio. Idêntica evolução pode ser constatada para os fosfatados. Em 1974, importavam-se quase 60% das necessidades e, em 1987, já existia uma capacidade de produção superior ao consumo, implicando em ociosidade deste segmento.

Essa fase de quase auto-suficiência infelizmente não foi muito duradoura. Atualmente, diante do crescimento da demanda e do não proporcional aumento da capacidade instalada de produção nacional, ela equivale a 40% do N, 50% de P e 10% do K.

### 2.6.12. Gesso agrícola - uma descoberta casual

Um dos fatores mais limitantes da produção agrícola na região dos cerrados é a alta probabilidade da ocorrência de veranicos durante a estação das chuvas, associada à baixa capacidade de retenção de umidade e ao limitado crescimento do sistema radicular de várias culturas imposto pela deficiência de Ca e toxidez de Al no subsolo.

A descoberta do efeito do gesso em subsolos, promovendo crescimento radicular com aproveitamento da água em camadas mais profundas de solos durante veranicos, criou a expectativa de se poder melhorar os solos ao longo do perfil, para estimular o maior crescimento radicular. O gesso

(CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O), sal neutro, solúvel em água (2,5 gL<sup>-1</sup>), é lixiviado e chega ao subsolo onde reduz o efeito tóxico que o Al tem sobre as raízes, além de eliminar a deficiência de Ca, que também impede o crescimento radicular.

Entretanto, o que poucos sabem, é que o início dos estudos desses efeitos do gesso agrícola surgiu mais ou menos por acaso. No início dos anos 70, um agricultor do Paraná, Sr. Luiz Souza Lima, adquiriu uma propriedade no Distrito Federal, ao lado do Programa de Assentamento Dirigido do Distrito Federal (PADEF), que foi o segundo grande assentamento agrícola na região dos cerrados. Por tradição trazida do Sul, esse agricultor utilizava como fonte de P o superfosfato simples, enquanto os agricultores do PADEF, a maioria formada por japoneses, utilizavam, como fonte desse nutriente, o termofosfato e o superfosfato triplo. Depois de uns 10-12 anos explorando a área, houve um veranico de mais de vinte dias de duração fazendo com que o milho e a soja dos agricultores do PADEF apresentassem severos sintomas de estresse hídrico e as mesmas culturas na propriedade do Sr. Souza Lima mantivessem um crescimento e desenvolvimento normais, sem demonstrar estresse hídrico.

O fato chamou a atenção de pesquisadores do Centro de Pesquisas Agropecuárias dos Cerrados – Embrapa (CPAC), que abriram trincheiras nas duas propriedades e observaram que o sistema radicular das culturas na área do PADEF alcançava 60 cm de profundidade e que, na propriedade ao lado, as raízes das mesmas culturas estavam a 120 cm de profundidade. O solo era praticamente o mesmo, e o único fator de manejo diferente era a fonte de P, como já mencionado. Começou-se então a especular que o maior aprofundamento do sistema radicular na propriedade do Sr. Souza Lima seria, possivelmente, resultante do efeito do uso contínuo, durante 10 a 12 anos, do superfosfato simples que, como se sabe, apresenta, por tonelada, cerca de 480 kg de gesso, e que esse componente teria minimizado os efeitos do baixo teor de Ca e elevado teor de Al trocáveis no subsolo, permitindo um maior aprofundamento do sistema radicular.

O que se seguiu a essa observação foi uma verdadeira explosão de trabalhos de pesquisa procurando estudar os mais diferentes aspectos quanto aos efeitos do gesso agrícola no aprofundamento do sistema radicular. Esses trabalhos envolveram estudos de laboratório procurando analisar melhor a química do gesso no solo; em casa de vegetação, procurando estabelecer níveis críticos de Ca trocável e de toxidez de Al, que seriam limitantes ao crescimento radicular; em colunas de solos com estrutura deformada e natural, utilizando-se de chuvas artificiais para acompanhar o movimento de Ca para o subsolo; experimentos de campo envolvendo combinações de doses de calcário e gesso para diferentes culturas e tipos de solo; e, finalmente, estabelecimento de critérios de diagnose para identificar solos com alta probabilidade de resposta ao gesso à utilização de métodos de recomendação desse insumo.

Não seria exagero afirmar que o Brasil é o país do mundo com o maior número de pesquisas envolvendo o gesso agrícola como melhorador das condições do subsolo para o desenvolvimento radicular. Haja vista que dois simpósios envolvendo o assunto foram realizados e os anais publicados (IBRAFOS, 1986 e 2002), e um livro, publicado no Brasil em 1988 (RAIJ, 1988), está com a 2ª edição revisada e ampliada, no prelo. Infelizmente, essas publicações foram editadas em português e a comunidade científica internacional tem pouco conhecimento desses trabalhos.

### **2.6.13. Método de extração de nutrientes com resina de troca iônica**

No início dos anos 80, houve uma grande mudança nos métodos de análises de solos, no estado de São Paulo. Essas mudanças envolveram, principalmente, o método de extração com resina de troca iônica para P, Mg, K e Ca, a determinação do pH em CaCl<sub>2</sub> e o cálculo de calagem por meio da elevação da saturação por bases a valores preestabelecidos para diferentes culturas.

Os motivos dessas mudanças, principalmente em relação ao P disponível, foram basicamente os seguintes:

- a) extratores ácidos como o Mehlich-1 e  $H_2SO_4$ , usados até então na quase totalidade dos laboratórios no Brasil, dissolvem resíduos de fosfatos naturais aplicados ao solo, podendo fornecer altos teores nas análises, mesmo em condições de deficiência no solo;
- b) esses extratores tendem a extrair teores muito baixos de P em solos argilosos que contêm teores suficientes de P disponível para as culturas, como nos Latossolos Roxos de baixa fertilidade;
- c) o método da resina dá melhor avaliação da biodisponibilidade de P em solos, conforme comparação de resultados de 70 trabalhos publicados em todo o mundo, com um coeficiente de determinação médio de 0,84 para solos ácidos, em comparação com um valor de 56% para o extrator Mehlich-1.

Os trabalhos de pesquisa que permitiram a implementação desse método, em 1983, foram iniciados em 1973 sob a responsabilidade dos pesquisadores José Antonio Quaggio e Bernardo van Raij, do Instituto Agronômico de Campinas. Embora o método da resina de troca iônica seja considerado, mesmo internacionalmente, um bom extrator de P, ele é evidentemente um método mais complexo e, pela sua complexidade, muitas vezes era considerado inadequado para uso em análises de rotina.

A técnica que permitiu a viabilização do método nas análises de rotina foi a solução de um difícil problema prático, que consistia em separar a resina do solo após 16 h de agitação da suspensão em água. A desagregação da terra foi obtida por meio de bolas de vidro colocadas antes da adição da resina, o que permitiu a separação, por peneiramento, da resina do solo após a agitação de 16 h.

Além disso, para permitir a automação na execução desse método, foram desenvolvidos vários equipamentos e aparelhos. A adoção desse método em 93 laboratórios no Brasil e até no exterior é um atestado da superação dos problemas metodológicos iniciais e da adequação do seu uso

nas análises de rotina para avaliação da fertilidade do solo.

#### 2.6.14. Método de saturação por bases

Até o início dos anos 80, os métodos de recomendação da calagem utilizados no Brasil se restringiam ao método SMP, nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, e o do Al e Ca + Mg trocáveis, utilizado em outros estados.

O método da saturação por bases requer a determinação da soma de bases (SB), acidez potencial a pH 7,0 (H + Al) e, por cálculo, obtêm-se a capacidade de troca de cátions (CTC a pH 7,0) e a saturação por bases (V). Esse método alternativo surgiu após o conceito de saturação por bases ser proposto como critério de calagem, pela primeira vez no Brasil, no Instituto Agronômico de Campinas, segundo o trabalho de Catani e Gallo (1955), no qual a acidez potencial era extraída por uma solução de acetato de cálcio  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ , a pH 7,0 e posterior titulação com solução de NaOH.

É interessante comentar que, nesse trabalho, a saturação por bases era estimada a partir da determinação do pH, por meio da equação de regressão entre pH em  $H_2O$  e V ( $\text{pH} = 4,28 + 0,31V$ ), em vez de ser determinada diretamente. Com esse procedimento, perdia-se a exatidão do método, e a determinação de H + Al pela extração com acetato de cálcio era muito laboriosa, tornando o método impraticável para laboratórios de rotina.

Foi a partir do trabalho de Quaggio (1983) que se desenvolveu um procedimento prático para estimar a acidez potencial do solo (H + Al), por meio da medida do pH de equilíbrio da suspensão solo-solução tampão SMP. Esse procedimento permite a determinação de H + Al em amostras de solo com até  $300 \text{ cmol dm}^{-3}$ , com coeficiente de variação inferior a 6%.<sup>c</sup> O processo é prático e adequado aos laboratórios de rotina. Esse procedimento de determinação da acidez potencial tornou viável a introdução do método da saturação por bases como oficial para a recomendação de calagem no estado de São Paulo, sendo hoje, também, utilizado em vários outros estados da Federação.

### 2.6.15. Evolução das análises de micronutrientes nos solos

A evolução da análise química de micronutrientes nos solos brasileiros pode ser dividida em três fases, de acordo com Lopes e Abreu (2000). A primeira, que é caracterizada pelos primeiros trabalhos abrangendo esse tipo de determinação, foi iniciada nos anos 40, em solos de São Paulo, envolvendo a determinação do manganês extraído por  $\text{HCl } 1 \text{ mol L}^{-1}$  ou  $\text{HNO}_3 \text{ } 0,01 \text{ mol L}^{-1}$ . Nesse período, houve, inclusive, uma tentativa de estabelecimento de cinco classes para interpretação dos resultados analíticos.

Na década de 50, com o início dos trabalhos de levantamentos de solos, também no estado de São Paulo, outros micronutrientes, como o boro e cobre, foram também determinados utilizando o extrator  $\text{HNO}_3 \text{ } 0,01 \text{ mol L}^{-1}$ , sem, entretanto, haver critérios de interpretação dos teores obtidos.

Como as soluções ácidas concentradas mostraram-se ineficientes em avaliar a disponibilidade de micronutrientes, iniciaram-se, então, estudos em solos paulistas e da região dos cerrados, visando determinar os teores de boro, cobre, ferro, manganês, zinco e molibdênio. Foram utilizadas diversas soluções extratoras, tais como ácidos diluídos, misturas de ácidos (Mehlich-1), soluções salinas tamponadas ou não e agentes quelantes. Uma limitação crítica dessa fase é que não se levou em consideração a extração de micronutrientes pelas plantas.

Na segunda fase, que compreendeu o final dos anos 70 e a década de 80, os trabalhos de pesquisa enfocaram a seleção de extratores químicos para boro, cobre, ferro, manganês e zinco, empregando como critério básico os valores de coeficientes de correlação obtidos entre os teores de micronutrientes no solo e as quantidades acumuladas nas plantas. Os estudos foram conduzidos, principalmente, em vasos e em casa de vegetação.

Nesse período, os métodos testados em solos das regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil foram, principalmente, aqueles que se destacaram na região temperada, quais sejam:

- a) água quente e cloreto de cálcio, para boro;
- b) o extrator Mehlich-1 e o DTPA, a pH 7,3, para cobre, manganês e zinco;
- c) o acetato de amônio, sobretudo para manganês;
- d) o Mehlich-1, DTPA e HCl, para ferro.

Para o molibdênio, as pesquisas nos estados de São Paulo e Pernambuco tiveram como enfoque o levantamento dos teores (total e solúvel) utilizando diversas soluções como: oxalato de amônio, ácido sulfúrico, ácido fluorídrico e ácido oxálico. Entretanto, há ainda hoje sérias restrições ao uso da análise de solo para avaliar a disponibilidade de molibdênio em condições de rotina.

Um fato, entretanto, prejudicava, ainda, a credibilidade da análise de micronutrientes durante esse período. Na prática, os diversos laboratórios do País que incluíam, na sua prestação de serviços, a análise de micronutrientes em solos utilizavam uma diversidade muito grande de extratores, sendo que a opção por um determinado extrator era, muitas vezes, devida à sua facilidade de execução no laboratório e não à sua eficiência analítica.

A terceira fase, iniciada nos anos 90, foi marcada por uma vasta produção científica envolvendo micronutrientes, estimulada, em grande parte, pela ocorrência mais freqüente de deficiências e pelo esforço de algumas instituições de pesquisa em padronizar técnicas de extração e adaptar, em condições de análises de rotina, processos de extração de micronutrientes agronomicamente eficazes. Dezenas de experimentos de calibração foram conduzidos no campo, procurando estabelecer níveis críticos e faixas de interpretação das análises para vários micronutrientes envolvendo culturas, como: soja, milho, sorgo, arroz, algodão, café e cana-de-açúcar, principalmente.

Como resultado desses mais de cinquenta anos de pesquisas envolvendo a análise de micronutrientes nos solos do Brasil, embora hoje ainda haja uma certa diversidade de métodos de análise, pode-se estabelecer, basicamente, três diferentes grupos de laboratórios em relação a extratores usados:

- 1) Rio Grande do Sul e Santa Catarina – cobre e zinco: HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup>; boro: água quente; manganês: Mehlich-1; ferro: oxalato de amônio a pH 3,0.
- 2) Sistema IAC – boro: cloreto de bário; cobre, zinco, manganês e ferro: DTPA a pH 7,3.
- 3) Sistema Mehlich-1 – zinco, cobre, manganês e ferro: Mehlich-1; boro: água quente.

### 2.6.16. Fixação biológica de nitrogênio

O desenvolvimento do conhecimento sobre a fixação biológica de nitrogênio (FBN), no Brasil, notadamente nas plantas leguminosas, é um dos fatos mais marcantes na dinâmica de nitrogênio no sistema solo-planta-atmosfera. Embora seja um assunto intimamente ligado à Microbiologia do Solo, a sua importância e a inter-relação com a fertilidade do solo no Brasil justificam um tópico neste histórico.

Foi no Instituto Agronômico de Campinas (IAC), instituição com mais de 100 anos de existência, onde foram iniciados os estudos sobre Microbiologia do Solo no Brasil, envolvendo as áreas de decomposição de resíduos, fixação biológica do nitrogênio (FBN) e testes microbiológicos de fertilidade do solo. Os primeiros trabalhos sobre avaliação da quantidade de nitrogênio fixado por leguminosas e sobre a inoculação, realizados no IAC, são do final do século XIX e início do século XX. Na década de 30, foi produzida uma grande quantidade de inoculante para alfafa e, no seu final, quando já se dispunha de algumas variedades de soja selecionadas no estado de São Paulo, a importância do cultivo dessa leguminosa e da inoculação eram enfatizados. Nesse período, o Serviço da Indústria Animal do Estado de São Paulo também produziu inoculante e conduziu testes com inoculantes para soja com resultados positivos.

A filosofia do uso da FBN como forma exclusiva de adição de nitrogênio para nutrição da soja foi consolidada a partir da década de 50 e, desde então, vem fundamentando os programas de melhoramento de leguminosas do IAC. Para assegurar a adoção da tecnologia da inoculação da soja, o IAC

produzia o inoculante, que era distribuído pelos Postos de Sementes e comercializado nas Casas da Lavoura, com recomendação e instruções para uso, integrando três órgãos da Secretaria da Agricultura do Estado. Esse sistema funcionou até o surgimento de empresas privadas que se interessaram pela produção de inoculante.

Também no início da década de 50, outros dois importantes núcleos de Microbiologia do Solo foram criados no Brasil: o Instituto de Pesquisas Agronômicas da Secretaria de Agricultura do Rio Grande do Sul (IPAGRO), e outro, no km 47 da antiga estrada Rio-São Paulo, no estado do Rio de Janeiro, hoje Embrapa - Agrobiologia, em Seropédica, RJ.

A contribuição prática da FBN pode ser mensurada pelos números decorrentes do uso de inoculantes de rizóbio em diversas culturas, substituindo total ou parcialmente os fertilizantes nitrogenados e propiciando uma economia significativa nos custos de produção. (Quadro 2.1).

No Brasil, o melhor exemplo de fixação biológica de N é a soja. A área plantada com essa cultura foi de 21,4 milhões de hectares (englobando as cinco regiões do Brasil), em 2003, resultando na segunda maior produção entre as lavouras anuais, em 2004: 49,8 milhões de toneladas de grãos com produtividade média de 2,3 t ha<sup>-1</sup>. Considerando-se que os grãos apresentam 87% de matéria seca, obtiveram-se 43,3 milhões de toneladas de grãos secos, que, com 6% de N, continham 2,6 milhões de toneladas de N, que foram então exportadas da lavoura. Como o N nos grãos representa, em média, 80% do N total da planta, o conteúdo total de N na planta foi de 3,2 milhões de toneladas. A contribuição da FBN em soja, calculada por técnicas isotópicas, é relatada como sendo de, no mínimo, 70%. Desse modo, foram fixados pelo menos 2,3 milhões de toneladas de N pela cultura. Se essa quantidade de nitrogênio tivesse que ser fornecida por fertilizantes nitrogenados, teríamos que considerar a eficiência média de 60%, sendo então necessárias 3,8 milhões de toneladas de N-fertilizante. Como a uréia contém 46% de N, o total de fertilizante nitrogenado requerido seria de 8,2

milhões toneladas, que, ao preço de 170 dólares por tonelada (F & P, frete e porto-outubro de 2003), custariam, aproximadamente, 1,4 bilhão de dólares (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006).

Dois nomes brasileiros poderiam ser citados no que se refere ao reconhecimento de suas contribuições para o desenvolvimento da Microbiologia do Solo no Brasil: o Dr. J.R. Jardim Freire e a Dra. Johanna

**Quadro 2.1** - Exemplos de leguminosas nodulíferas com respectivas taxas de fixação biológica de N<sub>2</sub>

Leguminosas	N (kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )
Alfafa ( <i>Medicago sativa</i> )	127-333
Amendoim ( <i>Arachis hypogaea</i> )	33-297
Calopogônio ( <i>Calopogonium mucunoides</i> )	64-450
Caupi ( <i>Vigna unguiculata</i> sin. <i>Vigna senensis</i> )	73-240
Centrosema ( <i>Centrosema pubescens</i> )	93-398
Crotalária ( <i>Crotalaria juncea</i> L.)	146-221
Clitória ( <i>Clitoria ternatea</i> )	197-249
Cudzu tropical ( <i>Pueraria phaseoloides</i> )	100
Desmódio ( <i>Desmodium</i> sp)	24-380
Ervilha ( <i>Pisum sativum</i> )	17-244
Ervilhaca comum ( <i>Vicia sativa</i> )	90
Ervilhaca-peluda ( <i>Vicia villosa</i> )	110-184
Estilosantes ( <i>Stylosanthes</i> sp.)	20-263
Fava ( <i>Vicia fava</i> )	53-330
Feijoo ( <i>Phaseolus vulgaris</i> )	4-165
Feijão-de-porco ( <i>Vicia</i> sp. e <i>Canavalia ensiformis</i> )	57-190
Galácia ( <i>Galactia striata</i> )	181
Glirícidia ( <i>Gliricidia sepium</i> )	86-309
Grão-de-bico ( <i>Cicer arietinum</i> )	41-270
Guandu ( <i>Cajanus cajan</i> s)	7-235
Guar ( <i>Cyamopsis psoraloides</i> )	37-196
Lentilha ( <i>Lens culinaris</i> )	35-192
Lespedeza ( <i>Lespedeza stipulacea</i> )	193
Leucena ( <i>Leucaena leucocephala</i> )	400-900
Mucuna-preta ( <i>Stizolobium aterrimum</i> )	157
Neonotonia wightii Lacrey (sin <i>Glycine wightii</i> Verdc.)	160-450
<i>Prosopis glandulosa</i>	2-61
<i>Sebania cannabina</i>	126-188
<i>S. rostrata</i>	324
<i>S. sesban</i>	7-18
Siratiro ( <i>Macroptilium atropurpureum</i> )	70-181
Soja ( <i>Glycine Max</i> )	17-450
<i>T. hybridum</i>	21
<i>T. indica</i>	64
Tremoço ( <i>Lupinus</i> sp.)	32-288
Trevo-branco ( <i>Trifolium repens</i> )	128-291
Trevo-doce ( <i>Melilotus alba</i> )	9-140
Trevo-egípcio ( <i>Trifolium alexandrinum</i> )	62-235
Trevo-vermelho ( <i>Trifolium pratense</i> )	17-373
Trevo subterrâneo ( <i>Trifolium subterraneum</i> )	21-207
Trigonela ( <i>Trigonela fanum-gracum</i> )	44
<i>Vigna</i> sp.	63-345
<i>Zornia glabra</i>	9-201

Fonte: Moreira e Siqueira, 2006 citando Calegari et al. (1993); Hardarson (1993) e Peoples et al. (1995).

Döbereiner. O Dr. Jardim Freire, pelas suas contribuições na formação de vários dos pesquisadores e professores que trabalham na área, pelas suas contribuições para a implantação da indústria de inoculantes no Brasil e pela implantação e coordenação do Centro de Recursos Microbiológicos para a América Latina (MIRCEN). A Dra. Döbereiner, pela sua importante contribuição para o conhecimento da interação de microrganismos diazotróficos na rizosfera de gramíneas, com estudos iniciados na década de 50, que tiveram repercussão internacional, consolidando sua liderança mundial nesse assunto, além de sua contribuição na formação de vários pesquisadores da Embrapa e de outras instituições no Brasil e em outros países latino-americanos.

### 3. Manejo da fertilidade do solo no contexto atual e futuro da agricultura brasileira

#### 3.1. Causas da baixa fertilidade dos solos

##### 3.1.1. Importância do solo nos ecossistemas

O solo, o principal meio para o crescimento das plantas, é uma camada de material biologicamente ativo, resultante de transformações complexas que envolvem: o intemperismo de rochas e minerais, a ciclagem de nutrientes e a produção e decomposição de biomassa. Uma boa condição de funcionamento do solo é fundamental para garantir a capacidade produtiva dos agroecossistemas. Uma boa qualidade do solo é importante também para a preservação de outros serviços ambientais essenciais, incluindo o fluxo e a qualidade da água, a biodiversidade e o equilíbrio de gases atmosféricos.

A presença de nutrientes é um dos aspectos fundamentais que garantem a boa qualidade dos solos e o seu bom uso e manejo, principalmente no caso de agroecossistemas. Em ecossistemas nativos, a ciclagem natural de nutrientes é a grande responsável pela manutenção do bom funcionamento do solo e do ecossistema como um todo. Essa ciclagem é fundamental para manter o esto-

que de nutrientes nos ecossistemas naturais, evitando a perda da fertilidade natural do solo. O relatório do biênio 2000-2001 do *World Resources Institute* revela que os agroecossistemas cobrem mais de um quarto da área global da terra e que quase três quartos desses agroecossistemas apresentam baixa fertilidade do solo, o que, aliado a condições de relevo íngreme, podem afetar sobremaneira a produção agrícola (WRI, 2000).

Mas, o que vem a ser um solo fértil? Todo solo fértil é necessariamente produtivo? Quais são as causas da baixa fertilidade dos solos?

##### 3.1.2. Solo fértil e solo produtivo

As duas primeiras perguntas anteriores podem ser respondidas por meio de uma das definições do que venha a ser um solo produtivo, a qual é a seguinte: solo produtivo é um solo fértil, ou seja, que contém os nutrientes essenciais em quantidades adequadas e balanceadas para o normal crescimento e desenvolvimento das plantas cultivadas e que apresenta ainda boas características físicas e biológicas, está livre de elementos tóxicos e encontra-se em uma zona com fatores climáticos favoráveis (veja item 2).

Nota-se, porém, que um solo pode ser fértil sem necessariamente ser produtivo. A fertilidade do solo pode advir de causas naturais ou ser criada através da adição de nutrientes aos solos durante o cultivo.

Um ponto importante a ser considerado com relação à fertilidade do solo e que tenta responder à última das três perguntas anteriores é que muitos solos não são naturalmente férteis e que mesmo aqueles férteis podem, sob manejo inadequado, transformar-se em solos de baixa fertilidade. Depreende-se, diante disso, que as causas da baixa fertilidade dos solos podem ser tanto naturais quanto antrópicas (devido ao manejo inadequado do solo pelo homem).

Um estudo do *World Resources Institute* (WOOD *et al.*, 2001) mostra que, dentre os aspectos adversos ligados à baixa fertilidade dos solos mundiais, a alta acidez (freqüentemente associada à

toxicidade por Al) e as baixas reservas de K merecem destaque (Quadro 3.1). No caso específico das regiões tropical e subtropical subúmida e úmida, além desses aspectos, também a alta capacidade de fixação de P é um importante fator determinante da baixa fertilidade dos solos. Um trabalho encomendado pela FAO, em 2000 (BOT *et al.*, 2000), revela que a toxicidade por Al afeta cerca de 63% de toda a área do Brasil e que 25% do território brasileiro possuem solos com elevada capacidade de fixação de P.

### 3.1.3. Baixa fertilidade: natural ou não?

Conforme já se enfatizou, a baixa fertilidade dos solos pode ter tanto causas naturais quanto antrópicas. Como causas naturais, destacam-se a gênese do solo e o intemperismo como os principais fatores causadores da baixa fertilidade, particularmente em grande parte das regiões tropicais

e subtropicais, onde a remoção de nutrientes do solo é mais acelerada, devido às condições de altas temperaturas e precipitações pluviais. O fato de o Brasil possuir grandes extensões de terra com problemas de fertilidade do solo relacionados à alta acidez e toxicidade por alumínio, além de alta capacidade de fixação de fósforo, está relacionada, em grande parte, à sua localização na região tropical do globo.

Além das causas naturais, também as antrópicas podem ser causadoras da baixa fertilidade dos solos. Uma dessas causas antrópicas é a exaustão de nutrientes do solo, resultante da maior retirada pelas culturas do que adição via adubação. Estimativas diversas neste sentido revelam que o déficit anual médio de nutrientes no Brasil encontra-se entre 25 e 35 kg ha<sup>-1</sup> de N+P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>+K<sub>2</sub>O por hectare, ou seja, o estoque de nutrientes do solo está sendo esgotado ano após ano. Isso pode levar até

**Quadro 3.1** – Percentagem de áreas agrícolas afetadas por adversidades em diferentes regiões agroclimáticas mundiais.

Característica	-----Região agroclimática-----							Total
	Trópicos árido e semi-árido	Trópicos Subúmido e úmido	Subtropicos árido e semi-árido	Subtropicos subúmido e úmido	Temperado árido e semi-árido	Temperado Subúmido e úmido	Boreal	
% da área total	14,4	23,5	9,4	13,8	20,1	18,0	0,8	100
Livre de adversidades	8,4	5,5	24,1	14,6	25,5	23,1	31,6	16,2
Drenagem pobre	7,9	13,1	5,6	14,7	13,1	24,3	33,9	14,0
Baixa CTC <sup>1</sup>	11,8	8,9	3,2	0,2	0,1	0,6	0	4,2
Toxicidade de Al	7,2	41,5	1,1	25,3	1,1	14,3	13,9	17,2
Acidez	29,6	25,5	13,6	25,2	9,6	39,5	38,4	24,6
Alta CFP <sup>2</sup>	1,2	13,0	0	14,3	0	0,3	0	5,2
Aspecto vértico	16,5	2,9	4,3	5,3	0,1	0,5	0	4,3
Baixa reserva de K	11,9	52,0	1,3	25,6	0,1	5,7	0	18,6
Alcalino	4,1	1,0	25,3	3,8	23,9	6,7	0	9,5
Salinidade	2,6	0,6	11,8	0,9	5,5	0,9	0	3,0
Aspecto nátrico	3,9	0,9	7,6	3,3	14,9	1,3	0	5,1
Raso ou pedregoso	13,3	7,1	15,6	14,3	9,8	5,1	9,2	10,0
Baixa CRU <sup>3</sup>	20,8	12,8	13,9	4,5	5,0	13,4	6,9	11,3

Fonte: Adaptado de Wood *et al.* (2000).

<sup>1</sup> CTC - Capacidade de Troca Catiônica

<sup>2</sup> CFP - Capacidade de Fixação de Fósforo

<sup>3</sup> CRU - Capacidade de Retenção de Umidade

mesmo solos anteriormente considerados férteis a tornarem-se não-férteis, tendo, assim, a sua capacidade produtiva prejudicada. Levantamento do *International Soil Reference and Information Centre* (ISRIC), atualmente *World Soil Information*, estimou que cerca de 240 milhões de hectares de solos no mundo (área equivalente à região dos cerrados brasileiros) estão comprometidos no que diz respeito à sua integridade química, o que está ligado, entre outros fatores, à deficiência de nutrientes, a qual representa a maior causa de degradação química dos solos no mundo, atingindo cerca de 136 milhões de hectares (dos quais 68 milhões de hectares localizam-se na América do Sul) (OLDEMAN *et al.*, 1991).

Um ponto importante a considerar quando se trata de baixa fertilidade provocada por causas naturais ou até mesmo por exaustão do solo é que estas duas primeiras causas podem ser corrigidas facilmente, mediante reposição de nutrientes via adubação mineral e orgânica, bastando, para isso, que o agricultor faça uso da análise de solo e de planta (foliar ou do produto colhido) para diagnosticar possíveis problemas ligados à fertilidade do seu solo.

Um problema maior ligado às causas não naturais de queda da fertilidade do solo está relacionado à erosão. A erosão é a maior causa de degradação de solos no mundo e tem conseqüências, às vezes permanentes, sobre a fertilidade dos solos. Neste sentido vale lembrar que a exaustão de nutrientes dos solos também é causa de erosão, pois reduz a cobertura vegetal e, com isso, a resistência do solo à erosão.

A erosão atinge cerca de 13% da superfície do planeta, segundo estudos do *World Soil Information*, afetando cerca de 1,65 bilhão de hectares de terra que se encontram degradados em todo o mundo (OLDEMAN, 2000). Ao contrário da exaustão causada por extração de nutrientes em taxa maior que a reposição ou da baixa fertilidade gerada por causas naturais, as quais podem ser recuperadas de maneira simples, a erosão resulta, algumas vezes, em degradação de difícil recuperação ou até mes-

mo em dano irreparável à capacidade produtiva do solo.

### 3.1.4. Preservar a matéria orgânica do solo é fundamental

Um dos piores aspectos da erosão e que afeta grandemente a fertilidade dos solos é a perda da matéria orgânica do solo (MOS). Também práticas de manejo inadequadas, como, por exemplo, a adoção do cultivo intensivo, ao invés do cultivo mínimo ou do plantio direto, podem levar à queda rápida do teor de matéria orgânica do solo. Isto é particularmente relevante em solos altamente intemperizados, localizados na região tropical, como é o caso de extensas áreas do Brasil. A MOS pode ser considerada o indicador mais simples e entre os mais importantes para se medir a qualidade do solo e, conseqüentemente, dos agroecossistemas. Alguns efeitos benéficos que a MOS proporciona são:

1. estabiliza e agrega partículas de solo, reduzindo a erosão;
2. provê uma fonte de C e energia para os microrganismos do solo;
3. melhora o armazenamento de água e o fluxo de ar e água no solo;
4. armazena e provê nutrientes como N, P e S;
5. mantém o solo menos compactado e mais fácil de trabalhar;
6. retém C da atmosfera e de outras fontes;
7. retém nutrientes como Ca, Mg e K, pois aumenta a capacidade de troca de cátions (CTC) do solo, e
8. serve para reduzir possíveis efeitos ambientais negativos decorrentes de uso inadequado de pesticidas ou de disposição de poluentes no solo.

Por fim, é sempre bom lembrar que o solo é o compartimento ambiental primário que suporta a agricultura e, conseqüentemente, a sobrevivência do ser humano na face da terra. Manter e aumentar o teor de MOS são condições primordiais para se evitar a diminuição da fertilidade dos solos e

para garantir sua qualidade e seu funcionamento em agroecossistemas produtivos.

### **3.2. Produtividade agrícola brasileira, fertilidade do solo e uso eficiente de corretivos e fertilizantes**

#### **3.2.1. Impacto do manejo da fertilidade do solo e do uso eficiente de corretivos e fertilizantes nas lavouras**

O investimento em técnicas para a melhoria da qualidade dos solos no Brasil pode ser mais bem avaliado quando se olham seus números. O manejo da fertilidade do solo por meio do uso eficiente de fertilizantes e corretivos é responsável, dentre os diversos fatores de produção, por cerca de 50% do aumento de produção e produtividade das culturas. Os dados da Figura 3.1 traçam um paralelo entre a evolução do consumo de fertilizantes, em termos de  $N+P_2O_5+K_2O$ , e a evolução da produção de 16 culturas (base seca) no Brasil, de 1970/71 a 2002/03. O que fica evidente é a relação estreita entre essas duas variáveis.

Apenas no período de 1977/78 a 1980/81, e em anos mais recentes, a partir de 1997, o aumento do consumo de fertilizantes não correspondeu, na mesma intensidade, a um aumento na produção dessas 16 culturas. Dois fatores podem explicar esse comportamento:

- a) O período de 1977/78 a 1980/81 foi o de intensificação de abertura dos solos de cerrado no Brasil, os quais, normalmente, levam quatro a cinco anos para serem corrigidos, antes de passarem a responder em níveis adequados de produtividade. Foi também o período em que ocorreu o corte de subsídios à agricultura, havendo grandes estoques acumulados nas propriedades rurais em face de possíveis cortes desses subsídios, o que veio a ocorrer no início dos anos 80.
- b) A partir de 1997, esse comportamento pode ser explicado pela constatação de uma necessidade maior de adubos para a recuperação de áreas marginais do cerrado, principalmente de solos mais arenosos, os quais têm baixa fertilidade natural, mas bom potencial produtivo.

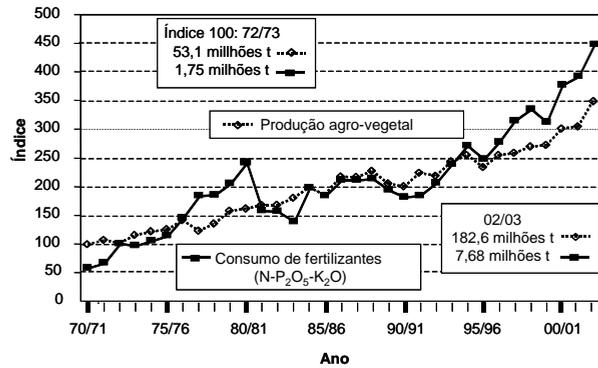
Também foi observado um incremento maior no uso de fertilizantes minerais na adubação da cana-de-açúcar em substituição ao vinhoto, cuja disponibilidade vinha se reduzindo como decorrência de novas técnicas na destilação do álcool.

Para entender melhor o comportamento do consumo de fertilizantes no Brasil, compare-se o consumo médio de nutrientes em alguns países, em 1990/91 (Figura 3.2). Nesse ano safra, o consumo no Brasil foi de  $52 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $N+P_2O_5+K_2O$ . Esse consumo repetiu o de 1987/88 e, na verdade, a série histórica anual anterior se manteve nesse patamar por muitos anos.

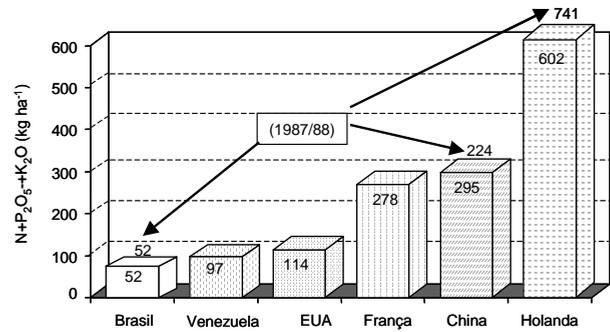
O ponto que deve ser enfatizado é que esse consumo médio anual de nutrientes era considerado muito baixo, diante da baixa fertilidade natural da maioria dos solos brasileiros. Por outro lado, estimativas de um consumo adequado, em 1990/91, dada a exportação média de nutrientes pelas principais culturas, eram de cerca de  $120 \text{ kg ha}^{-1}$ .

Dois outros aspectos relevantes sobre o consumo de fertilizantes no Brasil em relação ao de outros países podem ser observados na Figura 3.2. Um deles trata do aumento do consumo de nutrientes por hectare na China, que saltou de  $224 \text{ kg ha}^{-1}$ , em 1987/88, para  $295 \text{ kg ha}^{-1}$ , em 1990/91. Esse aumento de  $71 \text{ kg ha}^{-1}$  foi maior do que a média histórica de consumo no Brasil, de  $52 \text{ kg ha}^{-1}$ . Tal fato teve profundas implicações com o aumento da produção e da produtividade na China em comparação com o Brasil. Apenas no caso da soja a produtividade brasileira é superior à da China (Figura 3.3).

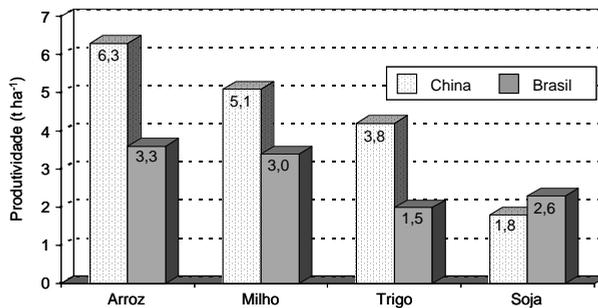
Por outro lado, o consumo na Holanda, que era de  $741 \text{ kg ha}^{-1}$ , em 1987/88, caiu para  $602 \text{ kg ha}^{-1}$ , em 1990/91, e para  $545 \text{ kg ha}^{-1}$ , em 1998. Essa queda de consumo de fertilizantes na Holanda se justifica. Com grande parte de solos arenosos e lençol freático elevado, as altas taxas anuais de aplicação de fertilizantes minerais, aliadas a grande utilização de esterco animal, levaram a Holanda a ter sérias restrições ambientais e no estabelecimento de limites máximos desses produtos utilizados na agricultura.



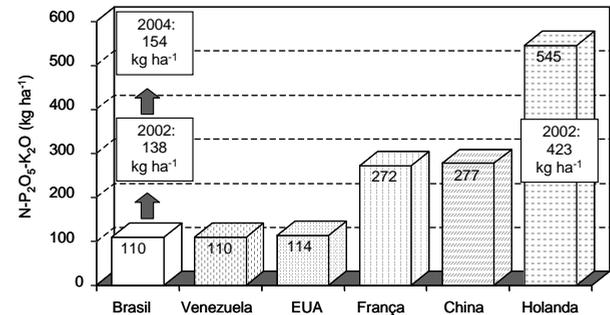
**Figura 3.1** - Evolução da produção agro-vegetal (toneladas de matéria seca) das 16 principais culturas no Brasil em comparação com o consumo de fertilizantes minerais (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O) no período de 1970-71 a 2002-03. [Fonte: ANDA, 2003; IBGE, 2005.]



**Figura 3.2** - Consumo de fertilizantes (em kg ha<sup>-1</sup> de N+P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>+K<sub>2</sub>O) no Brasil em comparação com outros países em 1991. Números acima das colunas referem-se ao consumo de 4 anos antes. [Fonte: IFA, 2005.]



**Figura 3.3** - Produtividade média da China e do Brasil para várias culturas em 2004. Nesse ano a produção total desses grãos foi de 455 milhões t para a China e 113 milhões t para o Brasil. [Fonte: ANDA, 2005; FAO, 2005.]



**Figura 3.4** - Consumo de fertilizantes (kg ha<sup>-1</sup> de N+P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>+K<sub>2</sub>O) no Brasil em comparação com outros países em 1998, com a Holanda em 2002 e no Brasil em 2002 e 2004. [Fonte: IFA, 2005; ANDA, 2003, 2005.]

Em 1998, o Brasil aumentou o seu consumo médio para 110 kg ha<sup>-1</sup>, em 2002 para 138 kg ha<sup>-1</sup> de nutrientes e, em 2004, atingiu 154 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 3.4), o que, sem dúvida, foi um dos fatores mais importantes para os recentes aumentos na produção de grãos.

O aumento no consumo e o uso mais eficiente de fertilizantes minerais que ocorreu no Brasil e se manteve nos últimos anos é, certamente, um componente importante no aumento da produção e da produtividade da maioria das culturas, principalmente aquelas consideradas de exportação. Essa foi uma tendência também em outros países (Figura 3.5), tendo sido o Brasil o único, em comparação com a China, a Índia e os países em desenvolvimento que, no período considerado (1984-

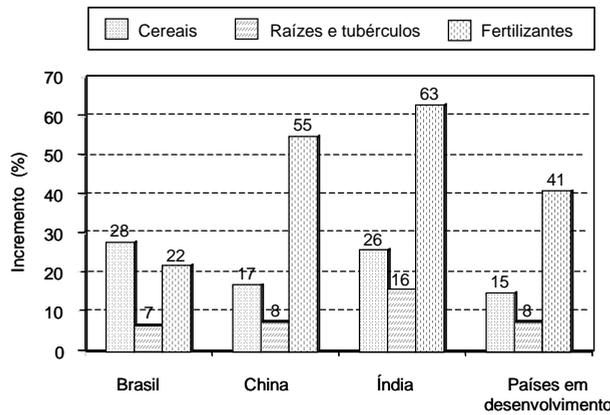
1994), apresentou aumento médio da produção de grãos significativamente superior ao aumento médio no consumo de fertilizantes. Esse fato é uma prova inquestionável de aumento da eficiência do uso de fertilizantes, nesse período, no País.

Há outro ponto a destacar quando se distingue o consumo de fertilizantes por grupos de culturas. As chamadas culturas de exportação, como citros, soja, cana e café, e que apresentam, em geral, mais altas produtividades, consomem muito mais fertilizantes que os produtos da cesta básica (mandioca, feijão, arroz e milho), nas quais se utilizam com menor intensidade as técnicas disponíveis, incluindo doses de fertilizantes muito aquém das recomendadas pela pesquisa para que sejam alcançadas maiores produtividades (Figura 3.6).

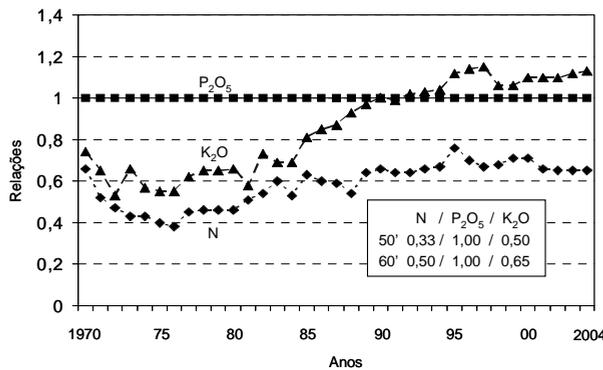
Dentre os três macronutrientes primários, N, P e K, a utilização de doses muito aquém das adequadas é muito mais crítica para o N.

Os dados da Figura 3.7 mostram a evolução no Brasil da relação de consumo de  $N/P_2O_5/K_2O$  nas décadas de 50 e 60 e 70 até 2004. Em 1970, essa relação era de 0,67/1,0/0,8 e, em 1976, atingiu 0,37/1,0/0,52.

Esse aumento relativo no consumo de  $P_2O_5$  em relação ao N, em 1976, foi resultado da explosão da ocupação dos solos da região dos cerrados, via incentivos governamentais. Como esses solos são extremamente deficientes em P, esse aumento era plenamente justificável.

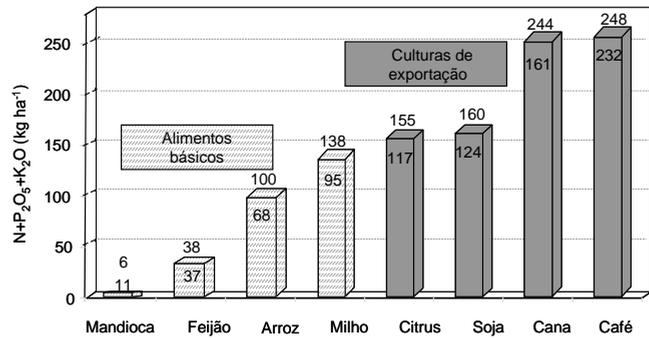


**Figura 3.5** - Incremento no consumo de fertilizantes e na produtividade de cereais e raízes e tubérculos no Brasil, China, Índia e países em desenvolvimento no período de 1984 a 1994. [Fonte: WRI, 2005.]

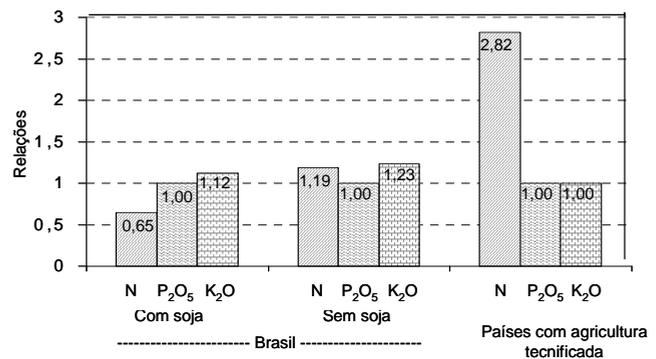


**Figura 3.7** - Relações de consumo de fertilizantes (kg/ha de N/  $P_2O_5$ /  $K_2O$ ) no Brasil nas décadas de 50 e 60 e evolução de 1970 a 2004. [Fonte: Lopes et al., 2003.]

De 1976 até mais recentemente, essa relação voltou a se estreitar atingindo, em 2003, 0,65/1,00/1,12, para todo o  $N/P_2O_5/K_2O$  consumido na agricultura brasileira, inclusive na cultura de soja (Figura 3.8). Se fosse excluída a soja desses cálculos, pois essa cultura praticamente não consome N dos fertilizantes, a relação ficaria em 1,19/1,00/1,23. Se comparada essa relação com a de países que apresentam agricultura tecnificada para obtenção de altas produtividades, qual seja, de 2,82/1,00/1,10, pode-se concluir que a subutilização de N é um dos fatores mais limitantes para o aumento da produtividade de muitas culturas no Brasil. Essa relação de consumo para o ano de 2002, no Brasil, foi de 0,64/



**Figura 3.6** - Consumo de fertilizantes (kg ha<sup>-1</sup> de  $N+P_2O_5+K_2O$ ) para várias culturas no Brasil em 2000 (números dentro das colunas) e 2004 (números acima das colunas). [Fonte: ANDA, 2001 e 2005.]



**Figura 3.8** - Relações de consumo de fertilizantes (kg/ha de N/  $P_2O_5$ /  $K_2O$ ) no Brasil (total e sem soja) em 2003 em comparação com países de agricultura tecnificada em 2002. [Fonte: ANDA, 2003, 2004.]

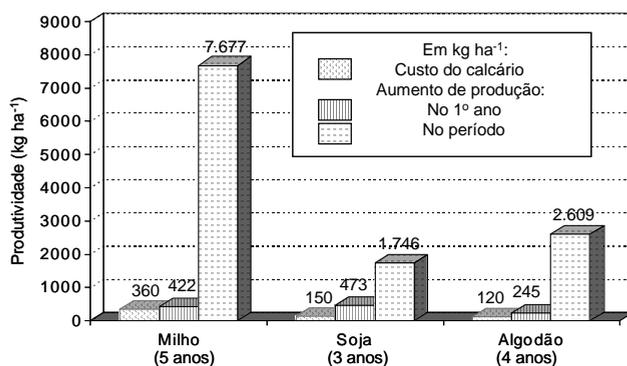
1,00/1,09, considerando-se o consumo da cultura da soja, ou 1,15/1,00/1,17, sem considerar a soja.

O baixo consumo de N pode ser confirmado por um estudo de Yamada e Lopes (1999). Assumindo-se uma eficiência média de 60% para o N, 30% para o P e 70% para o K e a exportação (remoção das áreas cultivadas pela produção) estimada para as 16 principais culturas cultivadas, chegou-se ao seguinte déficit anual estimado de nutrientes, tomando-se como base dados médios do período 1993-1996:

- a) 888 mil toneladas de N, mesmo considerando todo o N da soja e do feijão como provenientes da fixação biológica;
- b) 414 mil toneladas de  $P_2O_5$ ;
- c) 413 mil toneladas de  $K_2O$ .

Atualização desses dados para o ano de 2002 indicam que esse déficit manteve-se em relação a N, aumentou para o P e reduziu para K atingindo, respectivamente, 859, 514 e 324 mil toneladas (FAO, 2004).

Esses dados não significam que se está consumindo a quantidade adequada de P e de K, mas que, dentre os três macronutrientes, o subconsumo é muito mais crítico em relação ao N. Esses dados mostram que o déficit total de nutrientes corresponde a cerca de 30% do consumo atual no



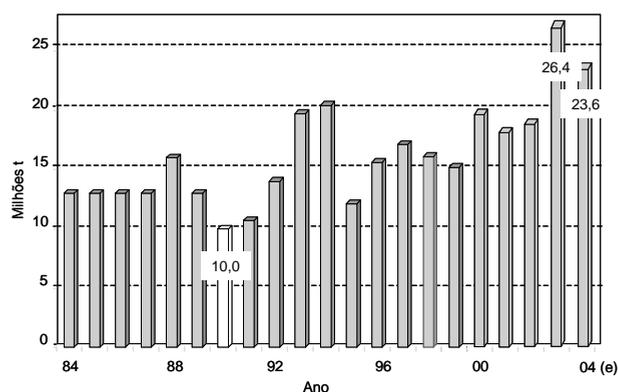
**Figura 3.9** - Balanço econômico da aplicação de calcário na dose de 3 toneladas por hectare em três culturas em Mococa, São Simão e Guaira, SP. [Fonte: Adaptado de Raij & Quaggio, 1984.]

País, representando um déficit, por área, da ordem de 25 a 30 kg ha<sup>-1</sup> de nutrientes. Eles revelam ainda que, na média, o processo produtivo da agricultura, nas taxas atuais de consumo de fertilizantes, está, em realidade, minando o recurso solo. Isso pode, no longo prazo, levar a consequências altamente danosas para a sustentabilidade da nossa agricultura.

Outro fator que pode justificar a baixa produtividade média de um grande número de culturas no Brasil é a utilização de doses insuficientes de calcário, apesar das respostas espetaculares em relação aos aumentos de produção e relação benefício-custo (Figura 3.9). Isto é especialmente relevante pelas características de acidez de grande parte dos solos brasileiros.

Associa-se a isto a restrição causada por toxidez de Al, a qual, segundo relatório da FAO divulgado em 2000, afeta cerca de 63% da área do Brasil. Esses problemas são resolvidos com uso de doses adequadas de calcário.

Com incentivos fiscais e financiamentos oficiais de longo prazo, a partir do fim da década de 60 e início dos anos 70, a capacidade de moagem de calcário no Brasil atingiu cerca de 50 milhões de toneladas anuais. Isso significou um amplo aumento de oferta desse insumo, considerado fundamental para a racionalização da produção agrícola no País.



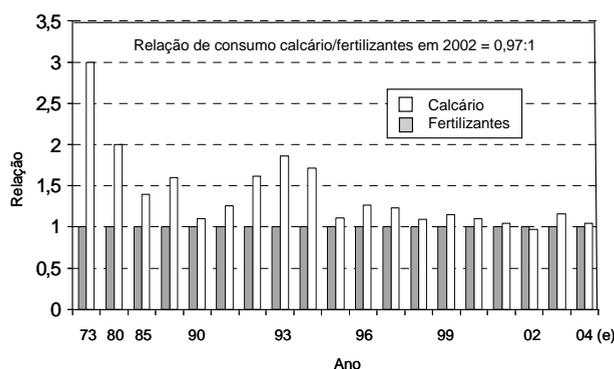
**Figura 3.10** - Evolução do consumo aparente de calcário no Brasil (em milhões de toneladas) no período de 1984 a 2004, em relação à capacidade instalada de moagem (50 milhões t ano<sup>-1</sup>) e demanda total estimada (75 milhões t ano<sup>-1</sup>). [Fonte: ABRACAL, 2005.]

Estimativas que levam em consideração, entre outros fatores, a explosão do crescimento da agricultura e pecuária na região dos cerrados revelam uma necessidade de consumo da ordem de 70 milhões de toneladas anuais para o Brasil.

Na verdade, o que ocorreu, em relação ao consumo de calcário, no período de 1984 a 2004, foi que mesmo nos anos de melhor resultado de consumo aparente (2003 e 2004), utilizou-se apenas cerca de 50% da capacidade instalada de moagem (Figura 3.10). O ano de 1990 foi o fundo do poço do subconsumo de calcário pela agricultura brasileira, com não mais de 20% de consumo em relação à capacidade de moagem instalada.

O subconsumo de calcário se agrava ainda mais quando se compara a evolução entre consumo de calcário e de fertilizantes no Brasil, de 1973 a 2004 (Figura 3.11). Uma relação entre o consumo de calcário e de fertilizantes considerada aceitável pela pesquisa para a agricultura brasileira seria de 2,5 a 3,0 para 1,0, ou seja, para cada tonelada de fertilizante aplicado, seriam necessárias de 2,5 a 3,0 toneladas de calcário.

Essa relação considerada ideal somente foi observada em 1973, estreitando para quase 1 para 1, nos anos recentes, sendo que, em 2002, pela primeira vez, o consumo de calcário foi menor que o de fertilizantes (relação 0,97:1,0). Mesmo que se considere a expansão da área sob sistema plantio direto, sistema que tende a reduzir as necessidades de uso de calcário em relação ao cultivo convencional, o balanço atual está longe do ponto



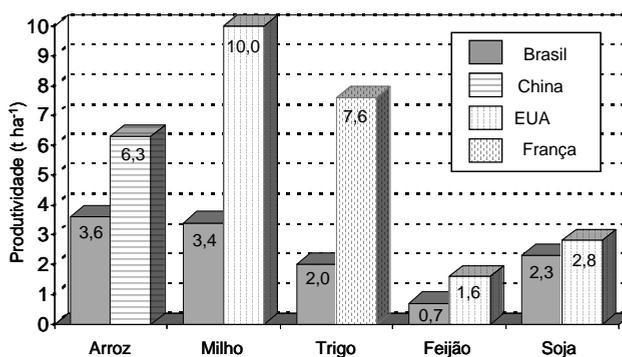
**Figura 3.11** - Evolução da relação de consumo calcário/fertilizantes no Brasil no período de 1973 a 2004. [Fonte: ANDA, 2005; ABRACAL, 2005.]

ideal para que sejam atingidas produtividades máximas econômicas no processo produtivo. Isso não significa que se está utilizando muito fertilizante no sistema produtivo da agricultura brasileira; os dados mostrados anteriormente demonstram que isso não é o caso. O fato, sim, é que é necessário aumentar tanto o uso eficiente de fertilizantes como também o de calcário.

Essa subutilização tanto de fertilizantes, principalmente os nitrogenados, como de calcário e de outras tecnologias disponíveis de comprovada eficiência, leva a uma questão: Qual é seu reflexo na produtividade, principalmente em relação aos alimentos básicos?

Os dados da Figura 3.12 comparam as produtividades médias de arroz (Brasil vs. China), milho (Brasil vs. EUA), trigo (Brasil vs. França), feijão e soja (Brasil vs. EUA) no Brasil com países que apresentam altas produtividades médias. Percebe-se que, apenas no caso da soja, em que o uso de alta tecnologia é quase uma regra nas áreas produtivas, a produtividade média brasileira é semelhante a de um grande produtor mundial, como os Estados Unidos.

Os dados comparativos de produtividade de arroz no Brasil e na China, onde toda a produção é sob irrigação por inundação, são, até certo ponto, questionáveis. Isso porque no Brasil a média inclui também áreas de sequeiro, cujas produtividades são muito baixas, em comparação com o sistema sob irrigação, fazendo cair a média geral do País.



**Figura 3.12** - Produtividade média de algumas culturas no Brasil e outros países em 2004. [Fonte: FAO, 2005.]

O ponto importante é que muitos bons produtores dessas culturas no Brasil estão com as produtividades muito próximas ou até acima das médias desses outros países. São, por exemplo, lavouras brasileiras nas quais se atinge 10-12 t ha<sup>-1</sup> de milho, 6 t ha<sup>-1</sup> de arroz de sequeiro, 8-9 t ha<sup>-1</sup> de arroz irrigado, 4 t ha<sup>-1</sup> de soja, 6-7 t ha<sup>-1</sup> de milho safrinha (após a soja), 3,5 t ha<sup>-1</sup> de feijão irrigado, 350@ ha<sup>-1</sup> de algodão e 30 e 50 sacas ha<sup>-1</sup> de café, sem ou com irrigação.

Estes números demonstram que há disponibilidade de tecnologia para que essas altas produções sejam perfeitamente alcançadas, desde que se faça uma diagnose correta das razões dessas diferenças e que se adotem medidas para que sejam, pelo menos, reduzidas.

### 3.3. Perspectivas

Um dos maiores desafios da humanidade é a previsão de aumento da demanda na produção de alimentos para fazer face ao crescimento populacional da terra nas próximas décadas. A produção mundial de alimentos deverá passar de 2 bilhões de toneladas em 1990, para uma população mundial era de 5,2 bilhões de habitantes, para 4 bilhões de toneladas no ano de 2025, quando a população mundial deverá ser de 8,3 bilhões de habitantes, segundo estudos e estimativas da Organização Mundial para a Alimentação e Agricultura, FAO (Quadro 3.2). Para que essas metas sejam alcançadas, a produtividade média de grãos, que era de 2,5 t ha<sup>-1</sup> em 1990, deverá atingir 4,5 t ha<sup>-1</sup> em 2025.

O Brasil é um dos poucos países com grandes e amplas possibilidades de ser um participante importante nesse processo, pelas seguintes razões:

**Quadro 3.2** - Estimativas da população mundial, demanda por alimentos e produtividade agrícola em 1990, 2000 e 2025. [Fonte: Borlaug e Dowswell, 1993.]

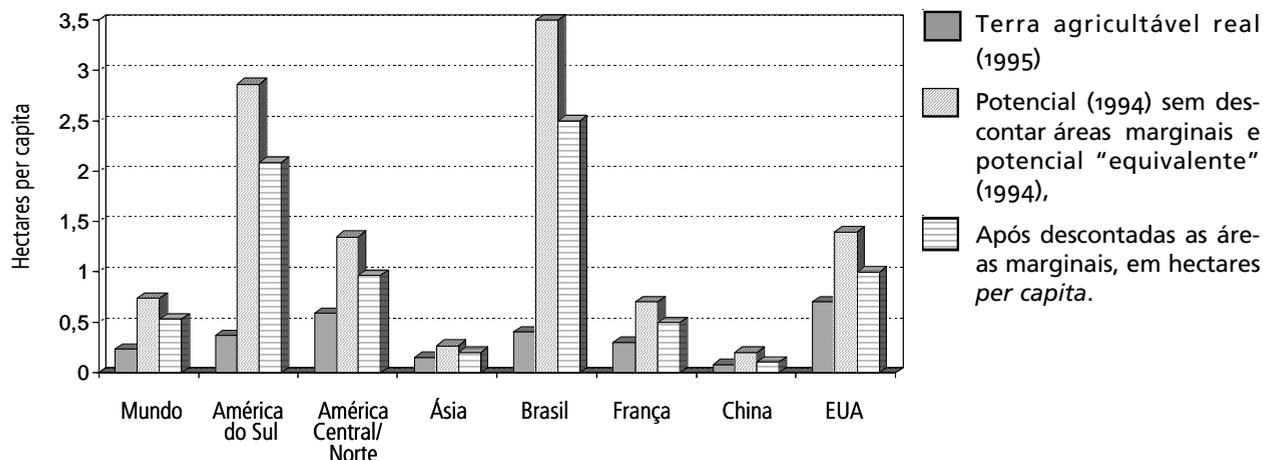
Ano	1990	2000	2025
População mundial (bilhões)	5,2	6,2	8,3
Demanda de alimentos (bilhões t)	1,97	2,45	3,97
Produtividade (t ha <sup>-1</sup> )	2,5	2,9	4,5

a) **Produtividade:** o País possui técnicas sustentáveis de produção para, no curto prazo, conseguir grandes avanços na produtividade média de muitas culturas, principalmente aquelas que se constituem em alimentos básicos, como já mencionado.

Embora o Brasil disponha de uma considerável fronteira agrícola a ser explorada, no curto prazo, as políticas públicas de apoio à agricultura deveriam, com absoluta prioridade, incentivar o aumento da produtividade com sustentabilidade nas áreas já incorporadas ao processo produtivo e não a simples expansão da fronteira agrícola. Estima-se que o Brasil apresenta 180 milhões de hectares de pastagens nativas ou melhoradas. Destas, 90 milhões de hectares estão degradados ou em início de degradação. Se, desses 90 milhões de hectares, fossem incorporados 30 milhões no processo de produção de grãos, por exemplo, com um produtividade média de 4 t ha<sup>-1</sup>, a produção brasileira poderia ser aumentada em 120 milhões de toneladas sem a necessidade de desmatar um hectare sequer.

b) **Expansão da fronteira agrícola:** o Brasil dispõe da maior fronteira mundial para expansão da agricultura, pois do total de área potencialmente agricultável em 1994, utilizou apenas 9,2%, que representam 50,7 milhões de ha, contra 47,5% da China (95,7 milhões de ha), 50,2% da França (19,5 milhões de ha) e 53% dos EUA (187,8 milhões de ha), por exemplo. Além disso, apesar de a disponibilidade de terra agricultável per capita estar decrescendo em âmbito mundial - de 0,42 ha em 1965 para 0,23 ha em 1995 - o que ocorreu no Brasil, no período de 1965-1995, foi um incremento de cerca de 10% na área agricultável real per capita. Com isso, nesse período saltou de 0,37 para 0,40 ha (Figura 3.13).

Dados mais recentes, levantados por Pinazza (2003), com base em estimativas da FAO para 2002 (Quadro 3.3), fazem uma comparação da área total, cultivável, em uso e disponível para a agricultura no mundo e no Brasil. Os dados de que o Brasil apresenta 35 % da área disponível para a agricultura no mundo são os mais contundentes



**Figura 3.13** - Comparação da disponibilidade de terras agricultáveis no Mundo, nas Américas e alguns países. [Fonte: Bot et al., 2000.]

**Quadro 3.3** - Comparação da área total, cultivável, em uso e disponível para agricultura no mundo e no Brasil. [Fonte: Pinazza, 2003.]

Área	Mundo	Brasil	Participação do Brasil
	-----ha-----		%
Área total	13 bilhões	848 milhões	6,5
Área cultivável	2,9 bilhões	547 milhões	18,0
Área em uso	1,5 bilhões	57 milhões	3,8
Área disponível	1,4 bilhões	497 milhões	35,0

quanto ao nosso potencial de crescimento em área, em médio e longo prazos.

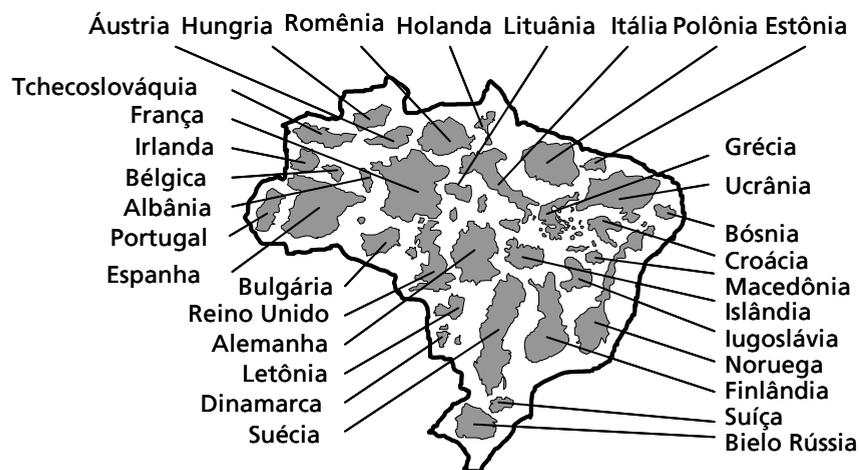
Como comparação adicional, destaque-se, por exemplo, que a área potencialmente agricultável do Brasil, de cerca de 550 milhões de hectares, é quase igual à área total de 32 países da Europa (Figura 3.14). Só a área do estado do Mato Grosso, que atualmente explora apenas 25% do seu potencial agricultável, é equivalente a grande parte do cinturão do milho (*Corn Belt*) nos Estados Unidos, uma das áreas mais produtivas do mundo (Figura 3.15). Só a região dos cerrados, segundo um estudo de 1995, apresenta um potencial para a produção de 354 milhões de toneladas de alimentos, número que pode ser bem maior, levando-se em conta os níveis atuais de produtividade que podem ser alcançados (MACEDO, 1994).

c) Disponibilidade de água: com cerca de 1/5 da água doce do planeta, as possibilidades de aumento da área sob irrigação, com incrementos substanciais na produtividade das culturas, são crescentes.

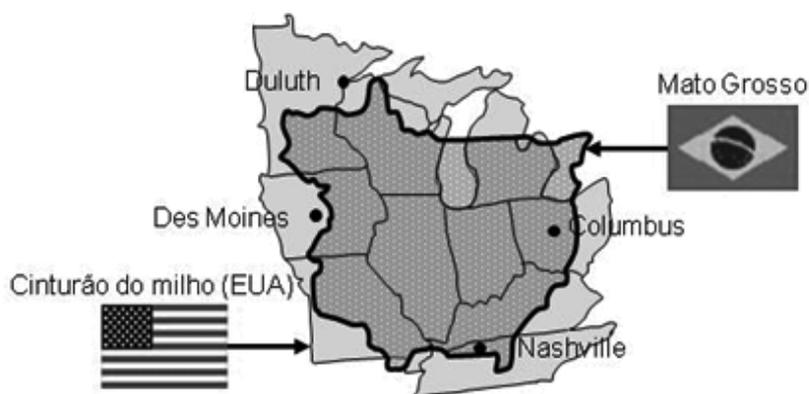
#### 4. Considerações finais

Embora a Fertilidade do Solo como ciência seja relativamente nova, é notável como o esforço de ensino, pesquisa e extensão no Brasil e no mundo, nessa área do conhecimento, teve tantos reflexos amplamente positivos, contribuindo para o desenvolvimento da agricultura e para o aumento sustentável da produtividade e da produção agrícola.

Para o caso do Brasil, é notável o acervo de informações advindo deste esforço conjunto, que re-



**Figura 3.14** - A área agricultável do Brasil (550 milhões de ha) em comparação com a área total de 32 países da Europa. [Fonte: Lopes et al., 2003.]



**Figura 3.15** - Comparação da área do Mato Grosso no Brasil com o cinturão do milho nos EUA. [Fonte: Lopes et al., 2003.]

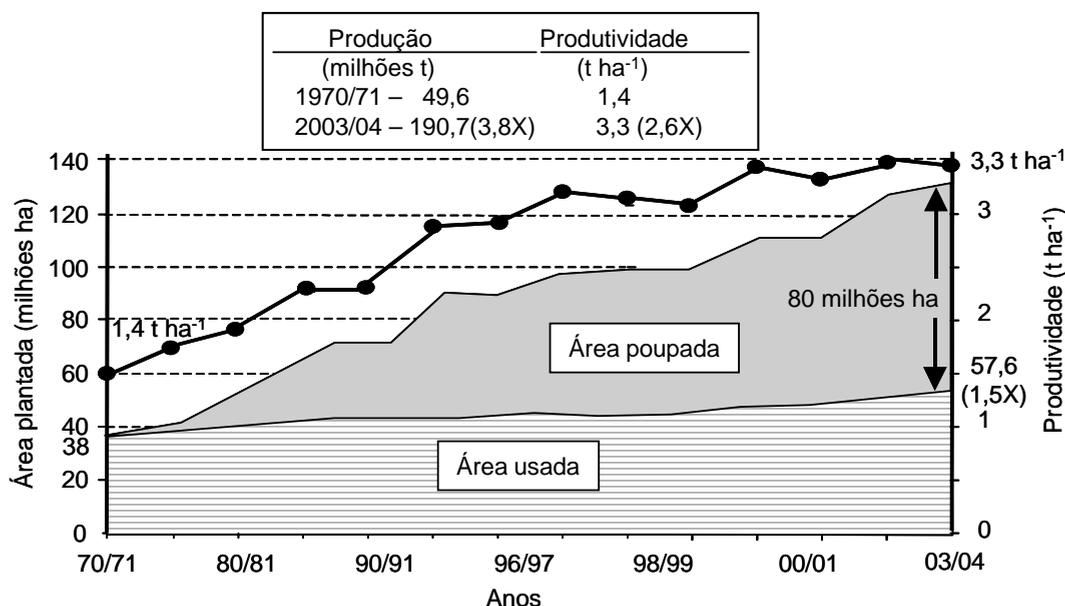
sultou, sem dúvida, no reconhecimento do País como líder mundial em tecnologia de manejo da fertilidade dos solos ácidos da região tropical. A incorporação de 10 milhões de hectares dos cerrados, formados por solos considerados marginais para exploração agrícola intensiva até a década de 60, com a decisiva participação da Fertilidade do Solo como ciência, foi considerada por Norman Bourlaug, Prêmio Nobel da Paz de 1970, como a maior revolução verde de toda a história da humanidade.

Mas é importante enfatizar que o papel da Fertilidade do Solo transcende à pura e simples relação com o aumento da produtividade e com o desenvolvimento da agricultura brasileira, como anteriormente discutido.

Para concluir este capítulo, são apresentados três pontos para reflexão que representam o reconhecimento a todos aqueles que se dedicaram ao desenvolvimento da agricultura brasileira, em es-

pecial àqueles que se dedicaram à Fertilidade do Solo como instrumento do aumento sustentável da produtividade agrícola no nosso País:

- 1) Aspectos ambientais: no período de 1970/71 até 2003/04, mesmo estando as produtividades atuais para algumas culturas ainda longe do ponto de máximo econômico, a produção das 16 principais culturas no Brasil (base seca) passou de 49,6 para 190,7 milhões de toneladas (aumento de 3,8 vezes); no mesmo período, a produtividade passou de 1,4 para 3,3 t ha<sup>-1</sup> (aumento de 2,6 vezes) e a área cultivada passou de 38 para 57,6 milhões de hectares (aumento de apenas 1,5 vez). Como consequência, o aumento da produção foi muito mais pelo aumento da produtividade do que pela simples expansão da área cultivada (Figura 4.1). Esses dados indicam ainda que, se estivéssemos produzindo hoje (190,7 milhões de toneladas) com as produtividades de



**Figura 4.1** - Evolução da área plantada, produção agrovegetal e produtividade das 16 principais culturas no Brasil 1970/71 a 2003/04. [Fonte: Fonte: Adaptado de Cardoso, 1998, ANDA, 2004 e IBGE, 2005.]

1970/71 (1,4 t ha<sup>-1</sup>), teríamos que ter incorporado ao processo produtivo da agricultura brasileira mais 80 milhões de hectares. Em outras palavras, o aumento da produtividade, em decorrência de investimentos em tecnologias mais eficientes, incluindo melhor manejo da fertilidade do solo, evitou o desmatamento do equivalente a 80 milhões de hectares. Essa é, talvez, a maior contribuição em termos ambientais resultante desse processo.

Por tudo isso, vale a pena enfatizar, mais uma vez, o papel fundamental para o desenvolvimento sustentável que representa o uso de técnicas que levam ao aumento da produtividade agropecuária nas áreas já incorporadas ao processo produtivo. De fato, ele se constitui em um poderoso instrumento de preservação ambiental, pois diminui as pressões de desmatamento das áreas florestadas, muitas vezes não adequadas ao processo intensivo da produção agropecuária, deixando mais espaço para a vida silvestre, a manutenção da biodiversidade e a preservação da natureza.

2) Aspectos econômicos: um dos aspectos mais notáveis pertinentes ao crescimento da econo-

mia brasileira nos últimos anos foi a evolução do agronegócio. O agronegócio brasileiro, que envolve os segmentos de “antes da porteira” (dentro da fazenda) e “depois da porteira” (fora da fazenda), movimentou, em 2004, recursos da ordem de R\$ 534 bilhões de reais, o que representa 33% do Produto Interno Bruto (1.776 bilhões de reais). O agronegócio, como um todo, representa ainda 37% dos empregos e 40% da exportações (US\$30,6 bilhões).

Dados publicados pela Revista Veja (Ano 37, nº 2, de 12/01/2004) mostram que em 2003, o Brasil se posicionava no primeiro lugar mundial na exportação dos seguintes produtos:

**Açúcar:** vendeu 29% de todo o açúcar consumido no mundo;

**Café:** vendeu 28,5% do café em grão consumido no planeta e 43,6% do café solúvel;

**Carne bovina:** assumiu a liderança em 2003, com 19% de participação no mercado mundial;

**Carne de frango:** foi o primeiro em vendas, com exportações de 1,9 bilhão de dólares;

**Soja em grão:** deteve 38,4% do mercado mundial;

**Suco de laranja:** vendeu 81,9% do suco distribuído no planeta;

**Tabaco:** vendeu 23,1% do tabaco consumido no mundo.

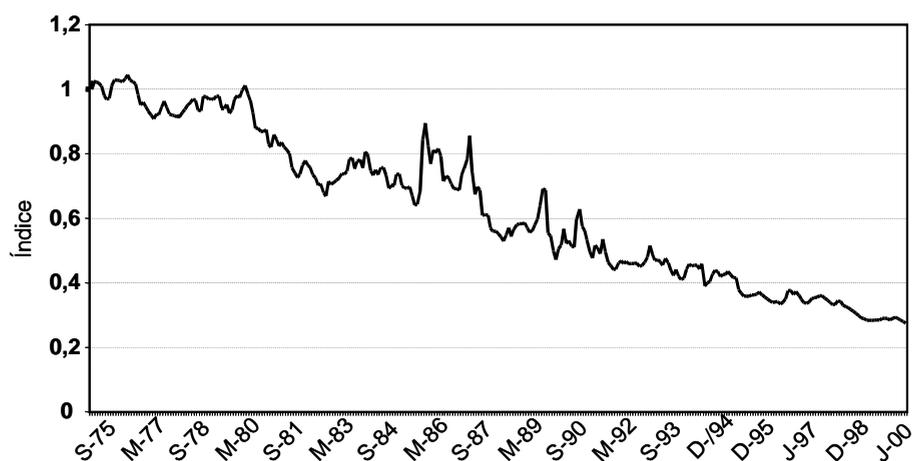
Entretanto, é preciso que os segmentos de “antes da porteira” e “depois da porteira” se conscientizem de que se a agricultura for mal, isso afetará também os seus negócios. De uma forma ou de outra, ambos os segmentos devem perceber que são parceiros em ações que mantenham as suas “galinhas dos ovos de ouro” produtivas e com ganhos que os permitam continuar no processo produtivo.

- 3) Aspectos sociais: uma das maiores contribuições sociais representada pela evolução da produtividade da agricultura nos últimos anos foi a “involução” dos preços reais dos produtos da cesta básica, beneficiando todos os brasileiros, principalmente aqueles que se encontram no segmento de mais baixa renda da sociedade. De setembro de 1975 a janeiro de 2000, os preços reais dos produtos da cesta básica caíram para 1/3 do valor original, seguindo uma tendência linear de queda nesse período (Figura 4.2).

Em função da relevância dos aspectos supracitados, justifica-se o esforço cada vez maior por parte dos formadores de opinião para levar a toda sociedade brasileira uma mensagem clara e objetiva sobre a importância do que representa o desenvolvimento da agricultura para melhorar as condições de segurança alimentar não apenas interna – no Brasil – mas de toda a humanidade.

É necessário que a agricultura brasileira seja considerada um assunto de segurança nacional, que leve as autoridades constituídas a estabelecerem políticas agrícolas de mais longo prazo, para que a nossa vocação agrícola seja exercida em sua plenitude e não por meio de implantação de programas do tipo “apaga incêndio”, deixando o futuro em aberto, ou, o que é na verdade pior, fechado as perspectivas que se vislumbram bastante promissoras para o Brasil.

A expectativa é que os capítulos seguintes dessa publicação possam oferecer aos profissionais em ciências agrárias embasamentos sólidos que permitam atingir, no curto prazo, os anseios como profissionais, colaborando para que o País se torne uma grande Nação socialmente mais justa.



**Figura 4.2** - “Involução” dos índices de preços reais dos produtos da cesta básica no Brasil de setembro de 1975 a janeiro de 2000. [Fonte: Portugal, 2002.]

## Referências bibliográficas

- ABRACAL – Associação Brasileira dos Produtores de Calcário Agrícola. Calcário agrícola – Consumo aparente no Brasil 1984-2004. 2005. Informações pessoais.
- ANDA - Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas. Plano nacional de fertilizantes. São Paulo, ANDA, 1987. 235p.
- ANDA - Associação Nacional para Difusão de Adubos. Anuário estatístico do setor de fertilizantes - 2000. São Paulo, ANDA, 2001. 151p.
- ANDA - Associação Nacional para Difusão de Adubos. Anuário estatístico do setor de fertilizantes - 2002. São Paulo, ANDA, 2003. 158p.
- ANDA - Associação Nacional para Difusão de Adubos. Anuário estatístico do setor de fertilizantes - 2003. São Paulo, ANDA, 2004. 152p.
- ANDA - Associação Nacional para Difusão de Adubos. Anuário estatístico do setor de fertilizantes - 2004. São Paulo, ANDA, 2005. 162p.
- BORLAUG, N. E. e DOWSWELL, C. R. Fertilizer: To nourish infertile soil that feeds a fertile population that crowds a fragile world. 61<sup>st</sup> IFA Annual Conference, May 24 to 27, 1993, New Orleans, Louisiana, USA. 1993, 18p.
- BOT, A. J., NACHTERGAELE, F. O. e YOUNG, A. Land resource potential and constraints at regional and country levels. Land and Water Development Division, Food and Agriculture Organization, U.N., Rome, 2000. 114 p.
- CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BULISANI, E. A.; WILDNER, L. P.; COSTA M. B. B.; ALCANTARA, P. B.; MIYASAKA, S. e AMADO, T. J. C. Adubação verde no Brasil. 2.ed. Rio de Janeiro: ASPTA, 1993. 346p.
- CATANI, R. A. e GALLO, J. R. Avaliação da exigência de calcário dos solos do estado de São Paulo mediante a correlação entre o pH e saturação de bases do solo. Revista da Agricultura, Piracicaba, 30:49-60, 1955.
- CATE, R. B. e VETTORI, L. Ganancias obtenidas por medio del uso de fertilizantes. Datos basados en información obtenida a través de los análisis de suelos. North Carolina State University, Raleigh, 1968, 9p. (Reporte preliminar N° 1, Serie Internacional de Análisis de Suelos).
- CAVALCANTI, F. J. de A. (Coord.). Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco: 2ª Aproximação – 2ª edição revisada. Recife: IPA, 1998. 198p.
- CFSEMG – Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação. RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G. e ALVAREZ, V., V. H., eds. Viçosa, MG, 1999. 359p.
- CHATTY, H. O Mundo Islâmico. In: O Correio da UNESCO. Islã: 15º Século da Hégira. 1981, Ano 9, nº 10-11, pp. 13-26.
- DADALTO, G. G. e FULLIN, E. A. Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo – 4ª aproximação. Vitória – ES, 2001. 180p.
- DAFERT, F. W. Sobre estrumes nacionais – Relatório de 1893. Instituto Agrônomo do estado de São Paulo. Collecção de Trabalhos Agrícolas, Relatórios Annuaes de 1888-1893, p. 154-166, 1895.
- EMBRAPA - MILHO e SORGO. Novas trilhas no sertão - história da pesquisa agropecuária em Sete Lagoas: das origens à Embrapa. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, 2000, 184p.
- FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Agricultural production by countries. Oct. 2005 < <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>.
- FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Land and Plant Nutrition Management Service – Land and Water Development Division. Fertilizer use by crop in Brazil. Rome, Italy, 2004. 52p.
- FITTS, J. W., CATE, Jr, R. B., HUNTER, A. H., WALKER, J. L. e WAUGH, D. L. Avaliação da fertilidade de solo na América Latina - Análise de solo e folha.

- North Carolina Experimental Station, Raleigh, NC, EUA, Boletim Técnico N° 2, 1965. 58p.
- FREIRE, J.R.J.; COSTA, J.A. e STAMMEL, J.G. Principais fatores que proporcionaram a expansão da soja no Brasil. R. Plantio Direto, 92, 2006. <http://www.plantiodireto.com.br>
- HANDARSON, G. Methods for enhancing symbiotic nitrogen fixation. Plant and Soil, Dordrecht, v.152:n.1, p.1-17, 1993;
- HARRINGTON, J. F. e SORENSON, B. W. O desenvolvimento das terras de cerrado no Brasil – A experiência do IRI. Tradução: Eduardo P. Cardoso. Editora Agronômica Ceres Ltda, São Paulo. 2005. 63p.
- HUNTER. A. H. e FITTS, J. W. Estudos de interpretação de teste de solo: ensaios de campo. North Carolina Experimental Station, Raleigh, NC, EUA, Boletim Técnico No 5. 1969. 42p.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Levantamento sistemático da produção agrícola. Outubro 2005. <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/default.shtm>
- IBRAFOS. Anais do I seminário sobre o uso do fosfogeno na agricultura. Brasília: Embrapa-DDT, 1986. 296 p.
- IBRAFOS. Anais do II seminário sobre o uso do fosfogeno na agricultura. São Paulo: Instituto Brasileiro do Fosfato, 2002, 413 p.
- IFA – INTERNATIONAL FERTILIZER INDUSTRY ASSOCIATION. Fertilizer consumption statistics from 1970/71 to 2005/06. Oct. 2005. <http://www.fertilizer.org/ifa/statistics.asp>].
- JARDIM FREIRE, J. R., COSTA, J. A. e STAMMEL, J. G. Principais fatores que proporcionaram a expansão da soja no Brasil. Revista Plantio Direto, 92, março/abril, Aldeia Norte Editora, Passo Fundo, 2006.
- KAMPRATH, E. J. Soil acidity and response to liming. North Carolina Experimental Station, Raleigh, NC, EUA, Technical Bulletin N°4. 1967. 23p.
- LAWES AGRICULTURAL TRUST. Rothamsted Experimental Station – Guide to the classical experiments. Harpenden, England, 1984. 27p.
- LOPES, A. S. e ABREU, C. A. de. Micronutrientes na agricultura brasileira: evolução, histórica e futura. In: NOVAIS, R. F. de; ALVAREZ V., V. H. e SCHAEFER, C. E. G. R. (eds.) TÓPICOS EM CIÊNCIA DO SOLO, 1. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2000. p. 265-298.
- LOPES, A. S., GUILHERME, L. R. G. e SILVA, C. A. P. da. Vocaçao da terra. ANDA, São Paulo, 2ª ed. 23p.
- MACEDO, J. Potencialidades dos cerrados para produção de alimentos. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1994. 15p.
- MIELNICZUK, J. e ANGHINONI, I. Avaliação das recomendações de adubo e calcário dos laboratórios oficiais de análises de solos. Trigo e Soja, 15:2-15, 1976.
- MIRANDA, E. A luz vem do oriente. Raízes, 7: 22-29, 1982.
- MOREIRA, F. M. S e SIQUEIRA, J. O. Microbiologia e bioquímica do solo. 2ª edição, Lavras : Editora UFLA, 2006. 729p.
- NORTH CAROLINA STATE UNIVERSITY. Agronomic-economic research on soils of the tropics. 1980-1981 Technical Report, NCSU, Raleigh, NC, USA, 1983. 139p.
- NORTH CAROLINA STATE UNIVERSITY. Research on soils of the Latin American tropics. Annual Report - 1971, NCSU, Raleigh, NC, USA, 1971. 59p.
- OLDEMAN, L.R., HAKKELING, R.T.A. e SOMBROEK, W.G. World map of the status of human-induced soil degradation: an explanatory note. International Soil Reference and Information Centre, Wageningen; United Nations Environment Programme, Nairobi. Global Assessment of Soil Degradation GLASOD, October 1990, second revised edition October 1991. 35 p.
- OLDEMAN, L.R. Impact of soil degradation: a global scenario. Report 2000/01, ISRIC, Wageningen, 2000. 12 p.

- PEOPLES, M. B.; HERRIDGE, D. F. e LADHA, J. K. Biological nitrogen fixation: An efficient source of nitrogen for sustainable agricultural production? *Plant and Soil*, Dordrecht, v.174: n°1, p.3-18, 1995.
- PINAZZA, L.A. XXXVII SIMPAS – Sistemas Integrados de Manejo da Produção Agrícola Sustentável, Itum biara, 26 a 28 de agosto, 2003.
- PORTUGAL, A. II Simpósio Nacional do Setor de Fertilizantes, São Paulo, SP, 23 e 24 de outubro de 2002.
- QUAGGIO, J. A. Critérios para calagem em solos do estado de São Paulo. Piracicaba, 1983. 76p. Dissertação de Mestrado - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - ESALQ-USP
- RAIJ, B. van, ANDRADE, J.C. de, CANTARELLA, H. e QUAGGIO, J. A. (eds.). Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas, Instituto Agronômico, 2001. 285p.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A e FURLANI, A.M.G (eds). Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agronômico e Fundação IAC, 1996. 285p. (Boletim 100).
- RAIJ, B. van. Gesso agrícola na melhoria do ambiente radicular no subsolo. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos, 1988. 88 p.
- RAIJ, B. van.; QUAGGIO, J. A. Uso eficiente de calcário e gesso na agricultura. In: ESPINOSA, W. e OLIVEIRA, A. J. de (eds.). SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1, Brasília, 1984. Anais. Brasília: EMBRAPA-DEP, 1984. p.323-346.
- RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G. e ALVAREZ V. V.H. (eds). Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5a aproximação. Viçosa, MG, 1999. 359p.
- SBCS – CQFS, 2004. Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina / Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. 10ª ed. - Porto Alegre, 2004. 400p.
- SOUSA, D.M.G. e LOBATO, E. (eds.). Cerrado: correção do solo e adubação. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002. 416p.
- TISDALE. S. L.; NELSON. W. L. e BEATON, J. D. Soil fertility and fertilizers. Macmillan Publishing Co. Inc. New York, 4ª edição, 1990. 754p.
- WAGNER, P. A aplicação de adubos artificiais na cultura das arvores frutíferas, legumes, flores e nos jardins. Instituto Agronômico do Estado de São Paulo. Collecção de Trabalhos Agrícolas, Relatórios Annuaes de 1888-1893, p. 291-327, 1895.
- WAUGH. D. L. e FITTS. J. W. Soil test interpretation studies: laboratory and potted plant. North Carolina Experimental Station, Raleigh, NC, EUA, Technical Bulletin N° 3. 1966. 33p.
- WOOD, S., SEBASTIAN, K. e SCHERR, S. Soil resource condition. In: Pilot analysis of global ecosystems: agroecosystems. A joint study by the International Food Policy Research Institute and World Resources Institute, International Food Policy Research Institute and World Resources Institute, Washington DC, 2001. p. 45-54.
- WRI – WORLD RESOURCES INSTITUTE. World resources 2000–2001: people and ecosystems: the fraying web of life. United Nations Development Programme, United Nations Environment Programme, World Bank, World Resources Institute, Washington, DC, 2000. 400 p.
- YAMADA, T. e LOPES, A.S. Balanço de nutrientes na agricultura brasileira. In: SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F.M.S.; LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A.E. e CARVALHO, J.G, (eds.). Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Universidade Federal de Viçosa, 1999. p. 143-161.

# Capítulo 2 - Importância e função dos fertilizantes numa agricultura sustentável e competitiva

## Os autores

### Francisco Eduardo de Vries Lapido-Loureiro

Geólogo D.Sc., Pesquisador Emérito CETEM/MCT. E-mail: flapido@cetem.gov.br

### Marisa Nascimento

Eng<sup>a</sup> Química, D.Sc., Professora UFF. E-mail: marisanascimento@gmail.com

## 1. Preâmbulo

O aparecimento do homem na Terra é essencialmente o nascimento do pensamento, o passo decisivo da reflexão. Pela primeira vez na história da vida, um ser não apenas conhece, mas também se conhece. Enquanto a estrutura anatômica do homem é o resultado de uma longa evolução, o nascimento da sua inteligência foi brusca.

Esta linha de pensamento do historiador sueco Carl Grimberg é apresentada no primeiro parágrafo do 1º volume da sua monumental e profunda 'História Universal' (*Världshistoria*)<sup>1</sup>. O autor prossegue afirmando que a partir desse momento o caminho da espécie humana estava traçado, pelo dinamismo do poder de reflexão e também porque, ao contrário dos animais que são estreitamente solidários com o meio ambiente, o homem só pode sobreviver, se o transformar e o adaptar às suas necessidades (GRIMBERG, 1963).

Idéia análoga é apresentada pelo renomado arqueólogo australiano Vere Gordon Child ao afirmar que:

*"...a história começa há quinhentos mil anos, talvez há duzentos e cinquenta mil, surgindo o homem como animal raro e coletor que vivia como qualquer outro carnívoro, parasitariamente, alimentando-se de qualquer coisa que a natureza lhe pudesse oferecer. O homem, a última grande espécie a surgir, ultrapassa gradualmente a fase de simples coletor, começa a atuar sobre o mundo exterior, reage em função dele, obtém seu sustento e esca-*

*pa aos perigos, isto é, adapta-se ao meio ou mesmo ajusta-o às suas necessidades" (CHILD, 1966).*

A agropecuária, como agente de sobrevivência, foi um fator dinamizador na evolução da espécie humana e terá sido o vetor que mais contribuiu para o desenvolvimento da ciência e da inteligência do homem, nos primeiros tempos da sua existência.

*"Em luta com a adversidade da natureza, expostos a conflitos, os homens não podiam viver sem conceber idéias. .../ Que designam as idéias? Não superestruturas ou reflexos, não um mundo à parte e abstrato, mas forças dinâmicas que possuem uma existência objetiva e que produzem as civilizações que criam e estruturam. .../ Lançado no mundo, ameaçado pela adversidade das coisas, o homem forma idéias que visam compreender, mas também dominar a natureza. .../ as idéias evoluem em função de uma história que lhes é própria e de uma maneira relativamente independente" (RUSS, 2001).<sup>(2)</sup>*

De início, mais progredindo pelo acúmulo de conhecimentos empíricos, cedo sentiu necessidade de evoluir e inovar para alimentar a crescente população. A agricultura desponta e desenvolve-se como ciência de convergência de vários saberes, tais como: química, pedologia (geologia, mineralogia, química dos solos), metalogenia (produção de fertilizantes), biologia (biotecnologia, genética), climatologia (adaptação de cultivares), economia (socioeconomia, agroindústria e agronegócio).

### 1.1. Primórdios da agricultura<sup>3</sup>

Caça e coleta de frutas foram as primeiras atividades humanas iniciadas nas savanas africanas, há pelo menos dois milhões e meio de anos e se mantiveram até ao final do paleolítico (700.000 a 8.500 a.C.). Entre as fases, "homem caçador/coletor" e "agricultor", situa-se uma época de transição, o mesolítico (8.500 a 5.000 a.C.), que coincide, na Europa, com o fim da glaciação Würm<sup>4</sup>. O clima torna-se mais doce e as renas migram para norte, cedendo lugar a outras espécies animais, tais como veados e cabras.

A estrutura da vida humana, que muito pouco evoluíra no Paleolítico, começa a modificar-se impulsionada pela necessidade do desenvolvimento de uma atividade agropecuária criativa e menos itinerante. No Próximo Oriente e no Norte de África, entre 9.000 - 8.000 a.C., já haviam despontado a criação de animais domésticos e o cultivo do trigo e da cevada, o que pode ser relacionado ao início de uma certa estabilidade (sedentarismo) na ocupação da terra, pressionada pelo surgimento de vilarejos (8.000 a 6.000 a.C.).

Antes do homem impulsionar o cultivo de plantas anuais, as perenes dominavam quase todas as paisagens da Terra, como acontece, ainda hoje, nas áreas não cultivadas. Mais de 85% das espécies de plantas nativas da América do Norte, por exemplo, são perenes (GLOVER, COX e REGANOLD, 2007).

Foi no neolítico (5.000 a 2.500 a.C.) que o homem passou para a idade dos agricultores / criadores. Ritmo e amplitude não foram uniformes em todos os espaços, mas, na generalidade, a humanidade neolítica mostra-se dinâmica e em plena expansão. Penetra na América principalmente pelo Alasca pós-würmiano/visconsiniano, sem gelo, e aí seleciona o cereal que melhor iria assegurar sua existência: o milho (GRIMBERG, 1963)<sup>5</sup>.

Certas regiões, beneficiadas pela configuração geográfica e clima, encontram condições favoráveis para concentrações humanas, que passam a organizar-se e a progredir culturalmente. Foi o que aconteceu na Mesopotâmia (Iraque), no Nilo (Egito), nos vales do Indo (Paquistão), Ganges (Ín-

dia e Bangladesh), no Rio Amarelo (China). Nessas regiões desenvolvem-se civilizações quase simultaneamente, mas é a partir do Médio Oriente - Suméria (Iraque - deltas do Tigre e do Eufrates) e Egito (Nilo) - que tudo se iniciará.

Há ruínas impressionantes de civilizações com 4.500 anos em parte do rio Indo (civilização harappeana) que testemunham culturas mercantilistas sustentadas pelo comércio de produtos agrícolas.

Foi na Mesopotâmia, região da Ásia entre os rios Tigre e Eufrates (engloba partes dos atuais Iraque e Irã), que "surgiram não só inovações como a roda, a organização da agricultura e a engenharia hidráulica, mas também a primeira escrita (a sumérica) de que se tem notícia" (HISTÓRIA do Pensamento, 1987).

A Suméria (*ki-em-gir* na língua nativa) é geralmente considerada a civilização, com escrita, mais antiga da humanidade - 3500 a 3000 a.C. A produção agrícola desenvolveu-se intensamente: cevada, grão-de-bico, lentilha, milhete, trigo, nabo, tâmara, cebola, alho-poró e mostarda. Dependia muito da irrigação, feita através de canais, barragens, diques e reservatórios (Fonte: Wikipedia/Suméria/Agricultura e Caça).

Nesta fase inicial de desenvolvimento, a agricultura conviveu com a Idade dos Metais, cujas técnicas eram também oriundas do Oriente ou da Europa balcânica, seu mais antigo foco metalúrgico.

Gordon Child considera como grandes períodos da evolução humana, que antecederam a civilização grega, relativamente à agricultura: a "Selvajaria Paleolítica" (economia coletora<sup>6</sup> - influência/dependência do meio), a "Barbárie Neolítica" (primeira revolução social - a agricultura como economia produtora), a "Barbárie Superior da Idade do Cobre" (criação de excedentes agrícolas) /.../ a Idade Primitiva do Ferro (novas técnicas agrícolas). Ao analisar o progresso do homem nas várias centenas de milhares de anos de sua existência na Terra, considera ter sido durante a "barbárie neolítica" que surgiu a solução do impasse em que se encontrava a "selvajaria paleolítica". Foi uma revolu-

ção que transformou seus participantes, de parasitas em sócios ativos da natureza.

*"Talvez há menos de 10.000 anos algumas sociedades - ao que se supõe primeiramente no Oriente Próximo - começaram a aumentar o suprimento de alimentos existentes, cultivando plantas e freqüentemente criando animais domésticos. A nova economia produtora surge e diferencia-se no Neolítico, no período que Morgan chama de barbarismo" (CHILD, 1966).*

Essa atividade foi iniciada nas planícies aluviais do Nilo, do Tigre-Eufrates e do Indo, há cerca de 5.000 anos, no período designado por Barbárie Superior da Idade do Cobre, com a transformação de algumas aldeias ribeirinhas, em cidades. A sociedade persuadiu, ou obrigou, os agricultores a produzir excedentes de alimentos, a acumulá-los e, concentrando esses excedentes, utilizou-os para manter uma nova população urbana de artesãos especializados, comerciantes, sacerdotes e funcionários.

Desenvolvimento urbano e evolução da agricultura passam a estar intimamente ligados.

*"Sua consecução, porém, exigiu inovações na ciência aplicada de que os 'bárbaros' dispunham, bem como uma modificação nas relações sociais e econômicas. O milênio que precedeu o ano 3.000 a.C. foi talvez mais fértil em invenções proveitosas do que qualquer período da história humana anterior ao século XVI de nossa era. Suas realizações possibilitaram a reorganização econômica da sociedade a que chamo revolução urbana. A escrita foi um subproduto necessário dessa revolução urbana que penetra na civilização e dá origem ao registro histórico" (CHILD, 1966).*

De forma muito sumária pode-se esboçar a cronologia do surgimento da agricultura da seguinte forma:

- os vilarejos deram lugar ao aparecimento e desenvolvimento de cidades, o que obrigava o aprimoramento da agricultura para alimentá-las - 6.000 a 4.000 a.C.;
- as cidades transformaram-se em impérios, e a agricultura viu-se compelida a alimentar esses

espaços cada vez mais densamente povoados - 4.000 a 2.000 a.C.;

- a partir desse período começaram a surgir procedimentos tecnológicos resultantes do aprofundamento de conhecimentos empíricos que foram progredindo lentamente, apoiados cada vez mais em bases científico-tecnológicas até ao século XIX;
- sua eclosão viria a acontecer no século XX, principalmente nas áreas da nutrição de plantas, química dos solos, fertilidade, biotecnologia e engenharia genética, evoluindo com extrema rapidez nas três últimas décadas, entrando já, portanto, no século XXI.

Braudel (1986)<sup>7</sup> sintetiza, muito bem, esta evolução ao particularizá-la para França. Refere este autor que nos últimos tempos do paleolítico, por volta de 10.000 a.C., com o reaquecimento da Terra, depois da última glaciação, a de Würm, iniciasse o clima temperado prevalecente até hoje, o que mudou toda a vida /.../ A partir do sétimo milênio aparecem, na França, as premissas da revolução agrícola que, dois ou três milênios mais tarde, transformaria o homem pré-histórico em camponês. O primeiro sinal precursor foi uma colheita intensificada das gramíneas, em particular ervilhacas, às quais se associam outras leguminosas tais como lentilhas e ervilhas. Se ainda não existe agricultura, há, pelo menos, colheita sistemática e armazenamento em celeiros.

Segundo sinal mais nítido: o aparecimento da criação de carneiros, que parece ter sido uma contribuição do distante Oriente Médio<sup>8</sup>. Não é, portanto, de surpreender que o carneiro - do qual não se encontra nenhum ancestral na fauna europeia - surja no sétimo milênio, na Europa do leste, e mais tarde, por volta de 6.000 a.C., nas costas mediterrâneas do Ocidente.

*"A pecuária precedeu, portanto, na área mediterrânea ocidental /.../o aprendizado revolucionário da agricultura /.../ na Europa inteira, com as suas lavouras, suas pastagens, suas casas, seus vilarejos e seus povos enraizados de camponeses. Esta revolução agrícola, tão importante quanto viria a ser, mais*

*tarde, a revolução industrial inglesa a partir do século XVIII, saiu dos países do Oriente Próximo, pátria dos cereais selvagens" (BRAUDEL, 1986).*

François Quesnay (1694-1774), conhecido economista e renomado médico francês da corte de Luís XV, em *Analyse de la Formule Arithmétique du Tableau Économique de la Distribution des Dépenses Annuelles d'une Nation Agricole* ('Análise da Fórmula Aritmética do Quadro Econômico da Distribuição das Despesas Anuais de uma Nação Agrícola') refere-se à atividade agrícola da França, na primeira metade do século XVIII, afirmando que a nação se reduz a três classes de cidadãos: a 'classe produtiva' a 'classe dos proprietários' e a 'classe estéril'. /.../ A 'classe estéril' é formada por todos os cidadãos ocupados em outros serviços e trabalhos que não a agricultura, e cujas despesas são pagas pela 'classe produtiva' e pela 'classe dos proprietários', os quais, por sua vez, tiram sua renda da 'classe produtiva'. /.../ Tudo que é desvantajoso para a agricultura é prejudicial à Nação e ao Estado e tudo que favorece a agricultura é útil ao Estado e à Nação' (François Quesnay, 1758 in QUESNAY, 1988a).

O mesmo autor havia publicado, em 1757, um artigo na Encyclopédie intitulado *Grains* (Cereais) cuja tradução ocupa 39 páginas no livro sobre Hume e Quesnay editado pela Nova Cultural (QUESNAY, 1988). Exprime idéias que se adaptam bem à presente época, se levarmos em consideração, no caso da agricultura, os atuais subsídios dados ao agronegócio em alguns países desenvolvidos.

Veja-se o que Quesnay escreveu em 1757:

*".../ o tráfico mútuo entre as nações é necessário à manutenção do comércio. Mas nos limitamos principalmente à fabricação e ao comércio de gêneros que poderíamos obter do estrangeiro .../ procuramos prejudicar nossos vizinhos e privá-los do lucro que obtinham conosco com a venda de suas mercadorias".*

Esta é uma das idéias base da atual globalização, embora tenha sido emitida há 250 anos. Na era da mundialização, os "vizinhos" podem até estar em outros continentes.

Os tópicos apresentados esboçam a importância da agropecuária através dos tempos como base da sobrevivência da espécie humana. Descrição detalhada, cronologicamente seqüencial, pode ser encontrada, neste livro, no capítulo 1.

## 1.2. Tópicos sobre a estrutura agrária do Brasil e seus antecedentes históricos

A atual estrutura agrária do Brasil caracteriza-se pela existência de grande número de pequenas propriedades em grandes Estados da Federação, principalmente no Nordeste, e de muitas propriedades com 500 a 2.000 ha (10,8% do total da região) ou até com áreas superiores a 2.000 ha (4,1%), no Centro-Oeste.

Para compreendê-la é necessário retornar aos primeiros tempos da agricultura do País, intimamente ligados ao extrativismo do pau-brasil e à produção de cana-de-açúcar, esta baseada em trabalho escravo, mas ambas desenvolvidas ao longo da costa. Muito mais tarde, já no Império, foi o café que se transformou, nos seus primórdios, em agricultura itinerante por falta de conhecimentos e de tecnologia para recuperação dos solos.

Na primeira História do Brasil, Frei Vicente do Salvador (1627) lamentava o caráter predatório da colonização e o fato de os portugueses terem sido, até então, incapazes de povoar o interior da nova terra 'arranhando as costas como caranguejos' (FAUSTO, 1995).

A propriedade da terra era obtida por doação da coroa portuguesa aos grandes senhores e pessoal militar sob a forma de sesmarias, unidades de extensão variável, mas sempre de grandes proporções. O Brasil ficou assim dividido em imensas propriedades ao longo da costa, com prolongamentos para o interior que deram origem aos latifúndios.

Naquela época as razões eram de herança histórica, soberania e políticas, hoje os motivos são político-econômicos e de economia de escala, consequência da globalização (ou forçados por ela) e do regime capitalista neoliberal.

Por outro lado, no Período Colonial, existiam pessoas que se estabeleceram em um pedaço de terra que não havia sido doado pela coroa, para dedicar-se à agricultura de subsistência, constituindo a gênese dos pequenos agricultores. A sua posse, dentro dos parâmetros oficiais, era ilegal; contudo, foi desse modo que se formaram as pequenas propriedades rurais no Brasil (ADAS, 1985). Hoje é a reforma agrária, muitas vezes conflituosa e nem sempre bem implantada/estruturada, que intenta recriá-las.

Desconhece-se a data exata em que os portugueses introduziram a cana-de-açúcar no Brasil, mas sabe-se que tanto a produção como o comércio se estabeleceram em bases sólidas, entre 1530 e 1540. Os grandes centros açucareiros na Colônia localizavam-se em Pernambuco e Bahia (FAUSTO, 1995).

Foi na faixa costeira do Nordeste (então designado por "Norte") que se estabeleceu o primeiro centro de colonização e de urbanização e a empresa açucareira constituía o núcleo central de sua ativação socioeconômica (*op. cit.*).

A expansão da agropecuária, na região de São Paulo, iniciou-se no final do século XVI. Os povoadores combinaram o plantio da uva, do algodão e sobretudo do trigo, com outras atividades que os levaram a uma profunda interiorização nas áreas desconhecidas ou pouco exploradas do Brasil (*op. cit.*).

Ainda segundo Boris Fausto (1995), no Período Colonial a renda das exportações de açúcar sempre ocupou o primeiro lugar, mesmo no auge das exportações do ouro. Em 1760 correspondeu a 50% do valor total das exportações e o ouro a 46%.

Outra cultura que surgiu foi a do fumo, mas, enquanto a produção de cana-de-açúcar estava associada a grandes proprietários, a de fumo era viável em escala bem menor, o que deu lugar ao surgimento de um setor de pequenos proprietários. A grande região produtora foi o Recôncavo Baiano.

Por outro lado, nas proximidades dos engenhos, desenvolveu-se a criação de gado, proibida desde 1701, numa faixa de 80km de largura a partir da

costa, o que obrigou a atividade pecuária a deslocar-se cada vez mais para o interior.

A partir de 1820, o aumento do número e fracionamento de propriedades resultou da ocupação ilegal das terras porque, embora o sistema de sesmarias tivesse acabado, não fora substituído por nova legislação. Esta situação acelerou a ocupação de terras e a expansão do número de pequenas unidades de produção.

O café, uma das culturas que mais marcaram a história e a economia do Brasil, foi introduzido na América do Sul através do Suriname. De lá, foram levadas algumas mudas até a Guiana Francesa, por influência do Governador de Caiena, que conseguiu, de um francês chamado Morgues, um punhado de sementes de café e as semeou no pomar de sua residência.

A introdução do café no Brasil deveu-se a Francisco de Melo Palheta que, em 1727, trouxe para Belém as primeiras sementes da planta, obtidas durante a missão à Guiana Francesa realizada a mando do Governador do Maranhão e Grão Pará, para regularizar e definir as fronteiras estabelecidas pelo Tratado de Utrecht, que estavam a ser violadas. Essa missão incluía uma outra tarefa, esta clandestina: obter sementes de café. Conseguiu, devido ao bom relacionamento que havia estabelecido com a mulher do Governador da Guiana Francesa, que, na festa de despedida, as ofereceu a Francisco Palheta (mais detalhes no Anexo A).

Utilizado no consumo doméstico, o café chegou ao Rio de Janeiro por volta de 1760, misturando-se aos pequenos cultivos de pomares e hortas dos arredores da capital da Colônia.

A grande novidade na economia brasileira das primeiras décadas do século XIX foi o surgimento da produção do café para exportação. Em meados do século XIX, a agricultura brasileira retomava o seu desenvolvimento através da exportação, agora associada à produção de café - "ciclo do café" (Anexo B).

Em 1850, com o Brasil já independente, era publicada a Lei das Terras, que abolia o antigo regime das propriedades. A terra tornou-se domínio

público e o direito de posse só era conseguido pela compra em leilão com pagamento à vista. O produto da venda das terras destinava-se a financiar a imigração de colonos, trabalhadores para a grande lavoura (ADAS, 1985; MAGNOLI e ARAUJO, 2001).

A produção de café atingiu o seu auge no final do século XIX e início do século XX. O aumento do número de plantações ficou associado ao desmatamento de inúmeras áreas. Quando a elevada produtividade inicial começou a declinar, entre outros fatores por exaustão dos solos, devido à falta de adubação que na época, ou não era praticada, ou apenas se realizava de forma insipiente, passou-se a desenvolver uma agricultura itinerante, que provocou, em busca de solos férteis, o progressivo desmatamento de vastas áreas, principalmente no norte do estado de São Paulo e nos estados do Rio de Janeiro e do Paraná. Em muitos casos, aquelas antigas propriedades abandonadas foram divididas e adquiridas pelos emigrantes que tinham chegado ao Brasil na fase inicial do Ciclo do Café.

Um produto nativo que desempenhou papel importante no agronegócio brasileiro foi o látex, elevado à categoria de matéria-prima industrial a partir de 1823.<sup>9</sup> O período áureo foi curto, devido à concorrência da Malásia<sup>10</sup> (Anexo C).

A produção de látex, que até 1850 estava restrita à região de Belém, ampliou fortemente sua área de influência, penetrando, de início, através dos rios Xingu e Tapajós, e depois, pelo Amazonas até atingir o Solimões, o Purus, o Alto Madeira e o Juruá.

Entre 1900 e 1910, a borracha foi o produto mais exportado, ao lado do café (Anexo C).

Das diversas fases da agricultura brasileira, foram as da cana-de-açúcar, do café, e da borracha que mais marcaram a estrutura agrária e socioeconômica do País, até à recente explosão das indústrias agropecuária e do agronegócio, que desenvolveram novos cultivares, novos parâmetros tecnológicos e novas preocupações socioeconômico-ambientais.

A quase monocultura de café para exportação foi dando lugar a outros tipos de cultivares e,

atualmente, se excetuarmos a produção de soja, citros e arroz, as propriedades de menos de 100 ha são responsáveis por uma importante parcela da produção agrícola brasileira: mandioca (85%), feijão comum (78%), batata (69%), algodão (66%), milho (64%), cacau (61%), café (54%) e trigo (54%).

Antes de se esboçarem as principais características da estrutura agrária, apresentam-se alguns dados físicos da atual utilização da terra no Brasil (Tabela 1.1).

Deve ainda ser considerado que as reservas indígenas (homologadas, reservadas ou em processo de identificação fora da floresta amazônica) totalizam 101 Mha, segundo o IBAMA.

O cerrado entra na Tabela anterior de forma indefinida, mas a Embrapa apresenta os seguintes dados para a totalidade da sua área, em Mha: área total (204), área agricultável (127), pastagens cultivadas (34), culturas anuais (10), culturas perenes e reflorestamento (2); com o seguinte potencial de produção (Mt): grãos (240), carne (11) e frutas (90).

Dados do IBGE revelam que o Brasil tem 4.848.183 propriedades agrícolas (IBGE, 2003) assim distribuídas ( $\times 10^3$ ): Norte, 444 (9,2%); Nordeste, 2.309 (47,7%); Sudeste, 841 (17,3%); Centro-Oeste, 242 (5,0%); Sul, 1.002 (20,8%).

A sua distribuição de acordo com o tamanho é sintetizada na Tabela 1.2.

Cerca de metade das propriedades agrícolas têm menos de 10 ha e 89%, menos de 100 ha, mas representam, atualmente, apenas 1/5 da área agrícola do Brasil (FAO, 2004).

Outra distribuição geográfica elucidativa é a das propriedades agrícolas que adotam tecnologia de produção (Tabela 1.3). Nas grandes propriedades de produtos de exportação (soja, café, açúcar e citros), são largamente utilizadas tecnologias eficientes, e seus índices de produtividade são elevados, ao contrário do que se verifica na maioria das propriedades familiares.

Os maiores consumidores de fertilizantes e de corretivos são os grandes e médios produtores agrícolas de soja, milho, cana-de-açúcar, citros, café e

**Tabela 1.1 – Utilização da Terra no Brasil**

Tipos de utilização da terra	Milhões de ha		%	
<b>1. Terras com utilização econômica</b>				
Lavouras temporárias	38,5		4,5	
Lavouras temporárias em descanso	4,0		0,5	
Culturas permanentes	7,5		0,9	
Pastagens cultivadas	99,7		11,7	
Pastagens naturais	78,0		9,2	
Florestas artificiais	5,4		0,6	
Terras irrigadas	3,0	<b>236,1</b>	0,4	<b>27,8</b>
<b>2. Coberturas naturais</b>				
Florestas de regiões úmidas	367,7		43,1	
Florestas de regiões secas	54,4		6,4	
Florestas alagadas	14,2		1,7	
Florestas de transição	28,2	<b>464,5</b>	3,3	<b>54,5</b>
<b>3. Cerrados</b>	73,2	<b>73,2</b>	8,6	<b>8,6</b>
<b>4. Terras com outros usos</b>				
Solos rochosos, áridos ou com vegetação dispersa	3,5		0,4	
Rios e lagos, naturais ou artificiais	11,4		1,4	
Áreas urbanas	2,1		0,2	
Outras especificações ou usos indefinidos	60,7	<b>77,7</b>	7,1	<b>9,1</b>
<b>TOTAL</b>		<b>851,5</b>		<b>100,0</b>

Fonte: FAO, 2004 (adaptado de MANZATTO *et al.*, 2002 e EMBRAPA, 2003).

**Tabela 1.2 – Distribuição geográfica / dimensões das propriedades agrícolas no Brasil (%)**

Região	< 10 ha	10 a 100 ha	100 a 500 ha	500 a 2000 ha	> 2.000 ha
Norte	30,4	48,3	17,0	2,8	0,9
Nordeste	68,1	26,2	4,8	0,8	0,1
Centro-Oeste	13,4	45,8	25,9	10,8	4,1
Sudeste	34,1	51,0	12,6	2,0	0,3
Sul	37,7	55,4	5,6	1,2	0,1
Total Brasil	49,7	39,6	8,5	1,8	0,4

Fonte: IBGE, 2003.

pecuaristas. Por outro lado, sabe-se que "70% dos solos agricultáveis são considerados ácidos e necessitam de calagem /.../". Com a viabilização da calagem (ver capítulos 6 e 14), sempre que possível agregada à aplicação de fertilizantes, "vai-se incorporar mais de quatro milhões de estabelecimentos agropecuários de categoria familiar que estão à margem deste mercado", conforme refere Cleide Pereira no capítulo 6 deste livro.

O gesso, tanto o natural (gipsita) como o de origem industrial (fosfogesso e outros como, por exemplo, o fluorgesso e o citrogesso) é, ou pode ser, aplicado na agricultura como corretivo da acidez dos solos e como fonte dos nutrientes enxofre e cálcio (tema abordado no capítulo 15).

O reduzido recurso a tecnologias produtivas explica a baixa produtividade média das regiões Norte e

Nordeste onde se localizam, respectivamente, 9,2% e 47,7% das propriedades agrícolas do Brasil.

**Tabela 1.3** – Proporção, por regiões, das propriedades que usam tecnologia agrícola e eletricidade (%).

Região	AT	FC	CS	Ir	EE
Norte	6,6	9,5	0,8	0,7	10,7
Nordeste	4,1	18,2	6,5	4,9	20,0
Centro-Oeste	32,9	36,8	19,4	4,4	51,9
Sudeste	30,6	64,5	30,1	12,4	61,9
Sul	48,6	76,4	45,5	5,4	73,7
Total Brasil	19,6	38,4	18,8	5,9	39,1

Fonte: IBGE, 2003.

AT = Assistência Técnica; FC = Fertilizantes e Calagem; CS = Controle Sanitário (peste); Ir = Irrigação; EE = Energia Elétrica.

Segundo o Censo Agropecuário do Brasil, em 1970, apenas 18,6% dos estabelecimentos agropecuários consumiam fertilizantes químicos, minerais ou orgânicos. Aquele percentual foi aumentando: 22,3%, em 1975, 32,1%, em 1980, caiu para 30,5%, em 1985, e subiu novamente para 38,3%, em 1995/6.

O aumento do número de estabelecimentos que consomem fertilizantes é um fato, porém a realidade brasileira revela que em 1995/96, mais de 60% dos estabelecimentos agropecuários não empregavam nenhum tipo de fertilizante.

## 2. Fertilizantes e sustentabilidade

O Brasil, em escala mundial, é um dos maiores produtores agrícolas, e o seu potencial de crescimento é enorme: dos 330 milhões de hectares de área agricultável, apenas 14% (45 milhões) estão em produção (LAMON, 2001). Poderá ser, cada vez mais, um dos grandes produtores mundiais de alimentos no cenário de crescimento/desenvolvimento de uma agricultura que se quer competitiva, ecoeficiente e sustentável, dentro das perspectivas conceituais de "ciclo de vida" (*life-cycle perspective*). Neste cenário os fertilizantes terão importante função a desempenhar.

## 2.1. Prólogo

O termo desenvolvimento sustentável vem sendo "apropriado" por diversos segmentos da sociedade. O seu uso freqüente é um sinal importante, mas, em contrapartida, falta-lhe conceituação o que leva, muitas vezes, a ser confundido com uma simples preocupação ambiental (BARRETO, 2001).

Nesta abordagem, desenvolvimento sustentável, será "apropriado" ao binômio fertilizantes - agricultura.

Mais de metade da população da Terra vive em cidades. Na América Latina, a população urbana já representa 75% e continua a aumentar. Em certas cidades de África, o crescimento faz-se a um ritmo de 9 - 10% a cada ano. Esse crescimento irá provocar a ocupação de terras produtivas, afastando, progressivamente, a produção agrícola dos núcleos urbanos e aumentando o custo das atividades de transporte e estocagem dos alimentos (ARGENTI, 2002).

Neste contexto, a agricultura urbana poderá ser uma fonte importante de alimentos, principalmente legumes e frutas. Segundo a FAO (2002), cerca de 200 milhões de agricultores urbanos contribuem para a alimentação de 700 milhões de pessoas, ou seja, ¼ da população urbana do mundo. Para que a atividade seja segura exige, porém, solos despoluídos e águas de irrigação não contaminadas. Infelizmente o perigo para a saúde conduz as autoridades a esforçarem-se por impedir a produção de víveres (*production vivrière*) nas áreas urbanas em vez de procurarem encontrar soluções para a contaminação (ARGENTI, 2002).

Não se deve esquecer que as pessoas gastam, em média, na alimentação, 30% a mais nas zonas urbanas do que nas áreas rurais, mesmo consumindo menos calorias. Devido às distâncias, ao mau estado das estradas, à falta de manutenção dos meios de transporte e aos engarrafamentos, 10 a 30% dos produtos deterioram-se durante a viagem (FAO, 2002).

A produção agrícola urbana, além de apresentar grandes riscos de contaminação, dificilmente po-

derá resolver, pelo seu volume, o complexo problema do abastecimento das grandes cidades.

Uma agricultura ecoeficiente deve ter como preocupação primordial a correta aplicação, qualitativa e quantitativa, dos fertilizantes, em função do trinômio: tipo de cultivo, características do solo e clima. Segundo Algarde *et al.* (1998), a contribuição dos adubos, incluindo a calagem, no aumento da produtividade, é da ordem de 30 a 60%, se corretamente aplicados.

Hoje, é comum as grandes empresas produtoras/vendedoras de fertilizantes terem setores de apoio técnico para prestarem informações aos agricultores sobre o tipo, forma, quantidade e época de aplicação correta dos nutrientes (Anexo D).

Verifica-se, assim, que os fertilizantes poderão desempenhar um papel fundamental, ao atenderem, simultaneamente, aos novos conceitos de aumento da produtividade do solo e, através da sua aplicação controlada, à minimização de impactos ambientais. Sua aplicação correta contribui fortemente com a redução do avanço das fronteiras agrícolas que, sem eles, seria necessário para se amplificar a produção de alimentos.

Estudos de ciclo de vida (*life-cycle*) numa cadeia que vai da produção, passando pelo transporte, até ao uso dos fertilizantes, mostraram que mais de 90% do impacto ambiental provém das atividades no campo. A agricultura é responsável por cerca de 30% das emissões de gases de efeito estufa (gás carbônico, metano e óxido nitroso). Para limitá-las, fazem-se avaliações, em vários países, sobre o efeito das práticas agrícolas e florestais na estocagem ou na emissão daqueles gases para que se possam propor modos de manejo que contribuam para reduzi-la. Capacitar os produtores agrícolas a utilizarem corretamente os fertilizantes é também um caminho promissor para melhorar os problemas ambientais (AGRI, 2001).

O aumento de matéria orgânica nos solos equivale a seqüestrar carbono da atmosfera (CERRI, 2002). É o que se consegue, por exemplo, não queimando as folhas de cana-de-açúcar: aumenta-se a estocagem de carbono nos solos argilosos e are-

nosos com a formação de uma camada, na superfície, de matéria orgânica (humo) relativamente estável. Assim, 10 a 15% do carbono total das folhas (cerca de 0,5 a 1 t/ha/ano) é estocado no solo (FELLER, 2002).

O Brasil, para fortalecer a utilização de fertilizantes, terá que buscar soluções para um ponto frágil: a produção nacional de matérias-primas e de produtos intermediários para fertilizantes é acenadamente insuficiente para atender às necessidades de um país que, embora seja o quarto maior consumidor mundial, ainda apresenta déficits, em macronutrientes, de 860.000 toneladas para o nitrogênio, 515.000 para o fósforo e 324.000 para o potássio. Tais números traduzem um déficit total, dos três macronutrientes principais, que atinge 30% das necessidades do País, ou seja de 25 a 30 kg/ha (valores numéricos apresentados por A. Scheid Lopes e L. Guimarães Guilherme no capítulo 1.

O problema é grave em relação ao potássio para fertilizantes. O Brasil depende de cerca de 90% de importações e tem uma única mina em atividade. No entanto, além da mina de Taquari-Vassouras (SE), em produção, são conhecidos, na região, depósitos de potássio, arrendados à Vale (Companhia Vale do Rio Doce - CVRD), mas os projetos de exploração dessas reservas de silvinita (mistura dos minerais silvita, cloreto de potássio, e halita, cloreto de sódio) e carnalita (cloreto de potássio e magnésio hidratado), continuam não sendo implementados, aguardando pesquisas tecnológicas que mostrem a sua viabilidade técnico-econômica, no atual contexto de desenvolvimento da agricultura e no da demanda/preços dos fertilizantes no Brasil. Os depósitos de Fazendinha e Arari, no estado do Amazonas, com uma localização mais limitada também esperam definição por parte da Petrobras, detentora dos direitos de lavra.

Fontes alternativas para obtenção de sais de potássio ou produção de termofosfatos potássicos, utilizando como matéria-prima rochas ígneas alcalinas da família dos sienitos, sedimentares como os arenitos feldspáticos, metassedimentares como os xistos glauconíticos, ou ainda rochas enriquecidas de

potássio por processos hidrotermais, deveriam merecer uma atenção toda especial. Os equivalentes microcristalinos dos sienitos, os traquitos, também devem ser considerados e devidamente estudados.

No caso dos fertilizantes fosfatados, depósitos como os de Itataia (CE) e Anitápolis (SC), já estudados e passíveis de entrar em produção, continuam parados. A jazida de Patos de Minas (MG), onde se localizam as maiores reservas medidas de fosfato do País, continua subaproveitada por falta de tecnologia e/ou investimentos. Outros depósitos, ou não chegaram a entrar em produção, como é o caso de Salitre (MG) e Maicuru (AM), ou a sua produção foi suspensa por não ser considerada econômica, na época (Fazenda Ipanema - SP e Olinda - PE). No Brasil, Olinda é o único depósito de origem sedimentar, isto é, com a mesma origem das grandes jazidas do Norte de África, Próximo Oriente e Estados Unidos. Passou por uma fase intensa de produção e foi fechado porque, na época, não era considerado econômico no contexto brasileiro, devido aos altos custos do transporte para as regiões consumidoras do Sudeste e Centro-Oeste.

A propósito destes fatos, lembra-se que se deve ao espírito inovador de Paulo Abib e aos trabalhos de PD&I executados pela sua equipe a implantação, no Brasil, da indústria dos fertilizantes fosfatados, contra o parecer técnico de consultores externos. Como resultado desta política, o Brasil chegou a atingir a auto-suficiência em fosfatados, mas hoje já importa 3,2 Mt/ano, e a tendência é de um progressivo aumento das importações, se não forem implantadas novas indústrias produtoras que utilizem matéria-prima nacional.

Se já era uma preocupação o fraco crescimento da produção de fertilizantes no Brasil, quando o País produzia entre 12 e 15% mais do que importava, nos últimos anos, o problema passou a assumir maiores proporções, com tendência a se agravar cada vez mais.

O que aconteceu no final dos anos 90 foi bem marcante. De 1999 para 2000, enquanto a produção nacional de fertilizantes passava de 7,537 Mt

para 7,888 Mt, ou seja, um crescimento de 4,7%, as importações saltavam de 7,059 Mt para 10,276 Mt, o que representou um aumento de 45,6%. Para o enxofre, esse aumento foi de 32,5%, tendo passado de 1,990 Mt para 2,647 Mt (ANDA, 2002).

Não foi um crescimento esporádico. Na última década do século XX, o consumo interno de fertilizantes cresceu a uma taxa anual média de 7%, índice elevado se comparado com o que se passa em escala mundial<sup>11</sup> e com forte tendência a aumentar, como comprova o que aconteceu em 2000/2001, fato já referido.

Analisando tal realidade, A. G. Lamon afirma, enfático, que *"a balança comercial desfavorável precisa ser usada como um motivo a mais para que o País invista em pesquisa, desenvolvimento e implantação de um parque industrial de fertilizantes"* (LAMON, 2001), tanto mais que a opção pela abertura de mercado não deve limitar-se a uma política de investimentos para exportar, mas também na substituição competitiva das importações (VELLOSO, 2002).

Em 2005 foram importadas 15 Mt, 11.724.687 t de matérias-primas<sup>12</sup> e 3.233.645 t de produtos intermediários<sup>13</sup> (Tabela 2.1), no valor de US\$ 2,3 bilhões (cerca de R\$ 4,6 bilhões ao câmbio de 30/04/2007), mesmo com a acentuada quebra em relação ao ano anterior.

Entre os 38 itens de produtos e matérias-primas com código TEC / NCM num total de 11,5 Mt (US\$ 2,3 bilhões), os que mais pesaram na pauta de importações foram: "cloretos de potássio", 5 Mt (US\$ 960 milhões); "uréias", 1,6 Mt (US\$ 350 milhões); fosfato monoamônico, 1,3 Mt (US\$ 323 milhões); sulfato de amônio, 1,3 Mt (US\$ 165 milhões) e superfosfato com vários teores, principalmente >45%, 985 mil toneladas (US\$ 108 milhões).

Houve uma evolução negativa acentuada nas importações, talvez pelo acúmulo de "estoques iniciais" elevados, de 959.000 t, em 2004, e de 1.438.000 t, em 2005, mas as "entregas" acompanharam essa diminuição, de 9,6 Mt, em 2004, para 8,5 Mt, em 2005, e a produção nacional também decaiu, no mesmo período, de 9,7 para 8,9 Mt: DAP

**Tabela 2.1** - Importações de matérias-primas e produtos intermediários para fertilizantes

Produtos / Nutrientes	2000	2001	2002	2003	2004	2005
<b>Produtos Intermediários</b>						
Total Produto	10.276.158	9.740.520	10.491.293	14.683.124	15.424.326	11.724.687
Total N	1.252.905	1.072.626	1.175.736	1.781.945	1.694.001	1.430.290
Total P	1.117.110	1.146.619	1.297.436	1.857.339	2.101.645	1.296.661
Total K	2.566.860	2.524.778	2.692.114	3.603.319	3.941.735	3.093.293
<b>Matérias-primas</b>						
Total Produto	2.646.505	2.584.195	2.804.960	3.079.941	3.763.532	3.233.645
Total N	203.199	245.836	188.539	228.577	160.095	193.694
Total P	244.442	241.949	250.936	327.798	451.890	327.798
Total S	1.339.648	1.386.156	1.526.502	1.533.950	1.797.972	1.567.148
<b>Total Geral</b>						
Total Produto	12.922.663	12.324.715	13.296.253	17.763.065	19.367.176	14.958.332
Total N	1.456.104	1.318.462	1.364.275	2.010.522	1.854.096	1.623.984
Total P	1.361.552	1.388.568	1.548.372	2.185.137	2.553.535	1.627.716
Total K	2.566.860	2.524.778	2.692.114	3.603.319	3.941.735	3.093.293

Fonte: ANDA, Anuário Estatístico, 2001 a 2006.

(-96,9%), termofosfato (-44,5%), SSP (-16,4%), ácido fosfórico (-12,8%), sulfato de amônio (-8,9%).

Em compensação verificou-se acentuado crescimento na produção de nitrogenados: nitrato de amônio (+18,2%) e uréia (+15,5%). No campo dos fosfatados também houve aumento: fosfato natural de aplicação direta (+48,2%) e superfosfato (+3,1%).

Principais fornecedores em 2005:

- **P** - concentrado fosfático: Marrocos (46%), Israel (26%), Argélia (14%) e, em conjunto, Togo e Tunísia (12%); produtos intermediários fosfatados: EUA (28%), Rússia (23%), Marrocos (21%), Israel (10%) e Tunísia (6%), com o gasto total de US\$ FOB 813,5 milhões.
- **K** - Canadá (26%), Rússia (20%), Alemanha (18%), Bielorrússia (16%) e Israel (15%), com uma redução de 26,5% em relação ao ano anterior, mas mesmo assim a um custo de US\$ FOB 960 mil.
- **S** - Canadá (28%)<sup>14</sup>, EUA (17%), Arábia Saudita (10%), Rússia (9%) e Alemanha (4%) com um custo FOB de US\$ 530 mil.

Kulaif (1999), citando Puggina, aponta os fatores que mais diretamente influem na demanda por fertilizantes:

- preços absolutos dos fertilizantes;
- preços relativos (fertilizantes versus produtos agrícolas);
- renda ou produto bruto agrícola;
- crédito rural;
- fontes alternativas de financiamento/mecanismos de troca/venda antecipada de safra;
- liberalização/queda das barreiras e tarifas alfandegárias;
- custos de transporte;
- sistema tributário (subsídios versus taxaçaõ da agricultura)

Deve-se acrescentar que também influencia, e muito, a falta de conhecimento aprofundado sobre a função/importância dos fertilizantes numa agricultura moderna, sustentável e fortemente competitiva.

A mesma autora (*op. cit*) considera, do ponto de vista agrícola, como fatores de influência no consumo de fertilizantes:

- mudanças climáticas;
- políticas agrícolas - subsídios, empréstimos a juros subsidiados, incentivo à modernização das técnicas agrícolas, entre outras;
- crescimento econômico, distribuição de renda;
- aumento do poder aquisitivo;
- políticas de liberalização comercial;
- linhas de financiamento às exportações e importações;
- taxas de câmbio.

Crises ou mudanças político-econômicas podem também influenciar, e de forma marcante, a produção e/ou consumo de fertilizantes. O que aconteceu na ex-URSS, nos países da Europa Central e no próprio Brasil, é elucidativo.

Na ex-URSS, o consumo anual de fertilizantes que, após 27 anos de crescimento contínuo, havia atingido mais de 27 Mt em 1987/88 e em 1988/89<sup>15</sup>, começou a declinar a partir deste último ano. Em 1991/92 apresentou uma queda brusca, passando de 19,41 Mt, para 11,88 Mt, em 1992/93. Essa acentuada diminuição prosseguiu em 1993/94 (7,65 Mt) e em 1994/95 (4,41 Mt). Verificou-se uma pequena e breve recuperação em 1996/97 (4,56 Mt) e 1997/98 (4,57 Mt), tendência essa que não se manteve. O consumo de fertilizantes voltou a cair em 1998/99 (3,96 Mt) e em 1999/2000 (3,73 Mt). Na década de 90, a redução foi de 556% e, nos últimos 12 anos do século XX, atingiu o impressionante valor de 629% ([www.fertilizer.org/ifa/statistics](http://www.fertilizer.org/ifa/statistics) - 02/05/02). Não é difícil associar tais fatos às profundas mudanças político-econômicas que aconteceram nesse período na ex-URSS.

Na Europa Central<sup>16</sup> verificou-se situação semelhante: crescimento do consumo de fertilizantes de 1960/61 (2,06 Mt) até 1983/84 (10,51 Mt), ano em que começou a declinar, apresentando quedas bruscas em 1990/91 (6,35 Mt) e em 1991/92 (3,32

Mt). Neste conjunto de países, o consumo de fertilizantes diminuiu 193% entre 1990 e 2000.

É fácil relacionar estes números aos acontecimentos políticos que também ocorreram, nesse período, no Centro-Leste europeu.

O caso brasileiro será abordado, no item 3 deste capítulo.

A insuficiente produção de fertilizantes no Brasil é um problema de grandes dimensões. Em 2005, do total de entregas (20,2 Mt), mais de metade foram importadas (14,9 Mt) a um custo FOB de US\$ 2.638.154 (ANDA, 2006), o que, ao câmbio de maio de 2007, representa mais de 5,2 bilhões de reais.

## 2.2. Importância e função dos fertilizantes numa agricultura sustentável

Fertilizantes são produtos ou substâncias que, aplicados aos solos, fornecem às plantas os nutrientes necessários ao seu bom desenvolvimento e produção.

FAO/IFA definem fertilizante como "*qualquer material natural ou industrializado que contenha, pelo menos, cinco por cento de um ou mais dos três nutrientes primários: N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O*" (FAO/IFA, 2002).

Em *U.S. Geological Survey Fact Sheet 155-99* encontra-se a seguinte definição: "*A fertilizer is a substance applied to soil to enhance its ability to produce plentiful plants*".

O Decreto no 86.955, de 18/02/82, publicado no DOU em 24/02/82 e as normas de inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, de 1984, definem fertilizante como: "*substância mineral ou orgânica, natural ou sintética, fornecedora de um ou mais nutrientes das plantas*".

São 17 os nutrientes (elementos) considerados essenciais para o crescimento da grande maioria das plantas. Provêm do ar, da própria água e do solo.

- Do ar: carbono (C) sob a forma de dióxido (CO<sub>2</sub>).
- Da água: hidrogênio (H) e oxigênio (O), na forma de água (H<sub>2</sub>O).

— Do solo e dos fertilizantes químicos (minerais e orgânicos): nitrogênio (N)<sup>17</sup>, fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), ferro (Fe) manganês (Mn), zinco (Zn), cobre (Cu), boro (B), molibdênio (Mo), cloro (Cl) e níquel (Ni).

Outros, designados elementos benéficos, são exigidos apenas por alguns grupos de plantas, em circunstâncias específicas. Citam-se, neste caso, sódio (Na), silício (Si), cobalto (Co) e alumínio (Al). Selênio (Se) e terras-raras (TR) também são referidos como micronutrientes (Tabela 2.2).

As plantas, cuja composição média é de 44% para o oxigênio, 42% para o carbono, 7% para o hidrogênio e também de 7% para um conjunto de

outros elementos, extraem todos os nutrientes da solução do solo, exceto no caso do C.

Para o extrato seco, os valores médios são: K (1 a 4%), S (0,05 a 0,5%), P (0,1 a 0,4%) (IFA, 2002).

Os fertilizantes podem ser classificados em:

— sob o ponto de vista físico: **sólidos**, os mais comuns, (pó ou grânulos) e **fluidos** (líquidos - soluções/suspensões e gasosos - como a amônia anidra, aplicada na forma liquefeita;

— sob o ponto de vista químico: **minerais**, **orgânico-minerais** e **orgânicos**, de origem animal ou vegetal.

**Tabela 2.2** – Nutrientes essenciais e benéficos para as plantas

Nutrientes		Forma Disponível	Observações
N	<b>a</b>	NO <sub>3</sub> ou NH <sub>4</sub>	2-30 g/kg na matéria seca
P		H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> , etc.	
K		K <sup>+</sup>	
S	<b>b</b>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2-30 g/kg na matéria seca
Ca		Ca <sup>2+</sup>	
Mg		Mg <sup>2+</sup>	
Fe	<b>c</b>	Fe <sup>2+</sup> ou quelato	0,3- 50 mg/kg na matéria seca
Mn		Mn <sup>2+</sup> ou quelato	
Zn		Zn <sup>2+</sup> ou quelato	
Cu		Cu <sup>2+</sup> ou quelato	
Mo		MoO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	
Cl	<b>d</b>	Cl <sup>-</sup>	Útil em certas culturas em quantidade superior à essencial, para regulação osmótica e aumento de resistência a alguns fungos.
B		H <sub>2</sub> BO <sub>3</sub> <sup>-</sup> etc.	
Na	<b>e</b>	Na <sup>+</sup> <sup>(v)</sup>	Pode substituir parcialmente o K em certas culturas.
Si		Silicatos etc.	
Co		-	
Al		-	
Se		Na <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>	
TR	<b>f</b>	Nitratos, cloretos, fosfatos	Aumento da atividade enzimática: maior produtividade.

**a** – Macronutrientes principais; **b** – Macronutrientes secundários; **c** – Micronutrientes (metais); **d** – Micronutrientes não metálicos; **e** – Nutrientes benéficos; **f** – Terras-raras - sua aplicação como micronutriente é referida apenas na China.

Fonte: World Fertilizer Manual (IFA)

Fertilizantes minerais compreendem elementos que ocorrem naturalmente e que são essenciais para a vida. Eles dão a vida e não são biocidas. À exceção dos nitrogenados, os demais fertilizantes são, na verdade, bens minerais mais ou menos purificados. No caso do nitrogênio, aproximadamente 99% do suprimento total provém da amônia (ISHERWOOD, 2000).

Os nutrientes também são classificados em função da sua mobilidade em: **móveis** - N, P, K, Mg, Cl e Mo; **pouco móveis** - S, Cu, Fe, Mn, Ni e Zn; **muito pouco móveis** - Ca, B.

As substâncias - nutrientes - que constituem os fertilizantes podem ser divididos em dois grandes conjuntos: **macronutrientes** e **micronutrientes** ou **oligoelementos**.

N, P e K - **macronutrientes principais** - são os nutrientes mais importantes para o bom desenvolvimento das plantas. São consumidos em grandes quantidades. Ca, Mg e S - macronutrientes secundários - as plantas também os absorvem em quantidades consideráveis.

Os **micronutrientes** ou **microelementos** são: Fe, Mn, Zn, Cu, Co, Mo, Cl, B e TR (na China). Embora sejam aplicados em quantidades reduzidas e dentro de limites muito apertados, são elementos-chave para o crescimento das plantas. Sua função pode ser comparada à das vitaminas na alimentação humana.

Os macronutrientes são aplicados habitualmente na proporção de kg/ha e os micronutrientes em g/ha.

A composição dos fertilizantes fosfáticos e potássicos podem exprimir-se, tanto sob a forma elementar, P e K, como na dos respectivos óxidos,  $P_2O_5$  ou  $K_2O$ . O nitrogênio é sempre apresentado como elemento.

A FAO/IFA na 4ª edição da publicação, *Los Fertilizantes y Su Uso*, sintetizam bem a função/importância dos nutrientes (FAO/IFA, 2002). Referem-se "ao uso apropriado dos fertilizantes" e como esse uso "deveria ser parte de um programa integrado de boas práticas agrícolas tendentes a melhorar a produção dos cultivares". Acentuam ainda que os nutrientes, necessários tanto em pequenas quan-

to em grandes quantidades, desempenham funções específicas no crescimento da planta e na produção alimentar. Nenhum nutriente pode ser substituído por outro.

O **nitrogênio**, motor do crescimento da planta, é retirado do solo (e também do ar), sob a forma de nitrato ( $NO_3^-$ ) ou de amônio ( $NH_4^+$ ). É o constituinte essencial das proteínas. Uma correta aplicação de nitrogênio é também importante para a absorção dos outros nutrientes pelas plantas.

O **fósforo** desempenha um importante papel na transferência de energia. Como tal, é essencial para a fotossíntese e para outros processos químico-fisiológicos. O problema é ser deficiente na maioria dos solos naturais.

O **potássio** tem muitas funções: ativa mais de 60 enzimas (substâncias químicas que regulam a vida), desempenha um papel vital na síntese dos carboidratos e das proteínas, melhora o regime hídrico das plantas e, desta forma, aumenta a sua tolerância às secas, geadas e salinidade. As plantas bem providas de potássio são mais resistentes a doenças.

O **magnésio** é o constituinte central da clorofila, o pigmento verde das folhas que funciona como um receptor da energia solar. Por isso, 15 a 20% do magnésio contido na planta encontra-se nas partes verdes. Também atua nas reações enzimáticas relacionadas às transferências de energia da planta.

O **enxofre** é o constituinte essencial das proteínas e, além disso, intervém na formação da clorofila. Desempenha uma função tão importante como o fósforo ou o magnésio no crescimento das plantas, mas o seu papel é muitas vezes subestimado.

O **cálcio** é indispensável para o crescimento das raízes e como constituinte dos materiais da membrana celular. Embora seja abundante na maioria dos solos como cálcio assimilável, nas regiões tropicais pode-se verificar forte carência. A sua principal aplicação na agricultura é na calagem dos solos ácidos, para corrigi-los.

Os **micronutrientes** (Fe-Mn-Zn-Cu-Mo-Cl-B)<sup>18</sup> são absorvidos em quantidades minúsculas e com uma escala de aplicação muito apertada. Embora sejam

substâncias-chave para o crescimento das plantas, comparáveis às vitaminas na nutrição humana, alguns podem ser tóxicos, como o Al e o Mn nos solos ácidos.

Os nutrientes benéficos (Na-Si-Co) são importantes para algumas plantas. Por exemplo, no cultivo da beterraba (Na), dos cereais (Si) e no processo de fixação do nitrogênio nas leguminosas (Co).

A melhor resposta ao uso de fertilizantes é obtida quando o solo tem um nível elevado de fertilidade. Os principais fatores determinantes da fertilidade do solo são: a matéria orgânica (incluindo a biomassa microbiana), a textura, a estrutura, a profundidade, o conteúdo dos nutrientes, a capacidade armazenamento (capacidade de adsorção-atração/adeseção das moléculas de água e de íons na superfície de partículas de matéria orgânica ou de argila), a reação do solo e a ausência de elementos tóxicos como, por exemplo, o alumínio (FAO/IFA, 2002).

Wladimir Puggina, presidente da *International Fertilizer Industry Association - IFA*, na página de apresentação do trabalho *Mineral Fertilizer Use and the Environment* (ISHERWOOD, 2000)<sup>19</sup>, editado pela IFA/UNEP, destaca que os fertilizantes são, em geral, responsáveis por cerca de um terço da produção agrícola, sendo que, em alguns países, chegam a sê-lo por até 50% nas respectivas produções nacionais. Acentue-se que, ao promoverem o aumento da produtividade na agricultura, protegem e preservam milhares de hectares de florestas e matas nativas, assim como a fauna e a flora.

O Brasil, dada a amplitude do território e a sua situação geográfica, é o país que possui melhor combinação de agentes para expansão da agroindústria e do agronegócio: terras, água, clima, tecnologia e possibilidade de fazer economias de escala, sem afetar, nem o meio ambiente, nem a estrutura da propriedade familiar. Nestas condições, os fertilizantes desempenham, cada vez mais, uma função importante.

Materiais fertilizantes são aplicados na agricultura desde os tempos mais remotos. Em relação aos

fosfatados, a prática de sua utilização é tão antiga que não há registro do seu início. Excrementos de aves eram usados pelos cartagineses há mais de 200 anos a.C. e os índios utilizavam guano<sup>20</sup> muito antes da chegada dos espanhóis.

O potássio é usado como fertilizante desde o século III a.C., na forma de cinzas ou de resíduos vegetais. Na América do Norte, os índios já assim procediam, com cinzas de árvores, quando chegaram os primeiros colonizadores.

Uma prática pioneira de concentrar potássio consistia na lixiviação de cinzas de árvores, seguida de evaporação ao fogo, em potes de ferro. O produto residual era designado por *potash*. Tal processo originou o primeiro pedido de patente registrado nos Estados Unidos, em 31/07/1790.

Sir Humphrei Davy inspirou-se na designação de 'pot ash' para chamar de *potash* (potássio) o elemento químico que isolou, em 1807, a partir da potassa cáustica.

Não deve ser esquecido que maior rendimento na agricultura significa maior exportação (remoção) de nutrientes que, para manter a fertilidade dos solos, deve ser compensada. A título de exemplo citem-se os seguintes valores referentes aos cereais: a produção de 3t/ha remove, juntamente com a palha, 81 kg de N, 15 kg de P e 75 kg de K (KRAUSS, 2000 a).

É consenso geral que as condições naturais de fertilidade são insuficientes para atender ao consumo necessário para um bom desenvolvimento das plantas. Estudos desenvolvidos por várias entidades, incluindo a FAO, mostraram que a fertilização balanceada provoca um aumento na produtividade de 35 a 50%, em média, e *que one kg of mineral fertilizer can achieve, under farmer's conditions, about 10 kg additional yeld* (FAO, 2002).

Os micronutrientes, embora aplicados em gramas/hectare, são igualmente importantes e até fundamentais na obtenção de boa produtividade e qualidade. Sua aplicação é delicada porque o intervalo entre as concentrações ótima e tóxica no solo é, em regra, bastante apertado.

A aplicação das terras-raras como micronutriente não tem sido realizada no Brasil. Não se conhecem estudos visando a sua aplicação como micronutrientes, o que há muito é feito na China (LAPIDO-LOUREIRO, 1994). Experiências realizadas com o produto *changle* ou *nong-lê* mostraram que, na proporção de 2,25 kg/ha, pode aumentar o rendimento das culturas em até 15% (CREI, 1997).

*Nong-lê é um composto "containing soluble, mixed rare earths, usually in form of nitrate, although the chloride would suffice. The other (proprietary) ingredients in the nong-le are not known. The rare earths can not replace the essential nutrients /.../. Timing the application is important and the most beneficial effects are found if the rare earths are added in the early growth stages. The usual dosage is 450 to 750 g/ha" (CREI, 1997).*

Na China, em 1997, 160 núcleos produtores geravam 5 Mt de carbonato de amônio com terras-raras para fins agrícolas (RIC News, 1998).

Este tema é abordado, no Anexo E, com a transcrição de duas notas, uma do Ministério da Ciência e Tecnologia e outra do Centro Nacional de Terras-Raras para a Agricultura, ambos da China. Na primeira, afirma-se que:

*"The popularization and application of the new material and new technology of rare earth for use in agricultural production in large areas will facilitate the high efficient development of agriculture in our country and the improvement of ecological environment in the West".*

Com dados extraídos, entre outras fontes, do Arquivo do Agrônomo nº 10, Fisiologia Vegetal/Nutrição Mineral (2002), Ferreira e Cruz (2000) e Motavalli et al. (2002), apresenta-se, no Quadro 2.1, uma síntese/resumo da função e dos resultados da deficiência de nutrientes nas culturas.

Com o crescimento da produção e da produtividade apoiadas na correta aplicação de fertilizantes e nos avanços da engenharia genética, pode-se afirmar que o grande problema da fome no mundo resulta muito menos da insuficiência de alimentos do que da falta de renda para adquiri-los e de tecnologia/capacidade financeira para fomentar a sua produção. É bem mais um problema socioeconômico-cultural do que de falta de possibilidade produtiva.

Não é fácil calcular, com rigor, a contribuição dos fertilizantes no aumento da produção agrícola mundial, dada a interação de muitos fatores. A produtividade e a qualidade dos produtos alimentares está diretamente ligada ao correto balanceamento na aplicação de fertilizantes, como ficou provado em experimentos de campo realizados em todo o mundo.

Estima-se que, em escala mundial, cerca de 40% (de 37 a 43%) do fornecimento proteínico dos alimentos teve, em meados da década de 90, a sua origem no nitrogênio sintético produzido pelo processo Haber-Bosch. São ainda bons exemplos, os resultados obtidos com fertilização bem balanceada em potássio, o que se traduz, por exemplo, no aumento: das proteínas no trigo; no valor nutritivo dos vegetais; de óleo na soja, no amendoim e na colza; de vitamina C nas frutas e vegetais; e ainda dos componentes bioativos como o licopeno nos tomates, allicin no alho ou isoflavones também no alho (KRAUSS, 2000 a).

### **2.3. Qualidade e responsabilidade social nos produtos alimentares**

Não só a produtividade agrícola está ligada ao correto balanceamento de aplicação de fertilizantes. A qualidade também. E ela é marcante na comercialização de um produto alimentar como o

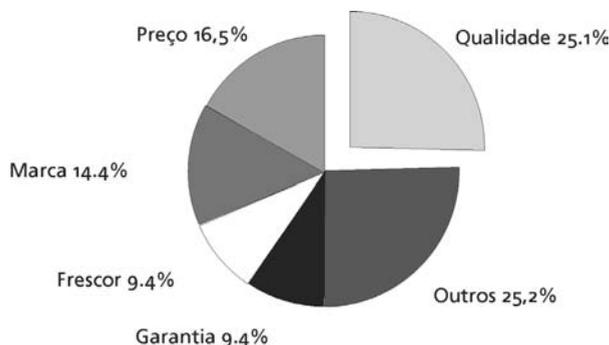
**Quadro 2.1 - Função dos nutrientes e resultados da sua deficiência**

Nutr.	Função	Resultados da Deficiência
<b>N</b>	Elemento da qualidade. Composição das proteínas de todas as plantas e animais, DNA, RNA, clorofila.	Perda de cor entre as nervuras da folha; folhas quebradiças; afinamento das folhas; diminuição da fotossíntese e do crescimento geral da cultura.
<b>P</b>	Crescimento das plantas. Conversão da energia solar em alimento, fibra e óleo. Função chave na fotossíntese, metabolismo dos açúcares, armazenamento/transformação de energia, divisão celular, transferência da informação genética. É absorvido principalmente sob a forma de $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ e, menos rapidamente, como $\text{HPO}_4^{=}$ (pH deve ser < 6,8).	Diminuição no crescimento; desenvolvimento de áreas necrosadas nas folhas, frutos e caule; menor produção e menor qualidade dos produtos.
<b>K</b>	Interação com quase todos os nutrientes essenciais. Ativação enzimática; uso eficiente da água; fotossíntese; transporte de açúcares, água e movimento de nutrientes; síntese de proteínas; formação de amido. Não participa da formação de biomoléculas.	Secamento das margens das folhas; crescimento vagaroso; escasso desenvolvimento radicular; sementes e frutos pequenos e enrugados; pouca resistência a doenças; menor teor de açúcar na cana; menor tamanho nos frutos cítricos; menor resistência ao transporte e armazenamento de hortaliças e outras culturas.
<b>Ca</b>	Redução da acidez dos solos; transformação dos restos das culturas em matéria orgânica; liberação dos nutrientes; aumento da capacidade de retenção de água nos solos; fixação do N atmosférico (ajuda a bactéria); aumento da capacidade de absorção dos nutrientes pelas raízes.	Acidez dos solos; com todas as suas consequências; concentração tóxica de Al, Mn e Fe.
<b>Mg</b>	Ativação do sistema enzimático; componente da clorofila (fotossíntese).	Perda de cor entre as nervuras da folha; folhas quebradiças; afinamento das folhas; diminuição da fotossíntese e do crescimento geral da cultura.
<b>S</b>	Desenvolvimento das culturas; formação de aminoácidos e proteínas; nodulação de leguminosas (feijão, soja, ervilha), forrageiras; fixação de N do ar.	Crescimento raquítico das plantas; amarelecimento geral das folhas.
<b>B</b>	Crescimento das células; polinização; desenvolvimento das sementes; formação dos nódulos das leguminosas; crescimento dos ramos e frutos; formação de proteínas.	Vagens vazias e manchas pretas nas sementes (amendoim); pecíolos fendidos; folhas mais grossas e que permanecem verdes dificultando a colheita (algodoeiro); internódios mais curtos; folhas pequenas e deformadas; morte de gemas terminais e superbrotamento (cafeeiro); panículas com poucos grãos (trigo); casca mais grossa, formação de goma do albedo e nos gomos (citros) etc.
<b>Cu</b>	Fotossíntese; formação de clorofila; participação no processo de formação de açúcar (água + gás carbônico + luz); ativador de enzimas com função de desintoxicar a planta de radicais livres.	Menor crescimento e redução na colheita; amarelecimento e murchamento das folhas; morte das regiões de crescimento dos ramos.

**Quadro 2.1** (continuação) - Função dos nutrientes e resultados da sua deficiência

Nutr.	Função	Resultados da Deficiência
<b>Fe</b>	Crescimento e produção; catalisador na formação da clorofila e como carregador de oxigênio, síntese de proteínas; formação de sistemas respiratórios enzimáticos.	Coloração verde pálida (clorose) ou até amarelecimento – branqueamento.
<b>Zn</b>	Ativador de enzimas; participação do controle de concentração endógena do AIA (fitohormônio) responsável pelo crescimento longitudinal das células vegetais.	Plantas com tamanho reduzido; áreas verde claras entre as nervuras das folhas novas; folhas menores; internódios curtos (roseta).
<b>Mn</b>	Cofator de enzimas; participa da fotólise da água; funciona em vários processos importantes como a fotossíntese e a conversão do N-nitrato em forma que a planta usa para fazer aminoácido e proteínas.	Folhas superiores amareladas e áreas pardas (soja e batatinha); as plantas ficam ligeiramente raquíticas (milho e sorgo); manchas necróticas (outros cereais); clorose entre a nervura das folhas mais novas (citros); pontuações pequenas e claras, depois amareladas nas folhas mais novas e diminuição do número de “cerejas” nas rosetas (café).
<b>Cl</b>	Corrige deficiência e controla organismos causadores de doenças; participa da fotólise da água, juntamente com o Mn.	Clorose no crescimento e clorose generalizada.
<b>Mo</b>	Constituinte de enzimas e de microrganismos fixadores de N associado às plantas.	Amarelamento das folhas e diminuição no crescimento, por diminuição da fixação de N. Apenas aplicação de Mo em soja, não tem mostrado efeitos positivos sobre a nodulação.
<b>Ni</b>	Participa de enzima importante para mobilização de compostos nitrogenados na germinação de sementes.	Não germinação de sementes; acumulação de ureídeos (moléculas transportadoras de N) nas folhas.
<b>Co</b>	Necessário às bactérias que fixam N do ar. A aplicação de Co + Mo no tratamento das sementes de feijão faz crescer fortemente a produção. Aumento da quantidade de N fixado por nódulo, no N total dos grãos e no rendimento de grãos de soja. Aumenta a vida útil das rosas depois de colhidas. Reduz a má formação de flores aumentando a produção da mangueira.	Aplicações de Co em soja, quando feitas individualmente, não têm mostrado efeitos positivos sobre a nodulação.
<b>V</b>	Aumento da produção e qualidade da fibra de algodão com aplicações foliares.	Redução na produtividade e na qualidade da fibra.
<b>B</b>	Influência no crescimento celular.	Vagens vazias (amendoim), pecíolos fendidos, morte de gemas terminais (algodoeiro) e panículas com poucos grãos (trigo), entre várias outras.
<b>TR</b>	Maior produtividade pelo aumento da atividade enzimática e redução do conteúdo de nitrato e sais nitrosos.	Menor rendimento de certas culturas.

demonstrou uma pesquisa realizada em sete países da Europa. De acordo com a pesquisa, a qualidade foi considerada o fator mais importante na aceitação de um produto, seguindo-se, preço, reputação/marca e frescor (Figura 2.1).



**Figura 2.1** - Importância relativa na escolha de um produto

Hammer (1999), citado por Krauss (2000 b), chama a atenção para o fato de:

*"in order to be a successful food exporter, a country must produce foods that are both sought after and be acceptable in quality. Compliance with the statutory, compulsory or mandatory requirements of importing countries is an unavoidable and essential prerequisite".*

A qualidade dos alimentos deve englobar propriedades nutritivas, higiênicas, funcionais, organolépticas e, ainda, compatibilidade ambiental. Para mais detalhes, ver Anexo F.

Mais recentemente se está agregando à questão da qualidade uma nova tendência/desejo/exigência do consumidor: a da responsabilidade social do produtor. O Comércio Justo (*Fairtrade*) está fortemente embutido na Europa. Cresce o número de consumidores dispostos a pagar mais por produtos de qualidade com valor socioecológico agregado e certificado. Estima-se que, no mundo, ele já movimenta 1.142 bilhão de euros, cerca de 3 bilhões de reais (GONDIM, 2007).

Segundo a *Fairtrade Labelling Organization International - FLO* ([www.fairtrade.net](http://www.fairtrade.net)), os consumidores gastaram 1,6 bilhão de Euros em Produtos Certificados *Fairtrade*, o que significa um crescimen-

to de 41% em relação ao ano anterior: cacão (93%), café (53%), chá (41%) e bananas (31%).

## 2.4 Rochagem: remineralização natural dos solos

Rochagem, remineralização e pó-de-rocha (*rock-for-crops*) são termos utilizados para designar uma técnica de fertilização natural capaz de contribuir para recompor o perfil de nutrientes necessário a uma agricultura de alta produtividade, associada à qualidade, em solos empobrecidos pelo intemperismo/lixiviação ou pelo seu uso inadequado e intensivo (abusado). É um processo alternativo ou complementar de fertilização, mais indicado para as pequenas propriedades, especialmente na agricultura familiar, que consiste na adição de pó-de-rocha (petrofertilizante) para aumentar a fertilidade dos solos, sem afetar o equilíbrio do meio ambiente.

Podem citar-se como pesquisadores pioneiros da remineralização de solos (SR - da sigla em inglês) o francês M. Missoux e o bioquímico nutricionista alemão Julius Hensel, que divulgaram, no século XIX, trabalhos sobre a utilização de rocha total como fonte de nutrientes. Hensel publicou, em 1880, um livro a que deu o sugestivo título de "*Pão das Rochas*", isto é, proveniente das rochas.

No século XX, anos 30, na Alemanha e Europa Central, foram desenvolvidas várias pesquisas sobre remineralização como processo de fertilização de liberação lenta, utilizando diversos materiais. Atualmente, são as universidades de Kessel (Alemanha) e Guelph (Canadá)<sup>21</sup> que se mostram mais ativas nas pesquisas sobre remineralização ([www.remineralize.org](http://www.remineralize.org) - acesso em 21/09/07).

Cite-se, a título de curiosidade, que, em 1962, em Angola, o Instituto de Investigação Científica de Angola (IICA) e o Instituto de Investigação Agronômica de Angola (IIAA) realizaram testes de remineralização de solos com rocha carbonatítica do complexo carbonatítico de Bonga.

No Brasil, foram realizadas experiências com vários tipos de rocha, em solos lateríticos fortemente lixiviados. Os resultados foram muito positivos,

quando se utilizaram rochas ultramáficas (lavas e tufo) e rochas ultrapotássicas de Mata da Corda (MG)<sup>22</sup>.

UnB, Embrapa e CETEM deram continuidade a este campo de pesquisa. Citem-se como exemplos, os projetos:

- *Fertilização da terra pela terra: uma alternativa de sustentabilidade para o pequeno agricultor rural* desenvolvido pelo Centro de Desenvolvimento Sustentável da UnB.
- *Pó-de-Rocha - custo comparativo do pó-de-rocha e fertilizantes convencionais*, estudo da Embrapa Cerrados.
- *Caracterização e cinética de dissolução de minerais de rochas como fontes de K, Ca, Mg e Si*, também desenvolvido pela Embrapa Cerrados.
- *Avaliação de rochas brasileiras como fontes alternativas de nutrientes para a agropecuária* (Embrapa).
- *Desenvolvimento de novas fontes e rotas tecnológicas para obtenção de fertilizantes potássicos* - ampla abordagem financiada pelo CT-Mineral e desenvolvida por 17 centros de pesquisa (sendo dez da Embrapa), incluindo o CETEM, UnB, UFSCAR, UFBA e EBDA.
- *Carbonatitos como fonte alternativa na adubação de solos* - convênio Embrapa/UnB com a participação do CETEM.
- *Carbonatitos ricos de flogopita/vermiculita de Catalão (GO), como fontes de nutrientes na agricultura* - Embrapa, UnB e CETEM.

Nesta linha de pesquisa CETEM e Embrapa também estão a realizar estudos com rejeitos do concentrado fosfático de Angico dos Dias (BA/PI) resultantes da separação magnética do minério.

Lembra-se que, no Paraná e em São Paulo, são comercializados materiais fertilizantes à base de pó-de-rocha de basaltos<sup>23</sup>.

Aspectos da Rochagem s.l., envolvendo não só a remineralização mas também a calagem de solos são desenvolvidas nos capítulos 5, 12, 14 e 15 deste livro.

## 2.5. Plantas perenes: gerenciamento da água, solos e ciclos de carbono

O homem neolítico começou a colher plantas com sementes e, para garantir continuidade mais sedentária, replantava as sementes, selecionando provavelmente as que apresentavam qualidades mais desejáveis, isto é, alto rendimento, debulha fácil e resistência. "Assim o cultivo ativo e a pressão da seleção evolutiva resultaram rapidamente em plantas anuais domesticadas com qualidades mais atraentes" (GLOVER, COX e REGANOLD, 2007).

Nos anos 70, século XX, o geneticista de plantas West Jackson desenvolveu estudo comparativo entre a agricultura industrial atual e o crescimento natural da vegetação há 10 mil anos, quando plantas perenes dominavam quase todas as paisagens do planeta. Observou que as gramíneas e as flores perenes das pradarias do Kansas eram altamente produtivas ano após ano, formavam solos ricos e mantinham-nos. Não precisavam de fertilizantes ou herbicidas para prosperar e afastavam naturalmente pragas e doenças. A água nos solos da pradaria era cristalina e a vida selvagem, abundante. Já os campos próximos, cultivados com plantas anuais como milho, trigo, sorgo, girassol e soja exigiam cuidados, freqüentes e caros, para permanecerem produtivos (CANINE, 2005 in GLOVER, COX e REGANOLD, 2007).

Com suas raízes normalmente mais profundas que dois metros, as comunidades de plantas perenes são reguladoras-chave de funções do ecossistema, tais como: o gerenciamento da água e dos ciclos de carbono e nitrogênio.

No cultivo das plantas perenes, o custo com herbicidas pode ser 4 a 8,5 vezes menor do que com as anuais. A vida selvagem também se beneficia e, além disso, as plantas perenes podem ser cultivadas de forma sustentável em terras marginais que, ou já possuem solo pobre, ou que seria esgotado em poucos anos de cultivo intensivo de plantas anuais.

Em estudo que durou um século sobre os fatores que afetam a erosão do solo, a grama-timóteo, uma variedade de capim perene, provou ser cerca

de 54 vezes mais eficaz na manutenção da camada superior do solo do que as plantas anuais, além de promover uma redução de cinco vezes na perda de água e de 35 na de nitrato, em solo plantado com uma mistura de alfafa e gramíneas perenes, em comparação com solo cultivado com milho e soja (GLOVER, COX e REGANOLD, 2007).

Segundo estes autores, melhoristas de plantas e desenvolvedores de culturas perenes dos EUA e de outros países, iniciaram, nos últimos cinco anos, pesquisas com trigo, sorgo, girassol, *Thinopyrum intermedium* (um tipo de trigo-grama) e com outras espécies, para o desenvolvimento de plantas perenes de grãos. Estão a empregar basicamente os mesmos dois métodos usados por muitos outros cientistas agrícolas: domesticação direta de plantas silvestres e hibridação das plantas existentes de cultura anual com as suas parentes silvestres.

Avanços significativos no melhoramento de plantas tornarão viável o desenvolvimento, em grande escala, de culturas perenes de grãos, altamente produtivas, nos próximos 25 a 50 anos. A domesticação do *Thinopyrum intermedium*, um parente perene do trigo, é talvez a que esteja no estágio mais avançado. Estabelecer agora as raízes de uma agricultura baseada em culturas perenes daria aos agricultores do futuro mais opções, sobre o que cultivar e onde (COX *et al.*, 2006; GLOVER, COX e REGANOLD, 2007; JORDAN *et al.*, 2007).

## 2.6. Fertilizantes, biocombustíveis e OGMs

Esperam-se grandes mudanças na produção agrícola, principalmente na área dos biocombustíveis, e no perfil e quantidade do consumo de alimentos, o que irá refletir num maior volume e especificidade no uso de fertilizantes.

O caso da cana-de-açúcar é bem elucidativo. No Brasil, a área plantada passou de 5,62 Mha, em 2005, para 7,04 Mha, em 2006; a área colhida, de 5,76 Mha para 6,19 Mha e a produção, de 419,56 Mt para 457,98 Mt.

Lembra-se, por outro lado, que para se obterem bons rendimentos no cultivo da cana é necessária

aplicação anual de até 130 kg/ha de nitrogênio, de 90 kg/ha de  $P_2O_5$  e de 340 kg/ha de  $K_2O$  (IPI - Boletim nº 14, 1999), dado que a maior parte destes nutrientes é exportada ou removida a cada colheita. Potássio, o nutriente a ser aplicado em maior quantidade, é um dos elementos-chave, pela função que desempenha na conversão do  $CO_2$  atmosférico em açúcar e na sua transferência das folhas para o caule.

Como simples exercício de avaliação do volume total de potássio necessário para a atual área plantada de cana-de-açúcar (7,04 milhões de hectares, segundo o IBGE), com uma aplicação média de 300 kg/ha de  $K_2O$ , conclui-se que seriam necessárias mais de 2,1 milhões de toneladas por ano<sup>24</sup>, só de potássio. Para se duplicar a produção de etanol a partir da cana-de-açúcar, o que deverá acontecer nos próximos seis anos, segundo pesquisa realizada por JANK, RODRIGUES e AMARAL (2007)<sup>25</sup>, o consumo de fertilizantes deve aumentar fortemente (Tabela 2.3).

Há sete dezenas de países, mais exatamente 76, dos quais 31 estão em África, com clima apropriado para cultivar a cana-de-açúcar. Nos EUA, os estados da Flórida, Louisiana, Texas e o Havaí são importantes produtores, embora atualmente sua indústria esteja direcionada para a produção de açúcar. Não esquecer também que os países da América Central e Caribe (incluindo Cuba), também já são produtores de cana.

Hoje quase todos os fatores são favoráveis ao Brasil no campo do etanol, em especial os custos de produção, como pode ser constatado na Tabela 2.4, elaborada por Henniges (ROCHA e CORTEZ, 2005).

É importante que o Brasil não perca a dianteira que tem atualmente na indústria do álcool. Não deve ser esquecido o que aconteceu com a borracha (látex), além do fato de haver vários países produtores de cana com capacidade tecnológica.

No final de 2005, na III Conferência de Ciência, Tecnologia e Inovação, realizada em Brasília, Alan MacDiarmide, Prêmio Nobel de Química, afirmou que: "*o Brasil tem vantagem tecnológica em*

etanol, mas pode perdê-la em, no máximo, três anos" (Inovação/UNICAMP, 2005). Referiu-se ainda, citando um relatório do Departamento de Energia dos Estados Unidos, que: "a capacidade de usar a gama completa de material celulósico que vai, da grama às árvores e aos resíduos de papel, daria possibilidade à produção de etanol poder atender toda a demanda atual de gasolina nos EUA".

Em relação à indústria brasileira do álcool surgiu recentemente uma boa notícia quanto à possibilidade de aumento da sua produtividade. Uma empresa brasileira de melhoramentos genéticos já está a testar uma espécie transgênica de cana-de-açúcar que poderá conter até 80% mais sacarose, o que, a confirmar-se, iria aumentar a produção de álcool na mesma proporção.

Porém, ficam em aberto as questões: (i) de quanto deverá ser o aumento na aplicação de fertilizantes para fazer face à maior produtividade e, em consequência, ao maior consumo de nutrientes; (ii) qual será a proporção N:P:K e (iii) qual a magnitude da calagem para otimização da produtividade da nova variedade de cana-de-açúcar.

Outro fator que poderá influenciar o rendimento da cana-de-açúcar é a possibilidade de produção econômica de álcool a partir de folhas e bagaço - álcool celulósico. O álcool celulósico poderá elevar a produtividade dos canaviais ao utilizar a palha que hoje se queima com danos ambientais.

Os EUA e outros países estão dominando a hidrólise enzimática, processo de quebra da celulose para produzir açúcares e enzimas que podem fermentar, originando etanol. A esse respeito MacDiarmide foi categórico: "o país que liderar o processo terá um produto muito valioso" (Inovação/UNICAMP, 2005).

O processo de geração de álcool celulósico já existe em laboratório, mas ainda não é econômico. Os EUA investem fortemente em pesquisa neste campo, dado que os atuais 20 bilhões de litros de consumo de álcool poderão ultrapassar 130 bilhões, até 2017.

Estão construindo três centros de pesquisa, com capital de 125 milhões de dólares cada, que envolverão universidades, laboratórios e companhias privadas, com o objetivo de trazer novas

**Tabela 2.3** - Produção mundial de álcool, em 2006, e projeção para 2012 em bilhões de litros (10<sup>9</sup> l)

Ano	EUA	Brasil	China	UE	Índia	Rússia.	Tailând.	Áfr. Sul	Colômbia
2006	18,5	17,4	3,8	3,1	2,0	0,8	0,4	0,4	0,3
2012	54,1	35,4	5,1	6,0	2,1	0,9	2,8	0,5	1,9

Ano	Ucrânia	Argentina	Austrália	Indonés.	Canadá	Turquia	Japão	Outros	TOTAL
2006	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	1,8	49,8
2012	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,1	3,3	123,7

Fonte: ICONE, 2007.

**Tabela 2.4** - Custos de produção do etanol nos EUA, Alemanha e Brasil (em €/hl)<sup>26</sup>

Item	EUA	Alemanha		Brasil
	Milho	Trigo	Beterraba	Cana-de-açúcar
Prédios	0,39	0,82	0,82	0,21
Equipamentos	3,40	5,30	5,30	1,15
Mão-de-obra	2,83	1,40	1,40	0,52
Seguros, taxas e outros	0,61	1,02	1,02	0,48
Matéria-prima	20,93	27,25	35,10	9,80
Outros custos operacionais	11,31	18,68	15,93	2,32
Custo de produção total	39,48	54,96	59,57	14,48
Venda de subprodutos	-6,71	-6,80	-7,20	---
Subsídios federal e estadual	7,93	---	---	---
Custo de produção líquida	24,84	48,16	52,37	14,48

Fonte: Rocha e Cortez, 2005.

tecnologias ao mercado dentro de cinco anos. Os Centros de Bioenergia terão como alvo encontrar "micróbios" que quebrem naturalmente a linhina para dar acesso à celulose. "Ela pode ser convertida em etanol ou qualquer outro combustível líquido, como butanol e biodiesel". Os procedimentos atuais são caros.

*"O setor de pesquisa dos EUA conta com mais garra e gordura para gastar do que dezenas de Embrapas. Se a gazela [Brasil] saiu na frente produzindo com mais eficiência o álcool de cana, é só em aparência que o leão [EUA] dorme, digerindo seu milho subsidiado. Em silêncio, o felino arma o bote do etanol de celulose. Deixará a cana e o milho num chinelo, pois pode ser fabricado com qualquer resíduo vegetal, até com capim" (LEITE, 2007).*

Os referidos Centros também irão trabalhar na criação de novas plantas que produzam linhina, uma substância mais fácil de lidar ([www.checkbiotech.org](http://www.checkbiotech.org) - acesso em 26/06/07).

Outro setor agrícola que vai apresentar grande crescimento em países como o Brasil, é o das oleaginosas com aplicação no fabrico de biodiesel: dendê, mamona, macaúba, babaçu, canola<sup>27</sup> (muito usada na Alemanha e na França).

Suas produtividades são muito variáveis. Apresentam os seguintes valores, em kg/ha, de óleo: dendê (5.000), macaúba (3.775), mamona (1.188), canola (1.000), muito superiores se comparadas às da soja (375) e do milho (145) (ROCHA e CORTEZ, 2005).

Ainda segundo os mesmos autores, os custos do biodiesel são fortemente dependentes do custo da matéria agrícola: cerca de 80% (no caso do etanol representam 60%). O preço atual é elevado e deverá ser reduzido para o tornar mais competitivo.

A Bioware Tecnologia / UNICAMP apresenta os seguintes preços:

- Biodiesel de soja: US\$ 300 a 380/m<sup>3</sup> (em São Paulo e Paraná), US\$ 770 a 830/m<sup>3</sup> (no Brasil Central);
- Biodiesel de mamona: US\$ 800/m<sup>3</sup>;
- Biodiesel de babaçu: US\$ 720/m<sup>3</sup>.

Atualmente já há forte consumo de biodiesel, principalmente na União Européia (6,5 bilhões de litros), com destaque para a Alemanha, e nos EUA (1,4 bilhões de litros) (Tabela 2.5).

O Brasil pulou na frente em tecnologia de produção de biocombustíveis, graças ao Programa do Álcool das décadas 70/80, ao fato do biodiesel ter sido inventado por um brasileiro (professor Expedito Parente da UFCE, na década de 70) e a alguns empresários que resolveram apostar na produção de etanol e de biodiesel. Este é o ponto de vista de Carlos Lemgruber, ex-presidente do Banco Central.

No caso do biodiesel, a vantagem comparativa é certamente menor em relação ao etanol. A Europa saiu na frente do Brasil, mas os Estados Unidos estão atrasados cerca de quatro anos. Neste país:

*"ainda predominam pequenas empresas de biodiesel [...] mas é importante registrar que há 115 fábricas em funcionamento e estão sendo construídas mais 80, quadruplicando a capacidade produtiva em três anos. [...] Estados Unidos, Canadá, Malásia, Indonésia, países africanos - todos vão produzir etanol, biodiesel e bioquerosene" (LEMGRUBER, 2007).*

Quanto às previsões pessimistas de subida dos preços dos produtos alimentares:

*"devido à recente explosão na produção de biocombustíveis, é óbvio que pode haver algum aumento a curto prazo principalmente se os EUA e a UE insistirem em produzir enormes volumes de biocombustíveis com matérias-primas caras e de baixas produtividades e conversão energética, como*

**Tabela 2.5** - Consumo mundial de biodiesel e projeção para 2012, em bilhões de litros (10<sup>9</sup> l)

Ano	UE	EUA	Malásia	Indonés.	Índia	China	Argent.	Brasil	Outros	TOTAL
2006	6,5	1,4	0,2	0,2	0,2	0	0	0	0,9	<b>9,4</b>
2012	14,9	5,2	7,4	4,9	1,5	5,1	4,7	2,0	1,0	<b>46,7</b>

Fonte: ICONE, 2007.

o milho e o óleo de canola" (JANK, RODRIGUES e AMARAL, 2007).

## 2.7. Produção e consumo mundial de fertilizantes

O uso de fertilizantes começou a intensificar-se na segunda metade da década de 40, após a II Guerra Mundial, mas, em 1960/61, o consumo mundial ainda era de apenas 30 Mt. Hoje é superior a 154 Mt.

Em 2005/06, a produção mundial de matéria-prima para a indústria dos fertilizantes N-P-K foi de 376,28 Mt. A do Brasil, de 4,19 Mt (Tabela 2.6).

Verifica-se na Tabela 2.6 que o Brasil ocupa, como produtor de matérias-primas para fertilizantes, posição muito modesta no contexto mundial, sendo, no entanto, o 4º maior consumidor.

O consumo mundial de N-P-K atingiu 154,07 Mt em 2005/06, como foi referido. Manteve-se estacionário em relação ao ano anterior (154,77 Mt), mas teve um aumento de 413% entre 1960/61 e 2005/06 (Tabelas 2.7 e 2.8), muito maior nos países em

desenvolvimento (27,7 vezes) do que nos desenvolvidos (1,8 vez).

A Tabela 2.7 mostra o diferente aumento do consumo dos macronutrientes, individualmente e em conjunto, entre 1960/61 e 2005/2006: N (8,4 vezes), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (3,4 vezes) e K<sub>2</sub>O (3,1 vezes). Estes valores ficam mais claros ao ser considerada a razão de consumo entre 'Países Desenvolvidos' e 'Países em Desenvolvimento', que, de 6,74, em 1960/61, passou a ser de 0,69, em 1995/96, e de 0,43, em 2005/06, mesmo incluindo-se a África, que apenas aumentou o seu consumo em 4,9 vezes naquele período de 45 anos.

Considerando ainda o consumo de fertilizantes por região também se verificam diferenças sensíveis (Tabela 2.8).

Entre 1960/61 e 2005/06, foi na Ásia (55,8 e 45,1 vezes na Ásia Meridional e Oriental, respectivamente) e na América Latina (14,9 vezes) que o consumo de fertilizantes mais cresceu, e na Europa onde menos aumentou (1,3 vez).

**Tabela 2.6** – Produção de matérias-primas para a indústria de fertilizantes (10<sup>6</sup>t)

Itens	Produção Mundial	Produção Brasileira	% <sup>(*)</sup>
Amônia (t de N)	119,47	1,31	1,10
Concentrado fosfático	155,31	2,06	1,33
Potássio (t de K <sub>2</sub> O)	32,79	0,42	1,28
Total enxofre: elementar (47,03 Mt), piritita (5,35 Mt), outros (16,33 Mt)	68,71	0,40	0,11
<b>Total</b>	<b>376,28</b>	<b>4,19</b>	<b>1,11</b>

<sup>(\*)</sup> Percentual da produção brasileira em relação à mundial.

**Tabela 2.7** – Consumo mundial de nutrientes (10<sup>6</sup> t)

Ano	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N + P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + K <sub>2</sub> O		
				Mundo	P. D. <sup>(a)</sup>	P.E.D. <sup>(b)</sup>
1960/61	10,83	10,73	8,48	30,03	26,16	3,88
1970/71	31,75	21,11	16,29	69,15	55,58	13,57
1975/76	43,90	25,78	21,42	82,12	63,43	18,19
1980/81	60,78	32,03	24,39	117,20	78,17	39,03
1985/86	70,37	33,47	25,63	129,47	82,36	47,11
1990/91	77,56	36,07	24,61	138,24	72,84	65,40
1995/96	78,07	80,94	20,55	129,56	52,93	76,63
2000/2001	81,19	32,48	21,86	135,56	51,27	84,29
2005/2006	90,86	36,78	26,44	154,07	46,67	107,40
Aumento 1961 – 2005	739%	242%	212%	413%	78%	2.768%

Fonte: IFA/Statistics.

<sup>(a)</sup> P.D. - Países Desenvolvidos; <sup>(b)</sup> P.E.D. – Países em Desenvolvimento

**Tabela 2.8 – Variação decenal do consumo de macronutrientes, por região, em Mt**

Regiões	1960/61	1970/71	1980/81	1990/91	2000/01	2005/06	% (*)
Europa Ocidental (a)	10,97	18,32	21,71	19,96	15,98	14,06	28,17
Ex-URSS (**) (b)	2,62	10,31	18,75	21,55	3,88	4,21	60,69
Europa Central (c)	0,76	2,74	4,18	3,35	2,29	3,80	500,00
América do Norte (d)	7,44	16,37	23,43	20,66	21,34	21,33	186,69
América Latina (e)	0,99	2,91	7,42	7,99	12,22	14,72	1.486,87
África (f)	0,52	1,25	2,55	2,56	2,54	2,59	498,08
Ásia Meridional (g)	0,47	2,82	7,24	15,65	21,36	26,21	5.576,60
Ásia Oriental (h)	1,05	4,51	16,19	28,26	36,99	47,34	4.508,57
Mundo	30,03	69,15	117,20	138,24	135,56	154,07	413,05

Fonte: adaptado de IFA/Statistics – acesso em 04/06/07

(\*) Percentagem de aumento do consumo entre 1960/61 e 2005/6.

(\*\*) Ex-URSS, Europa do Leste e Ásia Central.

- (a) Europa Ocidental: Alemanha, Áustria, Bélgica/Luxemburgo, Dinamarca, Espanha, Finlândia, França, Grã-Bretanha, Holanda, Grécia, Islândia, Irlanda, Itália, Noruega, Portugal, Suécia, Suíça.
- (b) Ex-URSS, Europa do Leste e Ásia Central: Armênia, Azerbaijão, Bielorrússia, Estônia, Federação Russa, Geórgia, Cazaquistão, Quirguistão, Letônia, Lituânia, Moldávia, Tadjiquistão, Turcomenistão, Ucrânia, Uzbequistão.
- (c) Europa Central: Albânia, Bulgária, República Tcheca, Eslováquia, Hungria, Polônia, Romênia, Bósnia/Erzegovina, Croácia, Macedônia, Eslovênia, Iugoslávia.
- (d) América do Norte: Canadá, EUA.
- (e) América Latina: México e países da América Central e do Sul e Caribe.
- (f) África: África do Sul, Argélia, Camarões, Costa do Marfim, Egito, Etiópia, Líbia Marrocos e Mauritània, Nigéria, Quênia, Senegal, Sudão, Tanzânia, Tunísia, Zâmbia, Zimbábue.
- (g) Ásia Meridional: Afeganistão, Bangladesh, Índia, Nepal, Paquistão, Sri Lanka.
- (h) Ásia Oriental: China, Coréia do Norte, Vietnã.

Com um crescimento de 4.839%, entre 1960/61 e 2005/06, os países da Ásia, em conjunto, consomem atualmente mais de 50% dos macronutrientes produzidos no mundo.

## 2.8. Produção, importação e consumo de fertilizantes no Brasil

Na Tabela 2.6 mostrou-se a posição modesta que o Brasil ocupa como produtor de fertilizantes e na Tabela 2.9 pode-se verificar que o País é o 4º maior consumidor mundial, o que o transforma em grande importador.

O Brasil, devido à dimensão da sua produção agrícola, às características dos seus solos e à insuficiente produção doméstica de potássio, fósforo e compostos nitrogenados, é um dos grandes importadores mundiais de fertilizantes. Em 2005, foram mais de 15,3 milhões de toneladas, (3,2 Mt matérias-primas e 12,1 Mt de produtos intermediários), como se mostra na Tabela 2.10.

A partir de 1998, o volume das importações de fertilizantes ultrapassou o da produção interna. Na realidade, a produção brasileira, embora elevada, vem-se revelando, cada vez mais, insuficiente para satisfazer o consumo interno de nutrientes (Tabelas 2.10 e 2.11).

Esta situação tende a se gravar, cada vez mais, pelo aumento das elevadas taxas de crescimento da agricultura e pela modesta posição que o País ocupa, quando se considera o consumo de nutrientes por hectare (Tabela 2.11).

Os estudos de Yamada e Scheid Lopes mostraram que:

*"somando-se o déficit entre entrada de N no solo, na forma de fertilizante, e a sua saída, como produto colhido, com N imobilizado na matéria orgânica [do solo] pode-se estimar com grande probabilidade de acerto que há déficit de mais de um milhão de toneladas de N na agricultura brasileira"* (YAMADA, 2002).

**Tabela 2.9** – Consumo de fertilizantes, por país, em milhares de toneladas de nutrientes N-P-K.

PAÍS	Consumo (10 <sup>3</sup> t)		Participação (%)		Variação Ano Anterior (%)	
	2000	2006	2000	2005	2000/1999	2006/2005
China	35.288	47.732	25,5	30,30	1,8	1,6
EUA	19.564	19.468	13,9	12,4	-0,4	1,1
Índia	18.070	20.141	12,8	12,8	7,6	7,5
<b>Brasil</b>	<b>5.875</b>	<b>8.906</b>	<b>4,2</b>	<b>5,7</b>	<b>0,4</b>	<b>4,5</b>
França	4.753	3.728	3,4	2,4	-1,7	-1,2
Alemanha	3.054	2.545	2,2	1,6	3,9	-0,6
Paquistão	2.834	3.926	2,0	2,5	9,9	3,6
Indonésia	2.736	2.600	1,9	2,4	0,3	4,1
Canadá	2.689	2.543	1,9	1,6	1,5	0,1
Austrália	2.353	2.302	1,7	1,5	4,6	1,7
Espanha	2.319	1.070	1,6	1,3	-2,0	6,7
Turquia	2.203	2.063	1,6	1,3	1,0	-0,2
Vietnã	2.057	2.640	1,5	1,7	10,8	2,9
Reino Unido	2.044	1.608	1,5	1,0	-1,8	-0,9
Tailândia	1.803	1.735	1,3	1,1	10,1	17,6
Itália	1.790	1.343	1,3	0,9	2,4	-2,5
México	1.776	1.722	1,3	1,1	-1,6	-0,3
Polônia	1.526	1.688	1,1	1,1	-2,0	2,2
Japão	1.438	1.320	1,0	0,8	1,3	-1,1
Bangladesh	1.366	1.710	1,0	1,1	16,7	6,3
Malásia	1.324	1.535	0,9	1,0	-5,8	2,3
Irã	1.268	1.494	0,9	1,0	0,0	3,6
Egito	1.171	1.636	0,8	1,0	0,6	3,7
Federação Russa	1.132	1.600	0,8	1,0	-10,4	4,7
Argentina	--	1.466	--	0,9	--	18,2
Nova Zelândia	--	979	--	0,6	--	1,9
Outros	19.537	15.619	13,9	9,9	0,0	1,0
<b>Total</b>	<b>138.031</b>	<b>157.301</b>	--	---	--	--

Fonte: ANDA, 2001 e 2006.

**Tabela 2.10** – Importação de matérias-primas e de produtos intermediários para fertilizantes, em milhares de toneladas

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Produtos Intermediários (t x 10 <sup>3</sup> )							
Total Produtos (A)	10.301	9.773	10.491	14.683	15.424	11.723	12.102
Nitrogênio <sup>(a)</sup>	1.262	1.080	1.776	1.782	1.694	1.430	1.490
Fósforo <sup>(b)</sup>	1.120	1.151	1.297	1.857	2.102	1.297	1.326
Potássio <sup>(c)</sup>	2.567	2.526	2.692	3.603	3.942	3.093	3.122
Matérias-Primas (t x 10 <sup>3</sup> )							
Total Produtos (B)	2.646	2.607	2.805	3.080	3.764	3.234	3.231
Nitrogênio <sup>(d)</sup>	203	246	188	229	160	194	207
Fósforo <sup>(e)</sup>	257	250	250	328	452	331	339
Ácido Fosfórico <sup>(f)</sup>	91	57	48	73	90	32	17
Enxofre	1.340	1.386	1.526	1.534	1.598	1.567	1.540
Ácido Sulfúrico	356	220	339	347	495	491	459
Total Geral (t x 10 <sup>3</sup> )							
(A) + (B)	12.947	12.380	13.296	17.763	19.368	14.957	15.333
Nitrogênio	1.465	1.326	1.364	2.011	1.854	1.624	1.697
Fósforo	1.377	1.401	1.548	2.185	2.554	1.627	1.665
Potássio	2.567	2.527	2.692	3.603	3.942	3.093	3.122

Fonte: ANDA, 2001 e 2006.

<sup>(a)</sup> Nitrogênio contido em: uréia, sulfato de amônio, nitrato de cálcio, fertilizantes complexos, superfosfato simples amoniado, fosfato monoamônio.

<sup>(b)</sup> Fósforo contido em: superfosfato simples, superfosfato simples amoniado, superfosfato triplo, fosfato de monoamônio, fosfato de diamônio.

<sup>(c)</sup> Potássio contido em: cloreto de potássio, sulfato de potássio, salitre de potássio, nitrato de potássio.

<sup>(d)</sup> Amônia anidra (produto), nitrogênio.

<sup>(e)</sup> Ácido fosfórico (produto), fósforo.

<sup>(f)</sup> Enxofre.

Segundo o mesmo autor, comparando-se a proporção dos nutrientes N:P:K e deixando como valor unitário o potássio, verifica-se que a agricultura americana consome 3,5 vezes mais N do que a brasileira.

No capítulo 1 deste livro, Scheid Lopes e Guimarães Guilherme indicam déficits de 860 t para o nitrogênio, 515.000 para o fósforo e 324.000 para o potássio, ou seja, cerca de 30% das necessidades do País na agricultura.

Além do potássio, do fósforo e dos compostos de nitrogênio, em 2005, houve necessidade de se importarem 1,6 Mt de enxofre, substância largamente utilizada direta ou indiretamente na agricultu-

ra. O consumo de enxofre está ligado, predominantemente, à produção do ácido sulfúrico, necessário ao fabrico do ácido fosfórico para fertilizantes, operação em que se consome 70 a 80% do total do ácido sulfúrico produzido no País.

É fácil compreender a grande necessidade de fertilizantes e calagem no Brasil, não só pela dimensão da área agrícola, mas também porque somente 9% dos solos não possuem limitações relevantes para a produção agrícola, ou seja, apresentam boa reserva de nutrientes, boa drenagem, teor de água que atenda ao ciclo das plantas, boas propriedades físicas (estrutura e textura entre outras) e não são ácidos (EMBRAPA, 2002).

**Tabela 2.11** – Consumo anual de fertilizantes por hectare agrícola e por habitante

País	Consumo de Nutrientes (kg/ ha)	População (milhões)	Consumo (kg/habitante)
1-Malásia	673,5	20,6	58,25
2-Holanda	604,0	15,6	(a)
3-Reino Unido	386,0	58,1	39,86
4-Japão	376,2	125,3	12,01
5-China	367,2	1.232,0	27,36
6-Egito	349,3	63,2	18,67
7-França	262,8	58,3	85,57
8-Vietnã	248,8	75,2	20,53
9-Alemanha	244,2	81,9	34,88
10-Itália	201,7	57,2	31,73
11-Espanha	144,7	39,3	54,82
12-Indonésia	120,1	200,4	11,27
<b>13-Brasil</b>	<b>120,0</b>	<b>161,8</b>	<b>33,94</b>
14-EUA	114,1	269,4	75,00
15-Bangladesh	114,0	120,0	8,93
16-Paquistão	108,5	140,0	19,00
17-Polônia	108,4	38,6	41,55
18-Índia	97,5	944,6	17,14
19-Tailândia	84,0	58,8	25,15
20-Turquia	75,1	61,8	29,53
21-México	63,0	92,7	15,70
22-Irã	59,8	70,0	17,28
23-Canadá	59,3	29,7	91,51
24-Austrália	47,0	18,1	120,66
25-Federação Russa	12,3	148,1	10,46

Fonte: ALBUQUERQUE, 2000.

(a) A Holanda consumiu 741 e 602 kg/ ha de N – P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – K<sub>2</sub>O em 1987/88 e 1990/91, respectivamente.

**Tabela 2.12** – Produção, importação, estoques e total de entregas ou consumo efetivo de nutrientes, no Brasil, em milhares de toneladas (10<sup>3</sup> t)

Ano	Produção	Importação	Estoque inicial (*)	Estoque final (*)	Total entregas	Consumo efetivo (*)
2006	8.778	12.102	2.895	2.292	20.982	---
2005	8.543	11.723	3.603	2.895	20.195	---
2004	9.734	15.424	2.473	3.603	22.767	---
2003	9.240	14.679	2.171	2.473	---	22.356
2002	8.071	10.491	2.989	2.171	---	19.164
2001	7.597	9.773	3.085	2.989	---	17.179
2000	7.985	10.301	1.911	3.085	---	16.322
1995	6.686	4.768	1.163	1.217	---	10.839
1990	5.393	2.930	1.205	1.120	---	8.325

Fonte: ANDA, 1990 a 2006.

(\*) Da indústria.

Na Tabela 2.12 apresenta-se uma síntese da movimentação de fertilizantes no Brasil.

É consenso geral que o Brasil necessita criar condições de formação de grandes saldos na balança comercial para equilibrar as suas finanças. Poderá consegui-lo pela conjunção de duas variáveis: aumento das exportações com maior valor agregado e redução das importações, o que exigirá a implantação/desenvolvimento de projetos/tecnologias que utilizem predominantemente bens existentes no País, dentro de uma política consistente de sustentabilidade.

Apesar de o Brasil ter produzido 3,1 Mt e importado 5,9 Mt de nutrientes N-P-K, em 2006, persiste um forte déficit na agricultura nacional, como foi referido.

### 3. Agricultura e demanda de fertilizantes no Brasil

Um dos fatos mais marcantes da evolução da ciência agrária no Brasil foi certamente a criação da Escola de Agronomia. A Imperial Estação Agronômica, atual Instituto Agronômico de Campinas (IAC), foi instalada por Dom Pedro II. Comemorou, em 2007, seus 120 anos ("nasceu" em 26/06/1887). O IAC carrega uma parte importante da história viva da agricultura brasileira. Suas pesquisas pioneiras abriram as portas do progresso tecnológico. "*80% das variedades de plantas cultivadas no País se originaram das pesquisas do IAC. Cada cultivo por aí carrega um pedacinho da sua história. .../ Para comemorar seu aniversário, vai lançar 20 novas variedades, da cana-de-açúcar ao milho pipoca*" (GRAZIANO, 2007).

No Brasil, até ao final dos anos 60, o crescimento da produção agrícola era sinónimo de aumento das áreas cultivadas, o que acontecia, predominantemente, nas proximidades dos centros urbanos. Antes, no final da Segunda Guerra Mundial (segunda metade da década de 40), já se havia iniciado, porém a modernização da agricultura brasileira, com a passagem gradual do chamado complexo rural para os complexos agroindustriais (CAI).

Data deste período o início do uso de fertilizantes e de tratores na agricultura. O processo de modernização atingiu o seu ápice em meados da década de 60, *iniciando um período (1965-1985) de industrialização da agricultura* (KAGEYAMA E SILVA in CALMANOVICI, 1990).

Constituíram marcos históricos na indústria de fertilizantes nacional, a criação, na Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo, nos anos 20, do Serviço de Estudo e Aproveitamento das Jazidas de Apatita de Ipanema e a solução tecnológica para aproveitamento de mais de 300 milhões de toneladas de rocha, antes era considerada estéril (SOUZA, 1997).

De 1920 até a década de 60, o consumo de fertilizantes era muito restrito, não atingindo 160.000 t/ano de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Por outro lado, a produção nacional mostrava-se sempre crescente passando de 6.000 t/ano, em 1950, para 84.000, em 1966, isto é, a produção interna evoluiu de 12% do consumo, em 1950, para 72%, em 1966. Considerando o período como um todo, verifica-se que o consumo aumentou 130%, enquanto a produção cresceu 13 vezes (1200%) (SOUZA, 1997).

A partir de 1964, os governos militares seguiram uma política desenvolvimentista, com grande reflexo no setor agrícola, o que contribuiu fortemente para a sua modernização, apoiada em programas de pesquisa e extensão rural, criação de órgãos como a Embrapa e a Embrater e expansão da fronteira agrícola para o Centro-Oeste do País.

De 1969 a 1973, período de forte crescimento económico (o PIB aumentou, em média, 11,2% ao ano), foi possível sustentar e incentivar uma forte elevação do consumo de fertilizantes, mesmo com a diminuta produção interna, "*porque a diferença em importações crescentes seria paga com superabundantes divisas estrangeiras disponíveis nessa época*" (KULAI, 1999). O crescimento da produção interna de fertilizantes não acompanhou, porém, o forte aumento da demanda exigindo maior volume nas importações.

Até 1974, ano em que a produção de concentrados fosfáticos foi de 250.000 toneladas (15% das necessidades), o setor dos fertilizantes era dominado por empresas privadas que apenas produziam fertilizantes fosfatados simples, em unidades de pequeno a médio porte e, no que toca aos nitrogenados, por empresa estatal. O potássio era todo importado.

Coincidindo com a crise energética mundial, houve necessidade de se aumentar a produção interna de fertilizantes. Souza (1997) enumerava vários fatos marcantes, acontecidos a partir de 1974, que tinham por objetivo diminuir a dependência externa, destacando-se: i) o Programa Nacional de Fertilizantes e Calcário Agrícola (PNFCA); ii) a criação da Petrofértil, em 1976, a qual incorporou, um ano depois, a Ultrafertil, FAFER e a Nitrofértil; iii) a criação de uma linha de crédito do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico, de US\$ 1,3 bilhões, para investimentos incentivados; iv) a fundação do Instituto Brasileiro de Fosfatos (IBRAFOS); v) a criação do Centro de Estudos de Fertilizantes (CEFER), que executou excelentes estudos no campo dos fertilizantes não tradicionais, nomeadamente termofosfatos. A sua extinção deixou profunda lacuna tecnológica (ALBUQUERQUE, 1995); vi) a capacitação alcançada pelas empresas brasileiras S/A nos projetos básicos de concentração de rocha fosfática; vii) os encontros regulares promovidos pelo IBRAFOS nos quais se reuniam empresários, técnicos das empresas, pesquisadores da Universidade e de Centros de Pesquisas e entidades governamentais.

Como resultado, já em 1979, o consumo de fertilizantes atingia 1,7 milhão de toneladas. Ao longo do período 1975 - 1988, a relação produção/consumo aparente de fósforo passou de 51,40% para 93,01%, segundo Rappel e Loiola (1993), citados por Albuquerque (1997). Em termos exclusivos de rocha fosfática, salvo algumas importações provocadas exclusivamente por logística de transporte, desde 1982 o País tornou-se auto-suficiente.

Calmanovici (1990), apoiado em dados da ANDA (1987), apresenta a periodização do setor de fertilizantes do Brasil, até ao final da década de 80.

#### **Primeira fase: 1950 - 1974**

Representa a fase da estruturação do setor de fertilizantes no País. Nesse período, a produção interna de N-P-K cresceu mais de 80 vezes e o consumo aparente, 20 vezes. De acordo com a ANDA (1987), amplia-se a capacidade de mistura, de armazenagem e de distribuição, operando este segmento misturador com matéria-prima importada, o que determinou o padrão de localização junto aos portos marítimos. Num segundo momento, inicia-se a produção de fertilizantes simples, ainda que utilizando matéria-prima importada.

#### **Segunda fase: 1974 - 1980**

Caracterizou-se por uma acentuadíssima ampliação da oferta interna de fertilizantes. A conjuntura internacional resultou em pesado aumento nos preços dos fertilizantes, devido à primeira crise do petróleo, pressionando a balança de pagamentos.

#### **Terceira fase: 1980 - 1983**

Neste período, o setor viveu momentos de grandes dificuldades em função de crescimentos negativos do consumo aparente de fertilizantes. Essas dificuldades resultaram de novo choque dos preços do petróleo e de uma situação nacional de crise.

#### **Quarta fase: 1984 - 1989**

A taxa de crescimento da demanda passa a ser novamente positiva, cerca de 13% ao ano. No entanto, tanto esta fase como a anterior caracterizam-se pela quase total ausência de novos investimentos no setor. Isto significa que a retomada do consumo deve, a curto ou médio prazo, pressionar o parque instalado além da sua capacidade produtiva, podendo haver, como no passado, grande desembolso de dólares em importações de fertilizantes.

A década de 90 talvez possa ser considerada como a **Quinta Fase** da "Periodização do Setor de Fertilizantes" apresentada por Calmanovici (1990). A

agricultura brasileira cresceu, de forma irregular, com oscilações, até 1995 e, nos últimos cinco anos, de forma contínua, com forte participação dos CAI. Em 2001, o PIB agrícola ultrapassou 87 bilhões de reais, como já foi referido.

É evidente que o consumo de fertilizantes acompanhou essa evolução, embora com eventuais retrocessos, como em 1995, devido à falta de uma política de financiamento para a agricultura.

Como previra Calmanovici em 1990 (*op. cit.*), as importações não deixaram de aumentar (à exceção de 1995), tanto em volume quanto em desembolso de dólares, pela quase total falta de investimentos no setor.

Com efeito, na última década do século XX as importações cresceram, em relação aos produtos intermediários e às matérias-primas para fertilizantes, 212% e 89%, respectivamente. Considerando-se os fertilizantes na sua totalidade, verifica-se que, naquele período, o aumento das importações foi de 189%, em volume, e de 133%, em dólares.

Se atendermos apenas ao período de vigência do real (implantado em julho de 1994), de dezembro de 1994 a dezembro de 2001, verifica-se que as importações passaram de 7,43 Mt para 9,77 Mt (aumento de 31,5%). Em 2006, atingiram 12,1 Mt (15,4 Mt em 2004), isto é, um crescimento de 27,3%, em relação a 2001.

### 3.1. Evolução da agroindústria do Brasil

A MB Associados mostrou, em trabalho desenvolvido para a ANDA, em 1999, que houve nas décadas de 80 e 90, principalmente a partir de 1986, uma redução drástica do volume de recursos direcionados para a agricultura.

*"Enquanto nos anos 70 chegou-se a emprestar mais do que uma vez o PIB agropecuário, atualmente o sistema formal de crédito equivale apenas de 10% a 15% /.../. A Agudeza desta mudança é ainda maior quando se considera que em quase toda a década de 70 os juros cobrados eram negativos, chegando a atingir, em alguns anos, taxas negativas superiores a 30%" (MB Associados/ANDA, 1999).*

Os resultados obtidos no estudo macroeconômico realizado pelas citadas entidades foi resumido numa tabela que reproduzimos (Tabela 3.1).

Tabela 3.1 - Demanda de fertilizantes (em mil toneladas de nutrientes)

Item	1998 <sup>(a)</sup>	2003	2008	Cresc. <sup>(b)</sup>
Produtos Agrícolas	5.557	6.446	7.227	30%
Pastagens	280	889	1.102	507%
Total	5.837	7.335	8.929	53%

<sup>(a)</sup> MB Associados/ANDA.

<sup>(b)</sup> Crescimento 1998 – 2000

As importações de fertilizantes, pelo seu volume, já pesam fortemente, e de forma negativa, na balança comercial do País. Sabe-se, por outro lado, que:

*"...a contribuição para redução mais imediata do déficit em transações teria que vir principalmente da performance da balança comercial, tanto pelo aprofundamento do processo de substituição das importações, como através de uma significativa expansão das exportações. /.../ Neste esforço, o setor agroindustrial deveria ocupar um lugar de destaque, tanto pela competitividade comprovada de alguns produtos em nível internacional, como pelo potencial de expansão que este setor ainda tem" (MB Associados/ANDA, op. cit).*

Segundo a mesma fonte, um obstáculo:

*"...a um crescimento da economia brasileira encontra-se na falta de uma adequada estrutura e dinâmica de financiamento da produção e dos investimentos. /.../ o governo terá que intervir ativamente para enfrentar a questão do financiamento em áreas estratégicas ao processo de crescimento e que, nas atuais condições, podem não vir a ser atendidas pelos agentes financeiros privados".*

Os censos elaborados pelo IBGE revelam bem a importância/dimensão e o crescimento da agricultura nacional. O aumento da produção agrícola brasileira tem-se mostrado muito forte (Tabela 3.2).

**Tabela 3.2** – Desempenho da produção agrovegetal: médias trienais, dos principais produtos de exportação e consumo interno

Indicadores	80/81 a 82/83	83/84 a 85/86	86/87 a 88/89	89/90 a 91/92	92/93 a 94/95	95/96 a 97/98	98/99 a 00/01	01/02 a 03/04	04/05 a 06/07	%*
Produção agrovegetal (10 <sup>3</sup> t) <sup>(a)</sup>	86.830	100.396	116.141	109.480	125.917	131.605	148.786	179.757	196.787	59
Produção de grãos (10 <sup>3</sup> t) <sup>(b)</sup>	49.783	55.710	67.226	59.838	74.348	72.275	87.748	111.615	118.573	76
Área colhida (10 <sup>3</sup> ha) <sup>(a)</sup>	45.303	44.963	51.206	47.189	46.492	43.671	46.379	53.336	57.695	13

Fonte: ANDA/IBGE.

(\*) Percentagem de crescimento

(a) 16 culturas que respondem por cerca de 90% da produção brasileira: herbáceo, amendoim, arroz, banana, batata, cacau, café em grão, cana-de-açúcar, feijão, fumo, laranja, mamona, soja, tomate, trigo.

(b) Cereais e oleaginosas.

Merece destaque especial o crescimento da área de pastagem plantada que, entre 1975 e 1995, aumentou 2,5 vezes enquanto a lavoura progrediu 1,8 vez e estes números seriam, certamente, muito superiores se referidos a 2005/2006.

A expansão da área cultivada deve ser relacionada aos expressivos volumes de crédito concedidos, principalmente nos anos 70. Nesse período, o significativo crescimento da oferta, da ordem de 5% ao ano, resultou muito mais do aumento da área cultivada do que dos ganhos de produtividade, que foram mínimos. Com as restrições de capital<sup>28</sup>, que começaram em meados dos anos 80, as reservas financeiras acumuladas anteriormente, permitiram o desenvolvimento da eficiência produtiva.

*"A redução na disponibilidade de crédito do sistema formal fez com que os agricultores concentrassem seus gastos em fertilizantes, sementes e defensivos com o intuito de elevar a produtividade [...] O fenômeno de aumento da produtividade ocorrida nos últimos anos é a contrapartida de uma intensa redução nos custos médios (ou unitários) de produção. Diversos estudos indicam que ocorreu uma redução de cerca de 60% nos custos de produção das principais lavouras brasileiras entre 1981 e 1994" (MB Associados/ANDA, op. cit).*

Estas entidades esclarecem que uma parcela considerável da redução de custos ficou a dever-se: i) à queda nos preços dos principais insumos agrícolas, à exceção de máquinas; ii) à incorporação do progresso tecnológico desenvolvido nos centros de pesquisa nacionais, com destaque para Embrapa; iii) ao aumento da capacidade administrativa dos agricultores.

### 3.2. Particularidades da indústria brasileira de fertilizantes

Embora o consumo de fertilizantes no Brasil tenha começado em fins do século XIX - início do século XX, a sua aplicação era muito restrita. Recorria-se apenas a adubos orgânicos produzidos por pequenas empresas localizadas nas zonas rurais dos estados de São Paulo e do Rio Grande do Sul. O crescimento agrícola, até aos anos 60, apoiou-se fundamentalmente no aumento das áreas cultivadas (IPT, 1988).

A utilização de fertilizantes minerais foi iniciada, de forma incipiente, no começo dos anos 30, coincidindo com as primeiras tentativas de produção de concentrados a partir da rocha fosfática de depósitos nacionais, operação essa que se associou à produção de superfosfato simples. Foi nes-

te período<sup>29</sup> que a utilização de fertilizantes químicos começou a ser mais efetiva, principalmente com a prática da lavoura introduzida pelos japoneses e com as plantações de algodão (MORAIS REGO, 1938 in KULAIF, 1999).

Nessa época, as empresas existentes importavam fertilizantes mistos, previamente formulados. Com o passar do tempo, as antigas importadoras foram instalando unidades misturadoras para elaboração de suas próprias formulações (KULAIF, *op. cit.*).

Seguiu-se, em 1940, a definição do depósito de apatita de Jacupiranga (SP), em 1942, o de Araxá (MG), em 1946, o do Morro do Serrote/Registro (SP) e, também em 1946, o de Olinda (PE). Este, de origem sedimentar (fosforito), ao contrário dos anteriores, situados em "chaminés" vulcânicas de rochas alcalino-carbonatíticas, produziu cerca de 770 mil toneladas de concentrados, entre 1958 e 1967.

Em 1958 é implantada a Fábrica de Fertilizantes de Cubatão (FAFER) com o objetivo de utilizar o gás da refinaria Presidente Arthur Bernardes da Petrobras. Foi a primeira unidade de síntese de amônia anidra, que produzia também ácido nítrico, nitrato de amônio e nitro-cálcio.

Novas empresas, mais unidades de produção de fertilizantes granulados e de ácido sulfúrico e o início da lavra e beneficiamento do minério fosfático de Araxá, entre 1958 e 1960, vieram a dar nova dinâmica à produção de fertilizantes no Brasil, que teve continuidade nos anos seguintes.

Foi a partir da década de 70, com a criação do Plano Nacional de Fertilizantes e Calcário Agrícola (PNFCA), no âmbito do II Plano Nacional de Desenvolvimento Agrícola - PND (1974-1979), que se criou a primeira política pública para estruturação da indústria e difusão da vantagem e necessidade da aplicação de fertilizantes.

Embora o consumo de fertilizantes crescesse de forma intensa desde os anos 50, a produção fê-lo de forma ainda mais pronunciada, até 1985, ano em que a razão Produção Nacional/Importação atingiu o valor de 1,55. A partir dessa data, tem diminuído acentuadamente.

Pode-se dizer que o Brasil, a partir 2000, passou a importar quase o dobro da quantidade de fertilizantes que produz. Todas as projeções apontam para um agravamento da dependência externa, se não forem implantados novos projetos que utilizem bens minerais nacionais. Continuam sem entrar em produção depósitos já estudados, não se investe em processos inovadores ou novas tecnologias e não se estabelecem programas de prospecção e pesquisa mineral direcionados na busca de matérias-primas para fertilizantes.

Hoje pode-se afirmar que "*a agricultura brasileira está passando por um processo de reestruturação depois da fantástica destruição a que foi submetida desde o início dos anos 90*" (DELFIN NETO, 1997).

Essa reestruturação da indústria agrícola também envolveu a dos fertilizantes, embora de forma mais tímida: melhoraram-se os processos industriais de produção e a rede de transportes, aumentando-se o seu rendimento, facilidade de escoamento e, conseqüentemente, a competitividade do produto brasileiro; implantou-se o importante pólo industrial de Uberaba, criando-se assim o complexo minero-químico de Tapira/Uberaba; aumentou-se, embora timidamente, a produção nos pólos já existentes; instalaram-se novos centros ou empresas misturadoras/comercializadoras de fertilizantes.

Foram, no entanto, medidas insuficientes: as importações de matérias-primas e produtos intermediários continuam a crescer de forma pronunciada e constante, tendo atingido, em 2000, um total de cerca de 13 milhões de toneladas a um custo de 1,7 bilhões de dólares, ou seja, um aumento de 175% em volume e de 155% em divisas, nos anos 90.

Em 2006, o total de importações foi de 17,9 Mt (2,7 bilhões de dólares), correspondentes a 12,4 Mt (US\$ 2,4 bilhões) de produtos intermediários e 5,5 Mt (US\$ 345 milhões) de matérias-primas.

Na análise da evolução das importações de fertilizantes e suas perspectivas futuras, deve-se ainda considerar que:

- apenas 9% dos solos brasileiros não apresentam limitações relevantes para a produção

- agrícola, isto é, aqueles que possuem boa reserva de nutrientes, boa drenagem, boas propriedades físicas e teor de água que atenda ao ciclo produtivo (EMBRAPA, 2002);
- 84% dos solos brasileiros apresentam problemas de acidez (fonte citada);
  - em um hectare de milho, por exemplo, há cerca de 100.000 km de raízes, mas essa enorme extensão está em contato com menos de 1% de solo, o que requer a manutenção da fertilidade do solo em nível alto;
  - no Brasil, o consumo de fertilizantes, por hectare agricultável, é de 120 kg/ha, muito baixo se comparado aos da Malásia (673,5), Holanda (604), Reino Unido (386), Japão (376,2), China (367,2), Egito (349,3), França (262,8), Vietnã (248,8), Alemanha (244,2) e Itália (201,7), mas, mesmo assim, como foi indicado na Tabela 12, pela dimensão da sua área plantada e produção interna de fertilizantes é insuficiente. O Brasil é um dos maiores importadores mundiais, com destaque para o potássio, e o 4º maior consumidor, atrás da China, EUA e Índia e à frente de países como França, Alemanha e Canadá;
  - solos naturalmente pobres em potássio e fósforo, como os do Brasil, necessitam, cada vez mais, de maiores quantidades de nutrientes para se aumentar o rendimento/competitividade da produção agrícola e, também, para se compensar a "mineração"/"exportação" desses elementos pelas plantas, de forma a atender aos requisitos de sustentabilidade.

Segundo dados do *International Potash Institute* (IPI) apresentados pelo seu presidente, em conferência proferida no Cairo, em fevereiro de 2001, a atual produção de cereais de 2,1 bilhões de toneladas, deverá atingir, nos próximos 20 anos, a cifra de 3,4 bilhões, sendo esta a quantidade necessária para satisfazer a esperada demanda. Em contrapartida, a disponibilidade de terra arável e de água para irrigação está diminuindo. Na Ásia, por exemplo, daqui a 20 anos, a disponibilidade de terra arável será apenas de 0,08 ha/habitante. Na Índia, pas-

sará dos atuais 0,14 ha para 0,10 ha, em 2025 (KANWAR e SEKHON, 1998 *in* KRAUS, 2001).

No Próximo Oriente, a produção de cereais mais do que duplicou nos últimos 30 anos, enquanto a área agricultável apenas cresceu 26%, ou seja, o rendimento da produção passou de 1,13 t/ha, em 1970, para as atuais 1,83 t/ha (FAO, 2000 *in* KRAUS, 2001). Mesmo assim, foi necessário aumentar as importações, para satisfazer às necessidades da população.

O cultivo de cereais requer, em média, 170 - 75 - 175 kg/ha de N - P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - K<sub>2</sub>O, respectivamente. Batata e beterraba absorvem 200 kg/ha de N, 80-90 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e cerca de 300 kg/ha de K<sub>2</sub>O (KERN, 2000 *in* KRAUS, 2001).

Pode-se dizer que, hoje, já são os fertilizantes a "alimentarem" o mundo. É um jogo de palavras que traduz a realidade.

O balanço de consumo de nutrientes difere de cultura para cultura, e o perfil da alimentação também está variando. A procura de vegetais, frutas e proteínas animais para a alimentação humana é cada vez maior, aumentando a necessidade de soja, para ração animal.

No Egito, a área destinada à produção de vegetais e frutas triplicou nos últimos 40 anos. O mesmo aconteceu, em escala mundial, com a soja. São dois exemplos, entre muitos que poderiam se apresentados.

### 3.3. Projeções da demanda de fertilizantes para a agricultura e pastagens

O aumento na demanda de fertilizantes terá que se apoiar, se não for expandida a sua produção nacional, na importação, cada vez maior, de matérias-primas e produtos intermediários. As perspectivas a curto/médio prazos são de forte aumento progressivo, dado que são modestas as perspectivas de implantação de novos projetos para aproveitamento dos depósitos já conhecidos, de minérios fosfatados ou potássicos e não há nenhum programa de prospecção e pesquisa sistemáticas em escala naci-

onal, como foi implantado, embora não concluído, para os minerais energéticos: petróleo (Petrobras), urânio (Nuclebras) e para os metálicos, principalmente Fe e Cu nos primeiros, anos da Companhia Vale do Rio Doce, até a sua privatização.

Em 2001, consumiram-se, no Centro-Sul do País, 90,2% do total de macronutrientes, enquanto, no Nordeste, esse consumo representou 9,2% e, na região Norte, apenas 0,6%.

**Tabela 3.3** – Produtividade agrícola no Brasil, em t/ha

Ano	1998	2003	2008
Algodão	1.458	2.129	2.800
Arroz	2.537	2.837	3.137
Banana	15.315	14.865	14.415
Batata	15.229	16.579	17.929
Café	1.613	1.855	2.097
Cana-de-açúcar	68.436	69.786	71.136
Feijão	656	725	794
Fumo	1.431	1.536	1.641
Laranja	17.800	18.743	19.687
Milho	2.764	3.029	3.294
Soja	2.366	2.516	2.666
Tomate	44.475	49.425	54.375
Trigo	1.564	1.775	1.987
Uva	12.781	13.621	14.461

Fonte: IBGE e projeção MB Associados, 1999 a.

A partir de curvas de adubação a MB Associados (*op. cit*) estabeleceu qual será a necessidade de nutrientes da agricultura brasileira nos próximos 5 e 10 anos. Com base nas projeções do volume total de produto das diferentes lavouras demandado em 2003 e 2008, estimou-se o total de nutrientes compatível com esta produção (Tabela 3.3). Esta avaliação conduziu aos valores que se apresentam na Tabela 3.4.

O consumo de fertilizantes por tonelada de produto foi estabelecido a partir de curvas de resposta à adubação, de acordo com a produtividade determinada pela MB Associados (1999a) e, seguindo esse raciocínio, chegou-se ao consumo associado às principais lavouras.

A projeção deve ser analisada com toda a atenção, como os autores alertam, pois constitui um referencial do consumo, por tonelada (Tabela 3.4).

As curvas de adubação elaboradas pela MB Associados (*op. cit*) permitiram-lhe calcular o volume de nutrientes extraídos, por cultura, nos últimos anos, no Brasil. O procedimento adotado consistiu em obter, ano a ano, a produtividade média de cada cultura, em cada estado do País, com base nos dados do IBGE e, a partir daí, calcular o consumo total de fertilizantes. Foram estudadas, simultaneamente, as relações parciais entre variáveis como, Crédito Rural, Preços Recebidos pelos Produtores (PRRE), relação entre Preços Recebidos pelos Produtores e Preço dos Fertilizantes (REFE), Índice da Quantidade Produzida (INQT), alertando, contudo, a MB Associados que existem problemas a dificultar a análise de todos os itens responsáveis pela demanda de fertilizantes como, por exemplo, a falta de dados confiáveis e fatores não passíveis de mensuração.

Considerando-se o período de 1998-2008, verifica-se na Tabela 3.5 que:

- a maior taxa de crescimento no consumo é a do algodão (184%), seguindo-se a do arroz (45%) e a do tomate (36%);
- as maiores consumidoras são as culturas de soja, (embora não necessitem de nitrogênio), milho, cana-de-açúcar e café;
- o crescimento do consumo das 13 principais culturas deverá atingir 16% até 2003 e 30% até 2008;
- apenas a cana-de-açúcar deverá apresentar um crescimento negativo (-0,2%)<sup>30</sup>;
- razão N:P:K, de 1:1,19:1,48, em 1998, deverá manter-se sensivelmente a mesma em 2008, a qual deverá ser 1:1,18:1,49.

A evolução recente da agroindústria brasileira mostra a necessidade de serem revistas estas projeções.

**Tabela 3.4** – Consumo de nutrientes (kg) por tonelada de produto, no Brasil

Produto	1998				2008			
	N	P	K	NPK	N	P	K	NPK
Algodão	25,8	39,1	39,5	104,4	32,7	46,9	47,6	127,1
Arroz	18,2	18,2	16,9	53,3	23,9	17,5	22,3	63,7
Banana	5,4	3,0	7,3	15,7	5,8	3,1	7,7	16,7
Batata	3,4	9,2	9,7	22,3	3,4	9,4	9,8	22,6
Café	72,0	16,4	51,8	140,2	74,0	16,8	58,1	149,0
Cana-de-açúcar	0,8	0,3	0,9	2,1	0,8	0,3	0,9	2,1
Feijão	12,7	9,5	16,0	38,1	13,7	10,7	16,5	40,9
Fumo	61,8	99,8	82,9	244,6	62,7	105,5	92,3	260,4
Laranja	6,4	4,7	4,8	15,8	6,5	4,7	4,8	15,9
Milho	10,4	9,9	11,0	31,3	10,7	10,1	11,2	32,0
Soja	0	22,0	22,8	44,8	0,0	22,9	23,3	46,2
Tomate	2,5	3,4	5,5	11,4	2,7	3,8	5,8	12,3
Trigo	20,1	16,2	13,2	49,5	20,8	16,6	14,3	51,6
Uva	7,1	16,5	11,6	35,3	7,2	16,7	11,8	35,8

Fonte: MB Associados, 1999 a.

**Tabela 3.5** – Consumo e projeção de consumo de fertilizantes, por cultura, no Brasil. (1998-2008, em 10<sup>6</sup>t).

Item	1998			2008			Var. NPK 1998-08
	N	P	K	N	P	K	
Algodão	34,9	52,8	53,4	103,0	147,8	150,1	184%
Arroz	199,3	199,3	185,1	316,7	232,8	295,6	45%
Banana	43,5	23,7	58,2	58,7	32,0	78,6	35%
Batata	9,3	25,4	26,7	12,2	33,3	34,7	31%
Café	288,0	65,7	207,3	368,0	83,7	289,0	32%
Cana-de-açúcar	285,5	113,0	307,4	284,0	113,7	306,7	-0,2%
Feijão	36,8	27,5	46,5	47,5	37,0	57,1	28%
Fumo	38,2	61,7	51,3	48,2	81,0	70,9	32%
Laranja	114,3	82,8	84,8	134,4	97,5	99,6	18%
Milho	330,6	314,5	347,8	417,4	392,7	433,9	25%
Soja	-	695,7	721,1	-	890,0	904,5	27%
Tomate	6,8	9,3	15,0	9,2	13,3	20,0	36%
Trigo	54,2	43,7	35,7	70,2	55,9	48,2	30%
<b>Total</b>	<b>1.441,4</b>	<b>1.715,3</b>	<b>2.140,3</b>	<b>1.869,4</b>	<b>2.210,0</b>	<b>2.788,7</b>	<b>30%</b>

Em relação à pecuária, estudos sobre a demanda de fertilizantes para pastagens na indústria pecuária referem-se à não existência de série histórica de dados e às poucas informações disponíveis. Segundo a MB Associados (1999), os dados existentes são reconhecidamente de baixa credibilidade.

No longo período de alta inflação, o gado e a terra eram utilizados como proteção à inflação, ou seja, tinham como objetivo resguardar o dinheiro

da inflação. Ficou evidente que a razão principal da pecuária era a reserva de valor, sendo o aspecto produtivo apenas secundário. Tal como aconteceu noutros setores, quando se entrou na fase de estabilidade econômica e de baixa inflação, a produtividade passou a ser a única forma de obtenção de ganhos com a atividade (*op. cit.*)

Os ganhos de produtividade na pecuária brasileira, como na agricultura, começam a ser significati-

vos a partir do início dos anos 90, intensificando-se após 1994, em consequência da estabilização dos preços.

No Brasil são habitualmente referidos quatro sistemas de criação de gado de corte: i) cria em pasto nativo; ii) cria e recria, tradicional, em pasto cultivado; iii) idem em pasto cultivado de média produtividade; iv) idem em pasto cultivado de alta produtividade.

A MB Associados estudou estas quatro modalidades de criação de gado para traçar um cenário com base em números realistas da atividade e, assim, fazer uma previsão da evolução do consumo de fertilizantes em pastagens, mas a ausência de qualquer estatística referente à venda de fertilizantes ao setor impedem uma projeção mais precisa.

A Tabela 3.6 mostra que, tal como na agricultura, a pecuária seguiu uma trajetória de ganhos de produtividade.

**Tabela 3.6** – Áreas de pastagens no Brasil, em 1985 e em 1996, em mil hectares

Ano	Pastagem Nativa	Pastagem Plantada	Total
1985	105.094	74.094	179.188
1996	78.048	99.652	177.700

Fonte: IBGE in MB Associados.

Sendo a pecuária brasileira, essencialmente de pastagens, a principal preocupação dos pecuaristas foi a busca pelo capim milagroso. De Norte a Sul, foi plantada *Brachiaria decumbers*, trazida da Austrália na década de 70. Essa pastagem triplicou o cerrado, mas logo veio o problema da monocultura e de uma praga /.../. Na década de 80, os programas de seleção de plantas forrageiras, principalmente com a importação de gramíneas da África foram amplamente difundidos. Tal política teve como resultado a redução da idade de abate do gado, de cinco para três anos. Na década de 90, estudos mais aprofundados mostraram que não existe a planta milagrosa e que os bons resultados dependem, em parte, da adubação das pastagens (BATISTA, 2002).

Com a necessidade de a pecuária brasileira obter ganhos de eficiência produtiva, as pastagens naturais foram substituídas progressivamente pelas plantadas e estas, cada vez mais com adubação. O Brasil, com o maior rebanho bovino comercial do mundo, e em expansão, vai necessitar, cada vez mais, de fertilizantes para pastagens.

Para a pecuária poder competir com a agricultura, faz-se necessário que o sistema produtivo se intensifique, o que certamente garantirá um aumento na demanda de fertilizantes (MB Associados, 1999a). Como não é possível determinar qual será a escala de adoção de novos rumos de manejo de pastagens e, portanto, quantificar o novo padrão tecnológico, aquela empresa elaborou alguns exercícios baseados em duas premissas: 1ª - toda a demanda adicional de carne será atendida com um deslocamento das pastagens plantadas de baixa produtividade, para uma situação de média produtividade; 2ª - a oferta se expandiria com áreas saindo diretamente da condição de baixa produtividade para uma de alta produtividade.

Partindo do pressuposto de que as áreas de pastagem, nativas e plantadas não sofrerão alteração nos próximos 10 anos, a MB Associados imaginou duas situações:

- Na hipótese de média produtividade e considerando que a área de pasto com adubo passaria de 0 ha, em 1999, para 7,5 milhões, em 2003, e para 40,7 milhões, em 2008, a demanda de fertilizantes para pastagens seria de 1,4 Mt e de 3,3 Mt, respectivamente. Para se atingirem estes valores, seria necessário que 40 milhões de hectares migrassem de uma condição de baixa para outra de média produtividade.
- No caso do aumento da demanda evoluir de uma situação de baixa para outra de alta produtividade (sistema intensivo), haveria uma demanda de fertilizantes para pastagens de aproximadamente 600 mil toneladas nos próximos cinco anos e de 1,4 milhão em dez anos e as áreas de pastagem necessárias seriam de

1,35 milhões de hectares, em 2003, e 3,16 milhões, em 2008.

Concluindo-se, de forma muito resumida, pode-se afirmar que as projeções de demanda de fertilizantes para pastagens apresentadas pela MB Associados/ANDA (1999) previam um aumento de 507%, entre 1998 e 2002.

#### 4. Considerações finais

O relatório da ONU, *Desafio Global, Oportunidade Global* de agosto de 2002 ([www.riomaisdez.org.br](http://www.riomaisdez.org.br)), uma verdadeira agenda para a Conferência "Rio + 10", realizada na capital sul-africana, foi mais um alerta para a necessidade do desenvolvimento ser sustentável. Nitin Desai, Secretário Geral da Conferência, recomenda vivamente:

*"que os governos se comprometam com ações práticas de produção sustentável de energia, agricultura, uso de recursos de água, para atender necessidades das populações e erradicação da pobreza".*

Em relação à agricultura, merecem destaque, no citado documento, as seguintes afirmações:

- a produção de alimentos tem diminuído, embora a população mundial não pare de crescer e esteja comendo mais;
- nos últimos anos o consumo médio por pessoa subiu de 3.000 para 3.400 calorias, nos países industrializados, e de 2.100 para 2.700, nos países em desenvolvimento;
- a fome tende a crescer nas regiões onde o solo tem sofrido degradação, por exploração excessiva e desertificação;
- no século XX, o consumo de água aumentou seis vezes, mais do dobro do crescimento demográfico, sendo que a agricultura foi responsável por 70% desse uso e pelo maior índice de desperdício, porque sistemas ineficientes de irrigação perdem 60% da água que transportam;
- as reservas subterrâneas de água são consumidas muito mais rapidamente do que podem ser repostas trazendo conseqüências:

dentro de duas décadas, cerca de 3,5 bilhões de pessoas, metade da população do mundo, deixarão de ter acesso a água potável.

Já é um consenso que os ganhos de produtividade e qualidade na agricultura podem aumentar sensivelmente, se as lavouras receberem fertilização balanceada. Sendo assim, os programas de informação ao agricultor sobre o papel de uma agricultura sustentável, ecoeficiente e produtiva parecem ser um bom caminho. Nesse contexto, englobam-se a importância, funções e características dos fertilizantes, o papel dos macro e micronutrientes e suas implicações quando corretamente aplicados, bem como os riscos da má fertilização. Não deve ser esquecido que a demanda mundial de alimentos, em 2025, deverá atingir 3,97 bilhões de toneladas e que a produtividade poderá alcançar 4,5 t/ano (BORLANG e DOWSWELL *in* LOPES, 2002), como resultado, essencialmente, dos avanços conseguidos em biotecnologia e na maior e melhor aplicação de fertilizantes.

Como se posiciona o Brasil neste panorama mundial da atividade agropecuária?

- As suas terras agricultáveis, 550 milhões de hectares, segundo o IBGE, são as mais extensas do mundo.
- O País detém cerca de 12 a 15% das reservas mundiais de água doce.
- Em escala mundial, é um dos maiores produtores agrícolas e as perspectivas/potencialidade de crescimento são grandes.
- É o quarto maior consumidor de fertilizantes, mesmo sendo modesta a sua aplicação por hectare. Em 1987/88, consumiu 52 kg/ha e mais do que duplicou esse valor em 1988, mantendo-se, mesmo assim, muito inferior ao consumo de países como a Holanda (604 kg/ha), Reino Unido (386 kg/ha), Japão (376 kg/ha), China (367 kg/ha) e França (263 kg/ha).
- No Brasil, a indústria de produção de fertilizantes, utilizando bens minerais existentes no País, tem-se desenvolvido, nos últimos anos,

- a um ritmo bem inferior ao do crescimento da demanda. No período 1995/2000, enquanto a produção interna cresceu 15% as importações progrediram 110%.
- O País, devido à dimensão da produção agropecuária, às características dos seus solos e à insuficiente produção doméstica, é um grande importador de fertilizantes.
  - A importação de matérias-primas e de produtos intermediários para fertilizantes (mais de 2,6 bilhões de dólares, em 2005) tem forte peso negativo na balança comercial e cria grande dependência externa.
  - Os dados de mercado sobre produção e consumo nacionais devem ser os grandes motivadores para a implantação de programas de PD&I que promovam a ampliação da indústria de fertilizantes no País. O progressivo aumento das importações torna a busca de soluções um assunto cada vez mais premente.
  - Jazidas de fosfato, como as de Itataia (CE), Angico dos Dias (BA/PI) e Anitápolis (SC), continuam paradas e depósitos/prospectos, como os de Trauíra/Pirocau (MA), Patrocínio (MG), Iperó (SP) e Alhandra/Conde (PB), aguardam estudos de viabilidade técnico-econômica que levem em consideração os constantes avanços técnico-científicos e as novas premissas nacionais como, por exemplo, o afastamento das fronteiras agrícolas dos atuais pólos produtores. Em relação aos depósitos de potássio, como os de Rambú/Sta. Rosa de Lima (SE) e Fazendinha (AM), a situação é idêntica.
  - O balanço de nutrientes na agricultura brasileira mostra déficits de 888 mil toneladas de N (mesmo considerando todo o N da soja e do feijão como provenientes da fixação biológica); de 414 mil toneladas de  $P_2O_5$  e de 413 mil toneladas de  $K_2O$  (YAMADA e LOPES *in* LOPES, 2002).
  - A exploração agropecuária extensiva, um dos grandes responsáveis pelo desmatamento e danos causados aos ecossistemas naturais,

pode ser substituída por uma exploração intensiva, de alta produtividade, em áreas menores, dentro dos conceitos de sustentabilidade, se o consumo ("exportação") de elementos pelo cultivo/remanejamento do bem vegetal forem compensados pelo uso racional e balanceado de fertilizantes e/ou pela remineralização natural (rochagem) dos solos. É o que vem acontecendo gradativamente. A produção e a produtividade das 16 principais culturas do Brasil que eram, respectivamente, 49,6 Mt e 1,45 t/ha, em 1970, passaram para 145,1 Mt e 2,70 t/ha, em 1998, o que significa ter sido poupada uma área de 66 milhões de hectares (LOPES, 2002), isto é, seriam necessários cerca de 100 milhões de hectares para se chegar ao volume da produção agrícola atingido em 1998, se fosse mantida a produtividade de 1970. Se isso não aconteceu, deve-se, em grande parte, à mais intensa e melhor aplicação de fertilizantes.

- São gargalos do agronegócio brasileiro: i) protecionismo dos países desenvolvidos (subsídios à agricultura mundial em 1988 - OCDE, 29 países, US\$ 366 bilhões ou 42% do valor da produção; CEE, US\$ 142 bilhões; EUA, US\$ 87 bilhões; Japão, US\$ 56 bilhões); ii) elevada carga tributária dos alimentos industrializados (Brasil = 32,7%, França = 5,5%, Espanha e Holanda = 6%. Alemanha = 7%, Portugal = 8%); iii) elevado custo de transporte/frete até ao porto (Brasil = US\$ 32/t; EUA = US\$ 15/t; Argentina = US\$ 17/t); iv) elevadas taxas portuárias (Roterdã/Holanda = US\$ 3; Brasil = US\$ 9 a 12); v) elevadas taxas de juros (Brasil = 18,5%, em 2002; Internacional = 5,5%); vi) barreiras tarifárias (LOPES, 2002).

A abertura de novas fronteiras agropecuárias e a imperiosa necessidade de, num mundo altamente competitivo, se aumentar o rendimento da produção agrícola (dentro dos parâmetros de sustentabilidade, insista-se) irão pressionar, e certamente viabilizar, a implantação de novos complexos minero-industriais de produção de fertilizantes, junto das áreas mineiras e dos novos centros consumidores, principalmente no Centro-Oeste e no

Nordeste, o que se traduziria na redução de custos de transporte.

A remineralização natural dos solos - rochagem - (pó-de-rocha / *rocks-for-crops*) deve ser um dos caminhos a serem intensamente pesquisados, principalmente nas pequenas e médias propriedades e nas propriedades familiares.

Para projeções futuras, não se pode deixar de considerar que os solos sob "cerrado", uma das mais importantes fronteiras agrícolas do País, exigem, pelas suas características, alta taxa de aplicação de nutrientes e que o crescimento da demanda de fertilizantes para pastagens cresce em ritmo acelerado. Também não deve ser esquecido que, se a produtividade passou de 1,45 t/ha (valor médio das 16 principais culturas), em 1970, para 2,7 t/ha, em 1998, como se viu, isso se deve, em grande parte, à maior e melhor aplicação de fertilizantes.

Ressalta assim, entre outras coisas, a necessidade de:

- desenvolvimento e implantação de novos processos industriais, menos poluentes, bem como a ampliação e melhoria constante dos processos já existentes;
- busca intensiva, através de projetos de PD&I, de fontes não convencionais de nutrientes e de processos de produção de fertilizantes de solubilização lenta, mais adaptados às condições climático-pedológicas brasileiras;
- implantação de programas de prospecção e pesquisa mineral que incluam, também, ambientes geológicos não convencionais<sup>31</sup>, visando descobrir e avaliar novos depósitos e redefinir, nas condições socioeconômicas atuais, ocorrências e depósitos já conhecidos;
- melhoramento e criação de redes de transporte/escoamento, incluindo, além das rodovias, hidrovias e ferrovias;
- aumento da capacidade de produção dos pólos já existentes, bem como a criação de novos centros de produção;

— estruturação da política de investimentos e de financiamento da produção na agroindústria.

Lembra-se que esses itens devem ser atendidos levando-se em consideração a utilização de bens existentes no País e a necessidade da criação de saldos positivos na balança comercial, o que passa pela estabilização ou até redução da importação de fertilizantes, embora haja necessidade de aumentar sua aplicação para maior e melhor produtividade da agropecuária brasileira.

Deve ser preocupação de todos que o mundo futuro seja:

*"um mundo em que cada pessoa tenha acesso econômico e físico a uma alimentação suficiente que permita vida saudável e produtiva, onde a desnutrição esteja ausente e os alimentos resultem de uma agricultura eficiente, eficaz, que produza alimentos de baixo custo, num sistema compatível com a sustentabilidade e correta utilização dos recursos naturais" (IFPRI - International Food Policy Research Institute).*

É necessário considerar que os fertilizantes participam de maneira significativa na obtenção da Produtividade Máxima Econômica de qualquer cultura, como afirmam (ALCARDE, GUIDOLIN e LOPES, 1998).

## Referências bibliográficas

- ADAS, M. *Panorama geográfico do Brasil*, Editora Moderna Ltda, São Paulo, 1985, 294p.
- AGRI. *Environmental Report Agri*. 9p. Disponível em: [www.hydro.com/HITS](http://www.hydro.com/HITS). Acesso em: 29/06/2001.
- ALBUQUERQUE, G. de A. S. C. de. *A produção de fosfato no Brasil: uma apreciação histórica das condicionantes envolvidas*. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 1996. 129p. (Estudos e Documentos, 31).
- ALBUQUERQUE, G. de A. S. C. de. *Contribuição à Implantação de um Novo Pólo de Fertilizantes*

- no Nordeste do Brasil. 2000. 134p. Tese (Doutorado). EP/USP, 2000.
- ALGARDE, J.C.; GUIDOLIN, J.A. e LOPES, A.S. *Os adubos e a eficiência das adubações*. ANDA, Bol. técnico no 3, 3ª edição, 1998.
- ANDA - *Anuário Estatístico do Setor de Fertilizantes*. São Paulo: ANDA, 1991 a 2006.
- ARGENTI, M.O. *Nourrir un monde de plus en plus urbain*. FAO - Dossier de Fond, 3p. Disponível em: [www.fao.org/worldfoodsummit](http://www.fao.org/worldfoodsummit). Acesso em: 16/05/2002.
- ARQUIVO DO AGRÔNOMO. *Nutri-Fatos*. 24p. Março 1996, POTAFOS, Piracicaba, SP.
- BANDEIRA, A.L. *Liberdade para as novas tecnologias*. Disponível em: [www.iof.mg.org.br](http://www.iof.mg.org.br). Acesso em: 10/10/2002.
- BARRETO, M.L. Desenvolvimento sustentável: uma abordagem conceitual. In: *Ensaio sobre a sustentabilidade da mineração no Brasil*, Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2001, 130p.
- BATISTA, V. *A busca pelo capim milagroso*, Jornal do Brasil, Rio de Janeiro, 29 set, 2002.
- BIOWARE TECNOLOGIA. Disponível em: [www.bioware.com.br](http://www.bioware.com.br).
- BRAUDEL, F. *A identidade da França - os homens e as coisas* (vol. 2). Editora GLOBO S.A., São Paulo, 1986.
- CERRI, C. *Capturar o carbono no solo*. França Flash, São Paulo, n. 31, 2002, Disponível em: [www.cendotec.org.br](http://www.cendotec.org.br).
- CHILD, V.G. *O que aconteceu na história*. "Círculo do Livro S.A.", 296 p.
- COMCIÊNCIA, *Amazônia: interesse internacional*.
- COX, T.S. et al. *Prospects for developing perennial grain crops*. BioScience, v. 56, no 8, 2006.
- CREI - China Rare Earth Information, v.3, no 5, p. 3-4, Baotou, 1997.
- DELFIN NETO, A. *A importância da agricultura*. São Paulo: "Carta Capital", 1997.
- DNPM - *Sumário Mineral*, 2001. Brasília: 2001 - 2006
- EMBRAPA. Disponível em: [www.cnps.embrapa.br](http://www.cnps.embrapa.br). Acesso em: 25/07/2002.
- FAO. *Sommet Mondial de l'Alimentation*, Disponível em: [www.fao.org/worldfoodsummit](http://www.fao.org/worldfoodsummit). Acesso em: 16/05/2002.
- FAO/IFA. *Los fertilizantes y su uso*, 3ª edição, 77 p., Roma, 2002.
- FAUSTO, B. *História do Brasil*. São Paulo, EDUSP, 1995, 647 p.
- FELLER, C. *Agricultura e efeito estufa*. França Flash, São Paulo, n.31, 2002. Disponível em: [www.cendotec.org.br](http://www.cendotec.org.br).
- FERREIRA, E. e CRUZ, M.C.P. (eds). *Micronutrientes na agricultura*. Piracicaba: POTAFOS, 2000. 734p.
- FERREIRA, G. CETEM - Relatório Interno, 2001. *Projetos de mineração: uma abordagem econômica*. Rio de Janeiro: CETEM/CNPQ, 2001.
- FISIOLOGIA VEGETAL. *Nutrição Mineral das Plantas*. Disponível em: <http://fisiologiavegetal.spedia>. Acesso em: 05/08/2002.
- GLOVER, J.D.; COX, M. e REGANOLD, J.P. *Agricultura do futuro: um retorno às raízes*, Scientific American Brasil, no 64, p. 58-65, 2007.
- GONDIM, L. *Responsabilidade social na pauta do consumidor*. Jornal do Brasil/Economia, 21/10/2007.
- GRAZIANO, X. Berço da Agronomia (In: Estado de S. Paulo, 18/06/2007).
- GRIMBERG, C. *Histoire Universelle - De l'aube des civilisations au début de la Grèce antique*. (Vol. 1). Ed. Gerard & Vervier, Bélgica, 12 vol., 1963.
- GUARDANI, R. *Fertilizantes potássicos*. Tecnologia de Produção de Fertilizantes, Rio de Janeiro: IPT, 1990.
- HANSON, R.G. Optimum phosphate fertilizer products and practices for tropical climate agriculture. In: Proc. Int. *Workshop on Phosphate*

- Fertilizer and Environment. Intern. Fert. Devel. Center, Muscle Shoals, Alabama/USA, p. 65-75, 1992.*
- HISTÓRIA do pensamento. Editora: Nova Cultural, v.: *Das origens à idade moderna*. 184p., São Paulo, 1987.
- IFA. Disponível em: [www.fertilizer.org](http://www.fertilizer.org). Acesso em: 02/05/2002.
- IPI - INTERNATIONAL POTASH INSTITUTE. Disponível em: [www.ipipotash.org](http://www.ipipotash.org). Acesso em: 23/01/2002.
- IPT. *Programa de atualização tecnológica industrial: fertilizantes nitrogenados e fosfatados*. São Paulo, 1988.
- IPT. *Tecnologia de Produção de fertilizantes*, São Paulo, 2000.
- ISHERWOOD, K.F. *O uso de fertilizantes minerais e o meio ambiente* (tradução). ANDA [www.anda.org.br](http://www.anda.org.br).
- JANK, M.S.; RODRIGUES, L. e AMARAL, D.F. Disponível em: [www.iconebrasil.org.br](http://www.iconebrasil.org.br). Acesso em: 11/05/07.
- JANK, M.S.; RODRIGUES, L. e AMARAL, D.F. *O agronegócio mundial no século XXI, "O Estado de São Paulo"*, 02/05/2007.
- JORDAN, N. *et al. Sustainable development of the agricultural bio-economy*, Science, v. 316, p. 1570-1, 2007.
- KRAUSS, A. (a). Balanced fertilization integral part of sustainable soil management. In: *Expo 2000, Science in Dialogue*, Hanover, Alemanha, 15 de agosto de 2000, 14 p. Disponível em: [www.ipipotash.org/presentn/bfipssm.html](http://www.ipipotash.org/presentn/bfipssm.html). Acesso em: 31/01/2002.
- KRAUSS, A. (b). Quality production at balanced fertilization: the key for competitive marketing of crops. In: *12 CIRC International Symposium on role of fertilizers in sustainable agriculture*, 2000. Disponível em: [www.ipipotash.org](http://www.ipipotash.org).
- KRAUSS, A.(c). Potassium, integral part for sustained soil fertility, In: *Regional IPI Workshop on Potassium and Phosphorus*, 16 p., Lituânia, outubro de 2000. Disponível em: [www.ipipotash.org](http://www.ipipotash.org). Acesso em: 23/01/2002.
- KRAUSS, A.(d). Demographic development and its implication for fertilizer use. In: *AFA International Annual Conference 7*. 2001, 14 p. Cairo, Egito, jan/fev de 2001. Disponível em: [www.ipipotash.org](http://www.ipipotash.org). Acesso em: 23/01/2002.
- KULAIF, Y. *A nova configuração da indústria de fertilizantes fosfatados no Brasil*. Rio de Janeiro: CETEM/CNPQ. 1999. 244p. (Estudos e documentos, 42).
- LAMON, Antônio G. *A Agricultura no Brasil Merece Crédito? "Techno"* n. 19, p.114-117, 2001.
- LAPIDO-LOUREIRO, F.E. *A mega província carbonatítica Brasil-Angola e os seus recursos minerais: geologia, geoquímica, petrografia, geologia econômica*. Tese de doutoramento, Universidade de Lisboa, 306 p., 1995.
- LAPIDO-LOUREIRO, F.E. *Terras-Raras no Brasil*. Rio de Janeiro: CETEM/CNPQ. Série Estudos e Documentos, no 21, 1994.
- LAPIDO-LOUREIRO, F.E. *Carbonatitos de Angola*, IICA - Instituto de Investigação Científica de Angola, 'Memórias e Trabalhos' no 11, 299 p., Luanda, 1989.
- LEITE, M. *Veias abertas para o etanol*. Portal Ecodebate, 2007.
- LEMGRUBER, A.C. *Biocombustíveis no Brasil e no mundo*, Jornal do Brasil, 20/05/2007.
- LIMA-E-SILVA, P.P. *de et al., Dicionário brasileiro de ciências ambientais*. Thex Editora, Rio de Janeiro, 1999.
- LOPES, A.S. *Fertilizantes, produção de alimentos e preservação ambiental*. Palestra, CETEM, 13/09/02, Rio de Janeiro.
- MAGNOLI, D. e ARAUJO, R. *Projeto de Ensino de Geografia - Natureza, Tecnologias, Sociedade: Geografia do Brasil*, São Paulo, Editora Moderna Ltda., 2004, 352 p.

- MB Associados (a). *Demanda de fertilizantes 1999-2008*. ANDA, agosto 1999, 124p.
- MB Associados (b). *Isofretes*. ANDA, agosto 1999, 20 p.
- MOTAVALLI, P. *et al. Essencial plant nutrients. Fertilizer Facts*. Disponível em: [www.uog.edu/soil/fertft1a.html](http://www.uog.edu/soil/fertft1a.html). Acesso em: 23/07/2002.
- PEREIRA, C. M. Agronegócio e agricultura familiar: multifuncionalidade e sustentabilidade. O caso do calcário agrícola. In: *Fertilizantes e sustentabilidade: uma abordagem minero-metalúrgica*, em edição.
- POTAFOS. Disponível em: [www.ppi.ppic.org/ppiweb/brazil.nsf](http://www.ppi.ppic.org/ppiweb/brazil.nsf).
- PPI - Potash & Phosphate Institute. Disponível em: [www.ppi-ppic.org](http://www.ppi-ppic.org).
- QUESNAY, F. (a). Quadro Econômico dos Fisiocratas. In: *Os Economistas - Hume/Quesnay*, p.67-83, Nova Cultural, 1988.
- QUESNAY, F.(b). Cereais. In: *Os Economistas - Hume/Quesnay*, p. 113-151, Nova Cultural, 1988.
- RIC - RARE-EARTH INFORMATION CENTER INSIGHT, Ames Laboratory Inst for Physical Research and Technology, Iowa: Iowa State University, v.2, n.1, 1989.
- RIC - RARE-EARTH INFORMATION CENTER NEWS, Ames Laboratory Inst for Physical Research and Technology, Iowa: Iowa State University, v.33, n.1, 1998.
- ROCHA, J.D. e CORTEZ, L. *Álcool e biodiesel: oportunidades para o Brasil, 2005*. Disponível em: [www.bioware.com.br](http://www.bioware.com.br). Acesso em 17/05/2007.
- RUSS, J. *A aventura do pensamento europeu, 'Terramar'*, 2001, 361p.
- SILVA, P.P.L., *et.al. Dicionário brasileiro de ciências ambientais*. Rio de Janeiro: Thex editora, 1999, 247p.
- SÓCRATES (não deixou nenhum escrito - ver Xenofonte).
- SOUZA, V.P. *Subsídios para a construção de cenários para a indústria dos fertilizantes fosfatados no Brasil*. Seminário FEA-USP, nov. 1997.
- VALARELLI, J.V. e GUARDANI R. *Estudos Experimentais para utilização das rochas potássicas de Poços de Caldas como fertilizantes*, Fertilizantes, v.3, n.3, p. 4-7, 1981.
- VAN STRAATEN, P. *Agrogeology*, Enviroquest Ltd e Peter van Straaten, 2007.
- VAN STRAATEN, P. *Rocks for crops - Agrominerals of sub-saharan Africa*, 2002. [[www.uoguelph.ca](http://www.uoguelph.ca)].
- VELLOSO, J.P. *A economia do conhecimento*, "O Globo", Rio de Janeiro, 30 maio, 2002.
- WAGNER, A.; LINS, F. F.; ALBUQUERQUE, G.A.S.C. *A eleição presidencial e a mineração*, *Gazeta Mercantil*, Rio de Janeiro, 20 set, 2002.
- XENOFONTE. Memórias de Sócrates. In: *L'Économique*, v.17, p. 43-75. Calman-Lévy, Paris, 1969.
- YAMADA, T. *Há déficit de mais de 1 milhão de toneladas de nitrogênio na agricultura brasileira*, *Informações Agrônomicas* n.98, junho/2002. Disponível em: [www.cnps.embrapa.br](http://www.cnps.embrapa.br).

## Anexo A

### INTRODUÇÃO DO CAFÉ NO BRASIL

#### "Café e Saúde - Francisco de Melo Palheta"

[www.cafeesaude.com.br] - Acesso em: 24/04/07

O café foi uma bebida descoberta e utilizada de forma regular pelos árabes a partir do século VII, incluindo o profeta Maomé, sendo por isso adotada pelo mundo islâmico com exclusividade até o século XVII - mil anos de café. No século XVII, o consumo de café migrou para a Europa. Chegou ao Ocidente pela cidade de Nápoles na Itália. Como era uma bebida maometana, foi proibida aos cristãos e somente foi liberado depois que o Papa Clemente VIII o provou, aprovou e abençoou.

Graças ao dinamismo do comércio marítimo holandeses da Companhia das Índias Ocidentais, o café foi introduzido no novo mundo, espalhando-se pelas Guianas, Martinica, São Domingos, Porto Rico e Cuba.

Na Guiana Francesa, o café havia sido introduzido pelo Governador Claude d'Orvilliers. Conseguiu de um francês chamado Morgues um punhado de sementes de café, colhidas dos cafeeiros plantados pelos holandeses no Suriname. Semeou-as no pomar de sua residência. Foi daí que vieram as primeiras sementes para o Brasil.

O café foi introduzido no Brasil, em 1727, por Francisco de Melo Palheta, nascido em 1670, na cidade de Belém, Pará, onde estudou e decidiu seguir a carreira militar.

Em 1727, o Governador do Maranhão e Grão Pará, João da Maia da Gama, determinou que o Sargento-mor, Francisco de Melo Palheta fosse em missão oficial à Guiana Francesa para resolver alguns problemas de fronteiras (fazer respeitar a divisa, estabelecida pelo Tratado de Utrecht no rio Oiapoque) e também com a missão secreta de conseguir algumas sementes do fruto que, segundo informações transmitidas ao governador Maia, possuía grande valor comercial.

Como Francisco Palheta havia estabelecido um bom relacionamento, a mulher do governador, Madame d'Orvilliers, presenteou-o, na noite despedida, com sementes do precioso arbusto.

Nos primeiros tempos, o cafeeiro era cultivado apenas nas províncias do Norte do País, em pequenas plantações. O próprio Francisco Palheta teve um cafezal no Pará, com mais de mil pés.

Durante o século XVIII, o cultivo do café limitou-se ao Nordeste, onde os solos e o clima não eram os mais adequados.

A cafeicultura no Brasil só se desenvolveu no século XIX, quando o produto começou a ser cultivado em direção ao sul, sendo introduzido no Maranhão, atingindo a Bahia, em 1770, e a seguir o Rio de Janeiro.

Em 1773, o Desembargador João Alberto Castelo Branco levou do Maranhão para o Rio de Janeiro algumas sementes de café que foram plantadas no Convento dos Barbadinhos. O Vice-rei e o Bispo do Rio de Janeiro fomentaram a ampliação da cultura, havendo este último, inclusive, cultivado um viveiro na Fazenda Capão. A seguir o café foi plantado em chácaras na Tijuca, Gávea, Andaraí e Jacarepaguá. Da cidade o café expandiu-se pela Serra do Mar até atingir, em 1825, o Vale do Paraíba, alcançando logo a seguir, São Paulo e Minas Gerais e norte do Paraná.

Iniciava-se o ciclo do café, após o do ouro e o da cana-de-açúcar. No Centro-Sul, em condições ecológicas altamente favoráveis, o café atingiu o oeste paulista, em 1840, o noroeste de São Paulo, em 1920; a Alta Sorocabana, a Alta Paulista e o estado do Paraná, entre 1928-1930. O norte do estado do Rio de Janeiro e o Espírito Santo já cultivavam o café desde 1920.

O Brasil não foi exportador de café até 1820, embora em 1800 tenham sido embarcados no Porto

do Rio de Janeiro e enviados, para Portugal, pela primeira vez, 13 sacos. Antes da independência, consta que algumas outras partidas de café foram realizadas, tendo como destino Lisboa, oriundas principalmente dos estados do Norte, mas sempre em pequenas quantidades que nem sequer foram anotadas. Com a libertação do País iniciou-se realmente a era do café. Em 1845, o Brasil já colhia 45% da produção mundial, destacando-se como o maior produtor.

O café foi implantado com um mínimo de conhecimentos. A mata era derrubada e queimada para plantá-lo, procurando-se apenas terrenos férteis. Era o início da ação predatória sobre a mata virgem. O café continuava a desenvolver-se: abriam-

se novas áreas e implantavam-se novas estradas de ferro.

A cultura do café no Brasil, após a sua implantação, apresentou ciclos de expansão e crises, de acordo com as variações da economia mundial. Atualmente, cerca de 3,5 bilhões de cafeeiros são cultivados em 350 mil propriedades agrícolas, ocupando diretamente 1,5 milhão de trabalhadores e mais 2,5 milhões de pessoas dependentes. Isto sem contar aqueles que trabalham no transporte, comércio e industrialização do café. Os principais estados produtores são: Minas Gerais, São Paulo, Paraná e Espírito Santo.

Pode-se dizer que um, em cada grupo de dez brasileiros, trabalha ou vive em função do café.

## Anexo B

### TÓPICOS SOBRE A ECONOMIA E EXPANSÃO CAFEIRAS

#### "A Economia Cafeeira" e "Expansão Cafeeira no Oeste Paulista"

In: "História do Brasil" de Boris Fausto (1995).

*.../ A implantação das fazendas se deu pela forma tradicional da 'plantation' com o emprego da força de trabalho escrava. Não era impossível produzir café exportável em pequenas unidades, como o exemplo da Colômbia iria demonstrar. Entretanto, nas condições brasileiras de acesso à terra e de organização e suprimento de mão-de-obra, a grande propriedade se impôs.*

*.../ A história da ocupação das terras seguiu um padrão que vinha do passado e iria se repetir ao longo da história do Brasil. Havia uma total indefinição dos limites das propriedades e muitas terras não eram exploradas. Os títulos de propriedade, quando existentes, podiam ser contestados .../*

Em um quadro deste tipo, prevaleceu a lei do mais forte. O mais forte era quem reunia condições para manter-se na terra, desalojar posseiros destituídos de recursos, contratar bons advogados, influenciar juízes e legalizar assim a posse de terras.

*.../ Durante quase todo o período monárquico, o cultivo do café foi feito com emprego de*

*técnicas bastante simples. Algumas dessas técnicas de uso do solo, ou, em certos aspectos, de depredação dos solos, existem até hoje. A produção era extensiva, isto é, não havia interesse ou preocupação com a produtividade da terra. Esgotado o solo, pela ausência de adubos e outros cuidados, estendia-se o cultivo a outras áreas, ficando a antiga em abandono, ou destinada a roças de alimentos.*

*.../ Do ponto de vista socioeconômico, o complexo cafeeiro abrangia um leque de atividades que deslocou definitivamente o pólo dinâmico do país para o Centro-Sul. Em função do café aparelharam-se portos, criaram-se empregos e novos mecanismos de crédito, revolucionaram-se os transportes. .../ Houve um processo relativamente longo de decadência do Nordeste e de fortalecimento do Centro-Sul, que se tornou irreversível por volta de 1870.*

*.../ A expansão cafeeira ocorreu também pela gradativa ocupação das terras escassamente exploradas de São Paulo, que constituíam um grande espaço sobretudo na direção oeste, chegando ao Rio Paraná, na divisa com Mato Grosso. Essa ocupação se fez no curso de muitos anos, e seu apogeu foi um fenômeno das décadas de 1930 e 1940.*

## Anexo C

### EXPLORAÇÃO DA BORRACHA

#### "Amazônia- Interesses e Conflitos"

[[www.comciencia.br/reportagem/amazonia/amaz17.htm](http://www.comciencia.br/reportagem/amazonia/amaz17.htm)]

A região amazônica atravessou a primeira metade do século XIX em completo isolamento. A relativa prosperidade agrícola ressentia-se da falta de mão-de-obra e capitais, agravada pela dificuldade de comunicação e transportes e pela escassa população.

A autonomia da Amazônia deu-se somente em 1850, quando foi criada a Província do Amazonas, com sede na cidade da Barra, que adotou o nome de Manaus em 1856.

O governo brasileiro abriu o Amazonas à navegação estrangeira em 1866, o que facilitou o acesso à borracha.

O látex foi elevado à categoria de matéria-prima industrial a partir de 1823, com a descoberta da impermeabilização por MacIntosh. Nesse mesmo ano, e da vulcanização, por Goodyear, em 1839. Com a expansão do comércio da borracha, iniciava-se nova fase de ocupação da Amazônia.

Em Belém e Manaus estabeleceram-se filiais de grandes empresas estrangeiras que importavam bens, exportavam borracha e comandavam os preços no mercado internacional. A cadeia produtiva era formada por essas grandes empresas, pelos seringalistas, donos ou posseiros por elas financiados. As grandes empresas forneciam ferramentas e alimentação aos trabalhadores, em troca de determinada quantidade de borracha.

O preço da borracha atingiu seu maior valor em 1910 e uma produção de 8.000 toneladas. Dez anos depois a produção havia chegado a 360.000 toneladas, isto é, em uma década havia crescido 45 vezes.

Em 1911 a cotação da borracha começou a baixar devido ao baixo preço oferecido pelo sudeste asiático em consequência de se terem desenvolvido plantações, na Malásia, que superariam a produção brasileira. Em 1877, foram levadas pelos ingleses, ilegalmente, mudas de seringueiras para a Malásia.

Como consequência dos preços rebaixados pelos asiáticos, começaram a verificar-se grande número de falências no Brasil, a partir de 1913, e a fome assolou a região.

Para ultrapassar a crise, e como alternativas:

- direcionou-se a estrutura criada pela produção da borracha para a coleta da castanha do Pará que atingiu enorme expansão e começou a formalizar-se para sua transformação numa atividade estável;
- fizeram-se várias concessões de terras, algumas de grandes proporções, como a de Henry Ford que, em 1926, comprou ao governo do Pará, 2,5 milhões de hectares;
- deu-se apoio, no final dos anos 20, a outra atividade agrícola no Norte e Nordeste, a da produção de pimenta promovida por emigrantes japoneses, iniciada em 1929, e que posteriormente se espalhou por vários estados: Amapá, Rondônia, Maranhão e Mato Grosso;
- a partir de 1938 introduziu-se o cultivo da juta, implantado também pelos emigrantes japoneses, mas que foi bem assimilado pelos caboclos.

A partir dos anos 40, foram os bens minerais que ganharam força. A garimpagem de diamantes passou a ser uma atividade complementar à da castanha. Hoje a Amazônia é o 'Eldorado' das grandes empresas de mineração, nacionais e estrangeiras.

## Anexo D

### PROGRAMA DE APLICAÇÃO DE ADUBOS

Existem programas como, por exemplo, o Hidroplan, destinado a lavradores, conselheiros e distribuidores de adubos, que permitem indicar as melhores quantidades e composições dos fertilizantes a serem aplicados, atendendo, entre outros, aos parâmetros: solo, clima, variedade agrícola e ao conceito de fertilização balanceada. Este programa foi desenvolvido pela *Hydro-Agri*, do grupo norueguês *Norsk-Hydro*, a maior empresa de fertilizantes do mundo, no seu centro de pesquisa de Hanninghof, na Alemanha.

A *Hydro-Agri / Norsk-Hydro* também criou, na internet, serviços de apoio aos agricultores como o *Hydro NPK on-line*, que os lavradores podem

usar *to get fertilizer application maps for specific field management*. A aplicação convencional de fertilizantes, em proporções uniformes, numa região heterogênea, pode provocar dosagens localmente incorretas. O *Hydro NPK On-line* permite detalhar as diferentes necessidades e assim estabelecer dosagens específicas (AGRI, 2001).

Com idêntico objetivo, a *Hydro-Agri* desenvolveu um aparelho portátil, para medir o conteúdo de nitrogênio nas plantas. É o "Hydro N-Tester" que permite ao lavrador decidir em que proporção e em que momento deve ser aplicado o fertilizante nitrogenado, uma das decisões mais difíceis de serem tomadas.

## Anexo E

### APLICAÇÃO DE TERRAS-RARAS NA AGRICULTURA

*Fruitful Headways have been Made in the Project of "Application and Demonstration of the New Materials and New Technologies of Rare Earth Applied in Agricultural Production in the Western Area"*

Ministry of Science and Technology of the People's Republic of China

Fruitful progress has been achieved in the research project of "Application and Demonstration of the New Materials and New Technologies of Rare Earth Applied in Agricultural Production in the Western Area ", one of the key projects of "Rare Earth Application Engineering", a major State S&T project during the "Tenth Five-year Plan". The unit undertaking this research has built up two application and demonstration bases of over 5,000 mu respectively in Xinjiang and Gansu and has acquired satisfactory results by applying to the demonstration bases the new material and new technology of rare earth for use in agricultural production and various combined technologies. The specific indicators are: 35.1% increase at the most in yield through application of rare earth phosphate fertilizer to potato in comparison with traditional manure while at the same time the ratio of first-class potato has been increased and the ratio of diseased plant decreased. Results of multiple-point experiment including large area experiment show that: in respect of the important quality index of grape sugar content, the sugar increase effect is obvious for rare earth phosphate fertilizer, ordinary manure synergist, amino acid rare earth micro - fertilizer and all-element rare earth micro-fertilizer, the maximum increase may be as high as 3.6%. Experiment with rice demonstrated that the increase in yield with the adoption of rare earth phosphate fertilizer may be as much as 10% higher than the production in traditional planting. Use of any kind of leaf face fertilizer on high quality violet alfalfa forage grass can increase the production yield by over 20%.

*The project was undertaken by Girem Advanced Materials Co., Ltd.*

*Through the base's demonstration effect, the accumulative total of popularization area in 2004 amounted to 4.985 million mu, more than double the assignment of 2 million mu. The newly increased agricultural revenue is 2.5 hundred million Yuan and newly increased profit and tax 1.5 hundred million Yuan. The popularization and application of the new material and new technology of rare earth for use in agricultural production in large areas will facilitate the high efficient development of agriculture in our country and the improvement of ecological environment in the West.*

Ministry of Science and Technology of the People's Republic of China

#### **Research of RE application in agriculture**

*Li Hongwei - Director of National Rare Earth Center for Agriculture- China*

- *In the spring of 1972, China took the leading in the research of RE application in agriculture. After more than 30 years united efforts of all the technicians, quite great progress has been made in the industry of RE application in agriculture in many fields: Botany Physiology, Agronomy, Toxicology Hygiene, Analysis & Examination and products standardization, etc.*
- *With the combination of the technology of RE application in agriculture and modern agriculture, many kinds of new techniques and productions are developed. For example, compound fertilizer, drought resistant matter, active budding matter, RE altered-property phosphorus fertilizer, seed coating matter, activated long-year seed, dedicated for paddy soil product, soilless culture, feed additive,*

*eco-environment lamp, flower longevity, seedling breeding, clinic pharmacy, complex pesticide, acid rain resistant product, farmland environment protection product, etc.*

- *Being the forerunner of the technology of RE application in agriculture, we always stick the tenet of "basic research serves for practical technique, production development in accordance with the market". Based on our excellent tenet and full-filled activity, we are confident that we can catch hold of the great opportunity to lead the development of RE*

*application in agriculture, to wide the market, to improve the industrialization of RE application in agriculture, and to change the advantages of resource into the advantages of benefits.*

- *We hope to hold together with insight people to fulfill the resource conformity and superiority complementarities, to pioneer the way of consolidation development and to make our enterprises stronger and bigger.*
- *May the industry of RE application in agriculture flourish all over the world.*

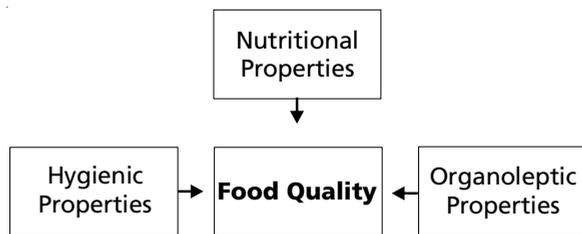
## Anexo F

### O QUE É QUALIDADE?

#### Quality counts in market place - What is quality?

In: *Quality production at balanced fertilization: the key for competitive marketing of crops* KRAUSS. Disponível em: [www.ipipotash.org](http://www.ipipotash.org). Acesso em: 30/05/2007.

*An intrinsic property of food by which it meets pre-defined standard requirements. Determinants of food quality can be grouped into several properties. Food quality therefore refers to the value, which is subjectively or objectively attached to food with respect of quality properties ..."* (ABALAKA, 1999).



**Nutritional properties** are characterized by the content of certain constituents such as protein, oil fat or starch, mineral components and vitamins. Content of fiber and ballast as well as the energy content are widely used parameters in human diet. The content of nutritive elements like protein or oil is used in many countries as a basis for procurement systems and thus is an economic factor.

**Hygienic properties** refer mostly to freedom from pests and diseases and their metabolic by-products, which might be toxic or initiate food allergy. Other aspects refer to contamination with nitrate or heavy metals, residues from agrochemicals. 'In a situation of globalization, trade liberalization and commitment to reduce tariffs and eliminate non-tariff barriers, sanitary and phytosanitary justification could be used as a means of introducing measures that are more protectionist

*than if they were only concerned with safety and health'* (GONZALO RIOS, 1999).

**Organoleptic properties** are highly subjective. They describes the appearance, color, structure, smell or taste. The preference of many customers for a shiny dark red apple, compared to a yellowish or green one, is wellknown although there might be no difference in nutritive value.

**Functional properties** are related to the crops' suitability in processing like sugar content in beets or cane, starch in potatoes, content and spectrum of fatty acids in oil seeds. The resistance of crop plants to biotic and abiotic stress such as salinity, drought, heat and cold or the tolerance to weedizides as implanted into transgenic plants can be grouped into this category.

**Environmental compatibility** of production will become an important quality parameter used by consumers when selecting food at the market or for processors in their quality management. The rather rapidly expanding market with a growth rate of 25% p.a. for 'organic products' refers to the desire of consumers for 'safe' food. It is estimated that sales in this market will be in the order of about \$20 billion and may represent within the next 5 years, 5 to 10% of the total food sales in some countries (ISHERWOOD, 2000).

ABALAKA, J.A. (1999): *Assuring food quality and safety: Back to the basis-quality control throughout the food chain.* FAO/WHO/WTO Conf. on Int. Food Trade beyond 2000, Melbourne, Australia, 11-15 Oct. 1999.

GONZALO RIOS, K. (1999): *Technical assistance needs of developing countries and mechanisms to provide technical assistance.* FAO/WHO/WTO Conference on Int. Food Trade beyond 2000, Melbourne, Australia, 11-15 Oct. 1999. [[www.ipipotash.org](http://www.ipipotash.org)], acesso em 30/05/2007

## Notas

- <sup>1</sup> A tradução em francês da “*Världshistoria*”, publicada em 1963, pela editora belga Gerard & Verviers, com o título *Histoire Universelle*. Tinha 4.500 páginas distribuídas por 12 volumes.
- <sup>2</sup> Jacqueline Russ acrescenta que “a idéia distingue-se da ideologia, sistema de idéias ou de conceitos reunidos em torno de alguns princípios fundamentais e destinados a explicar o mundo”. A autora citada é professora agregada de Filosofia, área de Ética, na França.
- <sup>3</sup> Os tópicos que se seguem foram extraídos, essencialmente de *Histoire Universelle* (GRIMBERG, 1963); *O que Aconteceu na História* (CHILD, 1966); *A Identidade da França - Os Homens e as Coisas*, v. 2 (BRAUDEL, 1986); *Quadro Econômico dos Fisiocratas* (QUESNAY, 1988); *Atlas da História do Mundo* (‘Times Books Ltd’. – Londres / ‘Folha de São Paulo’ – São Paulo, 1995); *História do Pensamento*. vol. 1 – (‘Nova Cultural’, 1987).
- <sup>4</sup> Würm é a designação utilizada na Europa; Wisconsin, a norte-americana.
- <sup>5</sup> Os americanos, os maiores produtores de milho (42% do total mundial) com uma participação de 63% no comércio global (Brasil 1%), são até hoje “milho-dependentes”. Utilizam 55% da produção na alimentação, 15% na geração de etanol e 13% em outros usos, incluindo xarope (5%), muito utilizado como adoçante nos refrigerantes. Os restantes 17% são exportados (Fonte: *Chicago Board of Trade - CBOT* [www.cbott.com] ). No México, a tortilha de milho é a base alimentar de 40% da população.
- <sup>6</sup> Única forma de sobrevivência para a sociedade humana durante cerca de 98% da permanência do homem na Terra.
- <sup>7</sup> Fernand Braudel foi professor visitante da Universidade de São Paulo – USP, de 1935 a 1937.
- <sup>8</sup> No Oriente Médio sua domesticação havia começado desde o décimo ou décimo primeiro milênio a.C. É também o início da navegação no mar Egeu (BRAUDEL, 1986).
- <sup>9</sup> Conseqüência da descoberta da impermeabilização por MacIntosh, nesse ano. Sua importância econômica aumentou com uma segunda descoberta: a da vulcanização, por Goodyear, em 1838.
- <sup>10</sup> Em 1877 foram levadas ilegalmente, pelos ingleses, mudas de seringueiras para a Malásia. As plantações desenvolveram-se rapidamente e, em pouco tempo, a sua produção viria a ultrapassar a do Brasil.
- <sup>11</sup> Em escala mundial esse crescimento foi, nos últimos 10 anos, de 1,45%. Porém não deve ser esquecido que, para esse fraco aumento, contribuiu fortemente a ex-URSS ao passar de um consumo de 21,55 Mt/ano de  $N + P_2O_5 + K_2O$  em 1990/91 para 3,73 Mt em 1999/00. Fonte IFA [www.fertilizer.org/ifa/STATISTICS].
- <sup>12</sup> **Matérias-Primas:** amônia anidra (N), fosfato de cálcio natural (P), ácido fosfórico (P).
- <sup>13</sup> **Produtos Intermediários:** sulfato de amônia, uréia, nitrato de amônio, nitrato de cálcio, SSP, SSP amoniado, TSP, MAP, DAP, cloreto de potássio, sulfato de potássio, salitre potássio, nitrato de potássio, fosfato natural de aplicação direta.
- <sup>14</sup> As importações provenientes do Canadá têm diminuído.
- <sup>15</sup> Em 1960, o consumo na URSS era de 2,62 Mt.
- <sup>16</sup> Albânia, Bulgária, ex-Checoslováquia, Hungria, ex-Iugoslávia, Polónia, Romênia.
- <sup>17</sup> As plantas leguminosas obtêm o N do ar com a ajuda de bactérias que vivem nos nódulos das raízes.
- <sup>18</sup> Na China, há uma forte utilização das terras-raras (TR) como micronutrientes, como já foi referido.
- <sup>19</sup> Foi traduzido e adaptado às condições brasileiras pelos professores A. Scheid Lopes & L.R. Guimarães Guilherme e disponibilizado no sítio da ANDA [www.anda.org.br] com o título “O Uso dos Fertilizantes Minerais e o Meio Ambiente”.
- <sup>20</sup> Guano deriva da palavra *huano* que significa excremento na língua quítxua (ALBUQUERQUE, 1996).
- <sup>21</sup> A Universidade de Guelph desenvolveu amplo e exaustivo trabalho de pesquisa em 48 países da África Subsaariana. As pesquisas foram divulgadas em extenso relatório intitulado “Rocks for Crops – Agrominerals of sub-Saharan Africa”, subscrito por Peter van Straaten.
- <sup>22</sup> O volume destas rochas inconsolidadas, portanto, de extração fácil é enorme. A formação Mata da Corda estende-se por uma área de 250 x 50 km.
- <sup>23</sup> Na Ilha Maurício, a produtividade da cana-de-açúcar responde bem à aplicação de largas quantidades de basalto (VAN STRAATEN, 2002).
- <sup>24</sup> A produção brasileira de  $K_2O$  foi, em 2005, de cerca de 405 mil toneladas (13,5% do consumo total) e as importações totalizaram 3 Mt, a um custo de 960 milhões de dólares.
- <sup>25</sup> Marcos Sawayama Jank é professor da FEA-USP e presidente do Instituto de Estudos do Comércio e Negociações Internacionais (ICONE). Luciano Rodrigues e Daniel Furlan Amaral são pesquisadores do ICONE.
- <sup>26</sup> 1€ = US\$ 1,34 = R\$ 2,55 - em 18/06/2007 (€ - Euro).
- <sup>27</sup> Canola - sigla de *Canadá Oil Low Acid*. Cultivar de colza desenvolvido no Canadá.
- <sup>28</sup> Os financiamentos concedidos no Crédito Rural, em valores atualizados (base IGP-DI médio anual), passaram de 14,3 bilhões de reais em 1971, para 54 em 1979, quando começaram a decrescer, embora com oscilações, atingindo 21,6 em 1989, 12,1 em 1993, 7,9 em 1996 e 13,8 em 2000 (valores em bilhões de reais) (Fonte: ANDA).
- <sup>29</sup> Em outubro de 1930, foi instalada, junto à mina de Ipanema, Iperó (SP), com a capacidade 2.400 t/ano, a primeira usina de beneficiamento de rocha fosfática, por iniciativa do Ministério da Agricultura, e a fábrica de superfosfato simples (SSP) com a possibilidade de produzir 4.800 t/ano.
- <sup>30</sup> Esta previsão apresentada há 8 anos deverá ser refeita, considerando-se o novo cenário dos biocombustíveis.
- <sup>31</sup> Cita-se, como exemplo, a jazida de fosfato de Sept Îles, no Canadá/Québec, associada a rochas básicas (gabros s.l.) com co-produção de apatita e ilmenita.

# Capítulo 3 - Desafios do milênio

## Os autores

---

### Hugo Nielson

Centro de Estudios para la Sustentabilidad – Universidad Nacional de San Martín  
hugo.nielson@unsam.edu.ar

### Roberto Sarudiansky

Centro de Estudios para la Sustentabilidad – Universidad Nacional de San Martín  
sarudi@fibertel.com.ar

## 1. Introdução

Em setembro de 2000, na Sede das Nações Unidas, em Nova Iorque, os Chefes de Estado e de Governo do mundo inteiro se reuniram para discutir e acordar a denominada Declaração do Milênio.

A Declaração confirmou o apoio aos princípios do desenvolvimento sustentável, definidos na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (Rio de Janeiro, 1992), e assinalou expressamente a necessidade de agir com prudência na gestão e ordenamento de todas as espécies vivas e todos os recursos naturais, de acordo com os preceitos do desenvolvimento sustentável. É necessário, segundo a Declaração, modificar as pautas insustentáveis de produção e consumo, a fim de garantir o nosso bem-estar futuro e o dos nossos descendentes.

Dois dos principais desafios postulados na Declaração são:

- reduzir a pobreza e a fome;
- zelar pela sustentabilidade ambiental.

Para isso, as autoridades governamentais concordaram em desenvolver ações para reduzir à metade, até o ano de 2015, a porcentagem de habitantes do planeta com renda inferior a um dólar por dia e a das pessoas que passam fome. Também foi decidida a elaboração e aplicação de estratégias que proporcionem aos jovens do mundo inteiro a possibilidade real de encontrar um trabalho digno e produtivo e zelar para que todos possam aproveitar os benefícios das novas tecnologias.

Com o objetivo de delinear e implementar ações para as próximas décadas e realizar ajustes para uma melhor execução da Agenda 21 da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (Rio de Janeiro, 1992), foi realizada, em setembro de 2002, na cidade de Joanesburgo, na África do Sul, a Conferência Mundial sobre o Desenvolvimento Sustentável.

A declaração política dessa Conferência reafirmou o compromisso dos países com o desenvolvimento sustentável, basicamente o que havia sido estabelecido na Agenda 21, sendo aprovado um Plano de Implementação. Nele, indica-se que: “a erradicação da pobreza é o maior desafio enfrentado atualmente pelo mundo e é um requisito indispensável para o desenvolvimento sustentável, em particular nos países em desenvolvimento”. Em outras passagens é destacado o papel crucial de atividades como a agricultura e a mineração para atender às necessidades do crescimento global da população e à erradicação da pobreza, especialmente nos países em desenvolvimento. Por outro lado, de maneira reiterada, são destacadas as necessidades de assistência técnica e financeira apropriada e de se promover o investimento do setor privado, além de apoiar os países em desenvolvimento e com economias em transição no fortalecimento da pesquisa em agricultura, na capacidade para a administração do recurso natural e na disseminação dos resultados nas comunidades. Também são promovidos programas para melhorar as práticas para o uso ambientalmente adequado, efetivo e eficiente da fertilidade do solo.

Na conferência realizada em Nova Iorque, por ocasião do sexagésimo aniversário da Organização das Nações Unidas (setembro de 2005), mais de 150 Chefes de Estado e de Governo assinaram uma nova declaração na qual os Objetivos do Milênio são ratificados. Os governantes concordam em adotar planos nacionais, a partir de 2006, para cumprir tais objetivos. Assinala-se na declaração: “Reafirmamos que o desenvolvimento é um objetivo central em si mesmo e que o desenvolvimento sustentável em seus aspectos econômicos, sociais e ambientais é um elemento fundamental do marco geral de atividades das Nações Unidas”.

Os compromissos assumidos pelos Estados consistem basicamente em aumentar a ajuda oficial para o desenvolvimento em 50 bilhões de dólares anuais, até 2010, e em concordar que o assunto deve constituir o centro das negociações de comércio internacional.

O primeiro acordo de caráter global sobre o modelo de desenvolvimento de uma agricultura sustentável que possa reduzir a fome e a pobreza, além de melhorar a proteção do meio ambiente nos países em desenvolvimento, foi alcançado em reuniões celebradas em Pequim (China - setembro de 2005) pela Organização das Nações Unidas para a Agricultura e a Alimentação (FAO). Como corolário das reuniões se instou os governos a darem prioridade aos investimentos públicos, em áreas rurais, destinados a estradas, tecnologia da informação e infra-estrutura rural, bem como aqueles destinados à pesquisa, formação profissional e educação.

O “Acordo de Pequim sobre o futuro da agricultura mundial e as áreas rurais” pediu aos governos que reconheçam o papel fundamental da agricultura e das comunidades rurais no crescimento econômico geral e no desenvolvimento sustentável. Dado que a maioria dos pobres e famintos vive em áreas rurais, recomenda-se que sejam feitos maiores investimentos em agricultura e no desenvolvimento rural, considerados “absolutamente cruciais para melhorar as vidas destas pessoas e seus meios de subsistência”. O Acordo enfatiza a necessidade urgente de se dar prioridade à pesqui-

sa agrícola, solicitando uma “revolução verde, que harmonize a redução de custos com a conservação dos recursos e o melhoramento da produção”.

Sobre o meio ambiente, o Acordo pede às comunidades rurais que se convertam nos principais guardiões dos ecossistemas locais. “A conservação e a gestão sustentável dos ecossistemas são a melhor garantia para que se possa manter funções como a biodiversidade, seqüestro de carbono, polinização e a purificação da água”. Sugere que seja desenvolvida uma estratégia que permita aos pobres serem beneficiados através da “venda” desses serviços do meio ambiente.

Finalmente, o Acordo reconhece que as práticas agrícolas contribuem para o aquecimento global e que o mesmo afeta de forma adversa a produtividade agrícola na maioria dos países em desenvolvimento. Por tal motivo, recomenda que sejam reforçadas as práticas agrícolas que reduzem o impacto do setor na mudança climática.

Posteriormente, o mesmo organismo internacional (FAO) fez um chamado aos líderes mundiais para que cumpram o compromisso estabelecido de reduzir à metade o número de famintos no planeta, até o ano de 2015. Também pediu aos governos e ao setor privado que “financiem de maneira adequada as iniciativas na luta contra a fome, por meio do desenvolvimento rural e da redução da pobreza rural, garantindo o acesso direto dos grupos mais vulneráveis aos alimentos”.

Em um relatório sobre a mobilização de recursos para combater a fome, apresentado por ocasião da conferência da ONU, a FAO destacou que “é inadmissível que 843 milhões de pessoas nos países em desenvolvimento ou de economias em transição continuem sendo vítimas da fome e que mais de um bilhão de pessoas tenham que viver com menos de um dólar diário” e acrescentou que, infelizmente, o ritmo de redução da porcentagem de famintos é excessivamente lento, “o que dificulta que os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio possam ser alcançados, especialmente na África”.

De acordo com a FAO, para reduzir a fome, é essencial que os novos fundos destinados ao desenvolvimento sejam investidos na agricultura e no desenvolvimento rural em uma proporção superior à das últimas décadas. A grande maioria dos pobres do mundo vive em áreas rurais, e os estudos demonstram que o desenvolvimento da agricultura é o principal motor para a geração de emprego e renda. O reduzido patamar do gasto público a nível nacional, junto com a redução da ajuda oficial para a agricultura e para o desenvolvimento rural nos países em desenvolvimento, se coaduna com a importância da agricultura em suas economias nacionais, especialmente no caso dos países pobres que dela dependem.

A FAO também destaca que o investimento privado é fundamental para a formação de um capital permanente na agricultura, e é responsabilidade dos governos alcançar este objetivo através da pesquisa, da regulação dos investimentos públicos, dos estímulos financeiros e da formação. Destaca ainda que “os que se dedicam à agricultura são os agricultores, não os governos. Entretanto, a falta de financiamento público adequado para bens públicos essenciais como infra-estrutura, pesquisa e formação, divulgação e desenvolvimento dos mercados, funciona como um freio para os investimentos e iniciativas do setor privado”.

## 2. Situação atual

Mais de três quartos das pessoas que passam fome vivem nas áreas rurais dos países em desenvolvimento. Aproximadamente a metade delas pertence a famílias rurais em terras marginais, onde a produção agrícola está ameaçada pela degradação ambiental. Cerca de um terço vive em domicílios rurais sem-terras que não se dedicam à agricultura, como os que dependem do pastoreio, da pesca e dos recursos florestais. Outro fenômeno alarmante é o deslocamento da desnutrição para as cidades.

Para cumprir o Objetivo de Desenvolvimento do Milênio, que prevê a erradicação da fome, é necessário melhorar a distribuição dos alimentos e incrementar a produção, sendo prioritário levar a cabo as seguintes ações:

- Concentrar-se em tecnologias que aumentem a produção agrícola. Desta maneira é possível aumentar também a renda das pessoas que possuem poucos bens além das terras.
- Dedicar mais recursos para a agricultura. Tanto nos países pobres como nos ricos, a agricultura está negligenciada, sendo necessário reverter esta tendência.
- Prevenir a degradação ambiental. As novas políticas e tecnologias destinadas a potenciar a produtividade também devem proteger os ecossistemas frágeis. As pessoas pobres são as mais prejudicadas pela degradação ambiental e, ao mesmo tempo, a pobreza gera degradação ambiental. Nos países em desenvolvimento, a baixa produtividade costuma ser a causa de tal deterioração, enquanto, na Europa e na América do Norte, a responsável é a elevada produtividade.

Calcula-se que a população mundial alcançou, em 2005, cerca de 6 bilhões e 500 milhões de habitantes. A distribuição entre áreas rurais e urbanas é praticamente equivalente. Na América Latina, que abriga quase 10% da população mundial, 34% da população rural (20% do total) é considerada população agrária por sua vinculação e dependência desta atividade.

O total da população ativa na América Latina é de 220 milhões de pessoas. Destas, aproximadamente 20% (mais de 40 milhões) trabalham diretamente em atividades do setor agropecuário. Comparativamente, devemos assinalar que, na Europa, esta relação não supera 9%. Portanto, na América Latina, o volume da população rural e a escassa diminuição, em termos absolutos, da população ativa no setor agrário em contraposição com a tendência européia, mostra uma clara e marcada dependência da região em relação ao setor agrário.

O setor agrário é, por seu lado, um importante fornecedor de alimentos para a população e um destacado solicitante de mão-de-obra e insumos, além de ser uma das principais atividades econômicas em quase todos os países da América Latina.

**Quadro 1.1** - Comparação do total de população, população rural e agrária ativa na América Latina, Europa e no mundo.

Área	População total (em milhões)			População rural (em milhões)			População Agrária Ativa (em milhões)		
	1990	2000	2010*	1990	2000	2010*	1990	2000	2010*
América Latina**	441.5	520.2	594.4	127.6	127.2	122.7	44.7	43.8	41.4
Europa	498.7	727.9	719.7	140.3	198.9	185.9	24.2	31.1	22.5
Mundial	5263.5	6070.5	6830.2	2990.3	3213.6	3324.9	1220.5	1317.8	1382.1

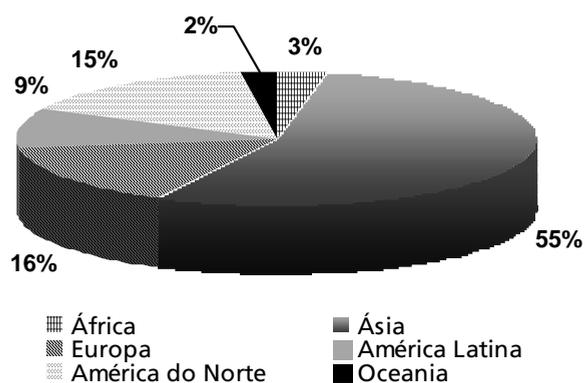
\*Projeção

\*\* Incluindo o Caribe

Fonte: FAOSTAT

A produção mundial de fertilizantes é de cerca de 250 milhões de toneladas, sendo que 60% correspondem a nitrogenados, 23% a fertilizantes fosfatados e 17% a fertilizantes potássicos. A principal região produtora é a Ásia (China e Índia), com 45%, seguida pela Europa (26%), América do Norte (20%), África (4%), América Latina (3,5%) e Oceania (1%). Na América Latina, a produção está distribuída do seguinte modo: nitrogenados (52%), fertilizantes fosfatados (32%) e fertilizantes potássicos (15%).

Na América Latina são cultivados cerca de 109 milhões de hectares, ou seja, 9% do total mundial, e a região absorve uma porcentagem semelhante de consumo de fertilizantes (Figura 1.1).



**Figura 1.1** - Consumo mundial de fertilizantes por região - 2002.

A maioria dos países latino-americanos satisfaz parte ou toda a demanda de fertilizantes por meio da importação, seja de países da mesma região ou de outras regiões, mas somente sete dos 19 países exportam, e a maior parte das exportações vai para outros países da própria América Latina.

A demanda de fertilizantes aumenta a cada ano em resposta ao incremento da população mundial, apesar de o consumo ainda ser maior nos países ou regiões mais desenvolvidas. Em resposta ao aumento da população, é esperado um incremento nas áreas cultivadas e um aumento na utilização de fertilizantes e corretivos de solo para melhorar sua produtividade e reparar a deterioração natural provocada por dita atividade.

### 3. Os minerais para a agricultura: uma oportunidade

Em todos os países do continente americano, existem recursos minerais identificados que são ou poderiam ser extraídos, processados e aplicados nas diversas atividades agropecuárias.

Os principais compostos e elementos de origem mineral utilizados na agricultura são nitratos, fosfatos, potássio, enxofre, gesso, cálcio, magnésio, boro, cobre, molibdênio, zinco, ferro, manganês, zeólitas, bentonitas, vermiculitas e turfas.

Os recursos minerais podem ser agrupados em:

- recursos utilizados para a elaboração de fertilizantes (nutrientes e micronutrientes);

- recursos utilizados para correção (corretores de solo).

Entre os nutrientes primários encontram-se o nitrogênio, o fósforo e o potássio. O cálcio, o magnésio e o enxofre (nutrientes secundários) são requeridos pelas plantas em quantidades menores que os nutrientes primários.

Entre os micronutrientes que são acrescentados aos solos como fertilizantes, encontramos o boro, cobre, ferro, manganês, molibdênio e zinco.

É considerado um corretor qualquer material inorgânico ou orgânico, exceto os usados principalmente como fertilizantes, com capacidade para modificar as características físicas, a ação microbiana e/ou alterar a acidez de um solo. Entre os corretores de origem mineral estão o enxofre, as bentonitas, as rochas carbonáticas (calcitas e dolomitas), as zeólitas, as perlitas, a turfa, a vermiculita e o gesso.

Em função da importância do setor agrário na América Latina, para um Desenvolvimento Setorial Sustentável é necessário recorrer ao uso de fertilizantes e corretores, elaborados a partir de matérias primas minerais, para melhorar a produção e diminuir a degradação dos solos. Tornar-se um fornecedor confiável para satisfazer à demanda gerada pelo setor agrário representa um desafio para o setor mineiro da região.

#### 4. Outras considerações

- Implementar estas ações permitiria alcançar uma melhor qualidade de vida para todos os cidadãos através de um desenvolvimento mais sustentável nos aspectos social, ambiental, cultural e econômico, especialmente para os mais desfavorecidos.
- A proteção da natureza deve ser compatível com o aproveitamento sustentável dos recursos naturais. Especialmente neste século, em que as novas tecnologias que pressupõem um maior respeito pelo meio ambiente permitem alcançar máximos níveis de expansão e de rentabilidade, tanto econômica como ambiental.

- Os planos para explorar qualquer recurso natural devem ser elaborados com a participação ou opinião das comunidades afetadas. Caso contrário, existe o risco de enriquecer uns poucos, de desapossar a maior parte da comunidade e de destruir o ecossistema. A disponibilidade de fundos, sozinha, não garante um desenvolvimento sólido com benefícios compartilhados por todos. Mais do que isso: o sucesso também depende de instituições sólidas, de políticas prudentes, de processos transparentes, de um amplo acesso à informação e da participação equitativa na adoção de decisões, características essenciais de uma correta gestão dos assuntos ambientais.

- Para tudo o exposto é indispensável uma vinculação permanente, íntima e responsável entre todos os atores envolvidos: o governo (local, regional e nacional), as empresas (agropecuárias, mineradoras e de serviços) e as comunidades com seus diferentes sistemas de representação genuína.

- O governo, que tem a seu cargo a função de maior responsabilidade, deve procurar uma distribuição mais equitativa da riqueza e dos benefícios dos projetos entre as comunidades diretamente envolvidas. Além disso, deve considerar a possibilidade de aplicação de políticas ativas que compreendam, harmonicamente, os dois setores produtivos. Incentivar quem investir na preservação dos solos e na maior industrialização dos produtos, induzindo a uma *produção mineira e agrícola sustentável*. Também cabe ao governo fixar e estabelecer, de maneira consensual, as regras de jogo, impulsionar a licença social para os projetos, controlar a aplicação das legislações vigentes e garantir a participação de TODOS os atores.

- Por sua parte, as empresas mineradoras devem explicar claramente os alcances de seus projetos, evitar as áreas “obscuras” nas negociações com os governos, não cair em paternalismos fáceis, estabelecer diálogos pú-

blicos com todos os atores, difundir seus compromissos de sustentabilidade e compreender a dimensão e características do novo mercado agropecuário.

- Quanto aos agricultores, têm que tomar consciência da necessidade de repor os minerais que são extraídos com cada colheita, o que melhorará os rendimentos dos solos e contribuirá para uma utilização responsável dos recursos naturais. Devem reconhecer a responsabilidade que significa utilizar o solo que é

de todos, melhorar as condições de produção agropecuária incorporando tecnologia e compreender que uma produção sustentável pode ser também um bom negócio.

- As comunidades devem informar-se e participar dos organismos de controle dos projetos, permitir a expressão de todas as suas instâncias organizativas, afastar-se dos fundamentalismos paralisantes e compreender que a maior agressão ao meio ambiente surge da fome e da pobreza.

# Capítulo 4 - Implicações das interações físico-químicas no manejo de fertilizantes para sistemas de produção agrícola em solos tropicais

## O autor

Ricardo Melamed

Engenheiro Agrônomo, Ph.D. em Química de Solos, Pesquisador do MCT. E-mail: rmelamed@mct.gov.br

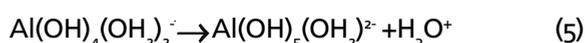
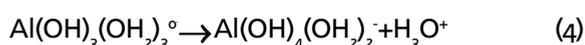
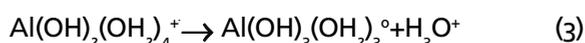
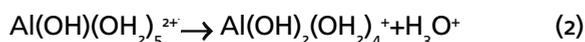
### 1. Introdução

No Brasil, os latossolos ocupam uma área estimada em aproximadamente 100 milhões de hectares (MALAVOLTA e KLIEMANN, 1985). A seqüência no intemperismo que gerou esses solos teve como reagentes essenciais a  $H_2O$  e o  $H^+$  e como produtos a sílica dissolvida e os cátions originários dos feldspatos que foram lixiviados (GARRELS e CHRIST, 1965). Como resultado desse intemperismo, a fração granulométrica de argila dos latossolos é dominada por óxidos e hidróxidos de Fe e Al e caulinita, que conferem a esses solos carga elétrica de superfície variável.

Esse processo conferiu aos latossolos características especiais, tais como: pH na faixa ácida, alto teor de Al, baixa CTC (capacidade de troca catiônica), baixa saturação de bases e alta fixação de oxi-ânions (fosfato e sulfato). Malavolta e Kliemann (1985) mostram dados que justificam a complexidade no manejo requerido para produção nesses solos cognominando-os

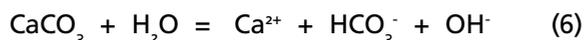
“(…) uma grande desordem nutricional que requer uma aplicação maciça de calcário e de fertilizantes, particularmente quanto ao suprimento de fósforo”.

A acidez dos latossolos é gerada pela dissociação de prótons dos óxidos e hidróxidos de Fe e Al e está intimamente ligada à química de solução do Al, que, de modo geral, é tóxico para as plantas. O Al está presente em solução envolto numa “concha” de solvatação com seis moléculas de água. As espécies de Al sofrem hidrólise em vários graus dependendo do pH (BOHN *et al.*, 1979):



O  $Al(OH)(OH_2)_5^{2+}$  formado é de pouca importância porque esta espécie ocorre somente numa faixa de pH estreita. O  $Al(OH)_5(OH_2)^{2-}$  ocorre com valores de pH acima dos valores de pH dos solos. A espécie  $Al(OH)_6^{3+}$  é predominante abaixo de pH 4,7, e é preferida em competição com outros cátions de carga menor para adsorção aos sítios de troca dos colóides, promovendo a lixiviação de Ca, Mg, K e metais traços. O  $Al(OH)_2(OH_2)_4^+$  é a forma predominante entre pH 4,7 e 6,5, enquanto o  $Al(OH)_3(OH_2)_3^0$  é a forma predominante na faixa de pH de 6,5 a 8,0. O  $Al(OH)_4(OH_2)_2^-$  predomina acima de pH 8,0.

A fase sólida  $Al(OH)_3$  precipita quando o seu produto de solubilidade é excedido. Portanto, para que o Al fique indisponível para as plantas, eleva-se o pH acima de 5,5-6,0. Assim, uma prática comum e fundamental no manejo de latossolos para produção é a aplicação de calcário, provendo hidroxilas e adicionalmente Ca ou Ca e Mg:



Os íons hidroxila produzidos neutralizam a acidez do solo, aumentando o seu pH e, dessa forma, o Al é precipitado. Sendo os latossolos de carga variável, o aumento do pH aumenta a sua CTC.

A correção, no entanto, é efetiva somente na camada em que o calcário foi aplicado e, consequen-

temente à rizosfera restrita a essa camada. Uma estratégia para controlar a disponibilidade de Al em camadas mais profundas consiste na aplicação de gesso (REEVE e SUMNER, 1972; RITCHEY *et al.*, 1980; PAVAN *et al.*, 1984). O transporte de  $\text{Ca}^{2+}$  às camadas mais profundas é promovido pelo  $\text{SO}_4^{2-}$  como liga acompanhante, formando o íon complexo  $\text{CaSO}_4^0$ , que é lixiviado e se dissocia. O  $\text{Ca}^{2+}$  troca com o  $\text{Al}^{3+}$  complexado à superfície que, por sua vez, complexa em solução com  $\text{SO}_4^{2-}$ , formando a espécie não-tóxica  $\text{AlSO}_4^+$ .

É importante notar que a aplicação de gesso não altera o pH do solo, pois sua reação não resulta no suprimento de grupos hidroxila. Outro fator a considerar é que os íons  $\text{Ca}^{2+}$  podem deslocar  $\text{K}^+$  e  $\text{Mg}^{2+}$  dos sítios de troca. Malavolta e Kliemann (1985) chamam atenção para a possibilidade de aplicação conjunta de calcário e gesso para evitar essas perdas.

As toxicidades de Mn e Fe também devem ser de preocupação para produção em latossolos. O Mn ocorre no solo em três estados de valência:  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{3+}$  (como  $\text{Mn}_2\text{O}_3$ ) e  $\text{Mn}^{4+}$  (óxido bastante estável). O nível de  $\text{Mn}^{2+}$  na solução do solo, disponível para as plantas, depende do pH, oxidação-redução e microbiologia do solo. A toxicidade do Mn pode ocorrer com o decréscimo de aeração devido à compactação e inundação, que promove um excesso de manganês na forma  $\text{Mn}^{2+}$ . As mesmas condições que levam à toxicidade por Mn podem levar à toxicidade por Fe. A correção de solos ácidos geralmente controla as toxicidades tanto de Al como de Mn.

## 2. Carga elétrica superficial

Às arestas dos colóides, os íons metálicos constituintes são incapazes de completar o padrão de coordenação existente no bojo do cristal. O resultado disso são ligações incompletas ou insatisfeitas. Nesse caso, o íon metálico se coordena com grupos OH, produzindo uma superfície hidroxilada que pode aceitar ou doar prótons dependendo do pH da solução do solo. Um excesso de prótons tornará a superfície positiva, enquanto a dissociação de hidroxilas tornará a superfície ne-

gativa. Assim, prótons e hidroxilas são considerados íons determinantes do potencial, e a carga elétrica de superfície do solo depende do pH do sistema. Quando no solo predomina esse tipo de mecanismo, este é chamado de solo de carga variável. Os latossolos são um exemplo desse tipo de solo e, geralmente, têm o seu pH natural próximo do seu Ponto de Carga Zero (PCZ), fenômeno que foi referido por Mattson (1932) como intemperismo isoelétrico. Dessa forma, a carga elétrica superficial líquida desses solos é próxima a zero.

## 3. Fixação de fósforo

Uma das principais necessidades para sistemas de produção agrícola em latossolos é o manejo de fertilizantes fosfatados, porque o fósforo é altamente sorvido por óxidos de Fe-Al e se torna indisponível para a absorção pelas culturas.

Técnicas de espectroscopia por infravermelho foram usadas para obter um modelo estrutural para a reação de superfície entre os óxidos de Fe e os íons fósforo (PARFITT *et al.*, 1975). Os resultados indicam que o principal mecanismo de adsorção em todos os óxidos de Fe estudados foi via uma forte ligação binuclear, na qual dois dos átomos de oxigênio do íon fósforo estão coordenados cada um a diferentes íons  $\text{Fe}^{3+}$  à superfície. Nesse processo, conhecido como troca de ligantes, duas hidroxilas ou duas moléculas de água da superfície são substituídas por um íon fósforo. As mudanças nos espectros de infravermelho com relação aos grupos OH<sup>-</sup> da superfície e dos íons fósforo, devido à coordenação com o  $\text{Fe}^{3+}$  da superfície, foram contrastadas com a ausência de mudanças espectrais quando da adsorção de nitrato ou clorato.

Jurinak (1966) visualizou que a substituição ou troca de cada grupo OH da superfície pelo ânion  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  ocorre de forma que o oxigênio apical do tetraedro do  $\text{PO}_4^-$  e os dois prótons associados aos três oxigênios basais fiquem orientados paralelamente à superfície. À superfície, o produto aumenta a densidade de grupos OH, sendo que o íon de coordenação central passa a ser o P ao invés do Fe. Como nesse processo a população de OH essen-

cialmente dobrou, enquanto a quantidade de moléculas de água não variaram em amostras de hematita tratadas com P, Jurinak (1966) concluiu que a molécula de água fisicamente adsorvida é conectada a um único próton do grupo  $H_2PO_4$ . A tenacidade com a qual o segundo próton desse grupo é fixada à superfície manifestou-se na alta temperatura requerida para remoção do grupo OH da molécula de água. Nesse trabalho, Jurinak (1966) mostrou que a área superficial específica da hematita aumentou de 9,9 m<sup>2</sup>/g para 11,1 m<sup>2</sup>/g, após a adsorção de P.

Devido à alta capacidade de sorção dos latossolos, uma estratégia para sistemas de produção nesses solos consiste numa aplicação de fertilizante fosfatado maciça e generalizada sobre toda a área, no primeiro ano, seguida de sucessivas aplicações localizadas na linha de plantio, nos anos subseqüentes (YOST *et al.*, 1979). Os bons resultados alcançados com esse manejo são o reflexo da saturação inicial dos sítios com alta capacidade de adsorção de P e uma maior disponibilidade do elemento para a cultura com as adições subseqüentes. Assim, nos sistemas de produção nas regiões de cerrado do Brasil e em várias partes do mundo, os insumos aplicados são feitos num solo previamente adubado com P. O manejo de P produz impactos e conseqüências na CTC dos solos e na retenção e na mobilidade de espécies de outros elementos.

#### 4. Efeito da fertilização com fosfato na carga de superfície

Como conseqüência dos mecanismos de sorção expostos acima, a carga elétrica líquida de superfície fica mais negativa quando o fosfato reage com solos de carga variável (MEKARU e UEHARA, 1972; FEY e LE ROUX, 1976; WANN e UEHARA, 1978a; BOLAN e BARROW, 1984). Nesse caso, o íon não atua como um íon de troca e balanceamento de cargas mas como um íon de determinação do potencial da superfície.

Hingston (1970) concluiu que os valores médios das mudanças em carga elétrica superficial por unidade de ânion adsorvido são característicos do

ânion e da superfície, porém os valores dessas mudanças não variam com a quantidade de ânion adsorvido. Contrariamente, Rajan (1976) relatou que a carga negativa adicionada à superfície por unidade de ânion adsorvido decresceu com a adsorção de fosfato. Esse decréscimo foi seguido por um crescimento abrupto e, a partir daí, permaneceu constante a níveis mais altos de adsorção de fosfato. A baixos níveis de cobertura de superfície, o fosfato seria adsorvido aos sítios positivos desalojando os grupos OH<sub>2</sub> da superfície, com uma rápida neutralização de carga. À medida que a superfície vai saturando, o fosfato é adsorvido aos sítios neutros, desalojando grupos OH, com pouco impacto na carga superficial. A mudança abrupta na carga superficial líquida a altos níveis de adsorção de fosfato foi interpretada como uma ruptura dos polímeros da hidro-alumina utilizada, criando novos sítios. Com esses sítios, por sua vez expostos, uma quantidade extra de fosfato é adsorvida. Ryden *et al.* (1977) observaram que a carga negativa da superfície aumentou linearmente com os níveis iniciais de adsorção, permaneceu constante a níveis intermediários de adsorção e houve um crescimento linear a altos níveis de adsorção. Esse estudo propôs um modelo de adsorção de fosfato contendo três distintas regiões, sendo que a cada região correspondia um mecanismo de reação distinto. Essa proposta foi criticada em vários estudos (POSNER e BOWDEN, 1980; SPOSITO, 1982; WHITE, 1980).

Bolan e Barrow (1984) usaram o modelo de Bowden *et al.* (1973, 1974) para descrever os efeitos do ânion adsorvido na mudança de carga superficial com a adsorção de fosfato. Esses autores enfatizaram que as reações de troca de ligantes com grupos de água e com grupos de hidroxilas não são suficientes para explicar o fato de que há sempre um aumento da quantidade de carga elétrica negativa à superfície e que essa quantidade é sempre menor do que o balanço devido ao ânion fosfato adsorvido. Para explicar todas as observações, Bolan e Barrow (1984) evocaram a teoria do modelo de quatro camadas, que envolve o balanço de carga superficial pelos íons constituintes do eletrólito suporte e a posição que es-

ses íons ocupam na camada dupla. Essa teoria explicita que, a valores de pH abaixo do Ponto de Carga Zero (PCZ), a superfície é positivamente carregada. Na ausência de adsorção de fosfato, essa carga positiva é balanceada pelos ânions do eletrólito suporte. A uma baixa adsorção de fosfato, a carga negativa produzida pela adsorção de fosfato é amplamente balanceada pelo deslocamento dos ânions eletrolíticos. Por isso, o decréscimo em carga positiva na superfície seria inicialmente rápido e alto. Com aumento da adsorção de fosfato, há poucos ânions eletrolíticos a serem deslocados e uma tendência cada vez maior para a carga negativa induzida pela adsorção de fosfato ser balanceada pela desorção de  $H^+$  (ou desprendimento de  $OH^-$ ) no plano da superfície. A carga líquida conferida à superfície é, portanto, menor, e a mudança de carga com adsorção de fosfato estabiliza. Quando a superfície se torna negativa (a valores de pH acima do PCZ ou a altos níveis de adsorção de fosfato), a carga induzida pela desorção de fosfato pode ser balanceada pela adsorção de cátions eletrolíticos, e o balanceamento da carga se move cada vez mais para a região fora das fronteiras da superfície. O resultado é um aumento na carga conferida à superfície a altos níveis de adsorção de fosfato. A conclusão de Rajan (1976) quanto a uma ruptura de partículas produzindo novos sítios, a altos níveis de adsorção de fosfato, foi dessa forma contestada.

A teoria defendida por Bolan e Barrow (1984) associada ao modelo de Bowden *et al.* (1977) também explica porque o incremento de carga negativa produzido pela adsorção de sulfato à gibsitita (HINGSTON, 1981) é maior do que o incremento produzido pela adsorção de fosfato: a intimidade ou grau de complexação do sulfato à superfície é menor que a do fosfato, portanto, o plano médio de adsorção de sulfato é mais afastado da superfície em comparação com o fosfato. Nesse caso, o balanço de carga devido à adsorção de sulfato é mais afastado da superfície quando comparado com o balanço de carga devido à adsorção de fosfato. Quanto mais distante da superfície estiver o íon adsorvido, maior será a atuação do eletrólito suporte no balanço de carga da superfí-

cie, e a carga induzida será maior. Em contraste, quanto mais próximo o íon adsorvido for da superfície, maior atuação no processo de troca de ligantes e, conseqüentemente, a carga conferida à superfície será menor. Bolan e Barrow (1984) também mostraram que o aumento da Força Iônica do sistema, pelo aumento da concentração do eletrólito suporte, resulta numa maior disponibilidade de íons eletrolíticos, fazendo com que o balanço de carga, em face à adsorção, a mova-se fora da fronteira da superfície. Então, a carga conferida na superfície à força iônica mais alta é maior. A quantidade de carga negativa conferida à superfície quando da adsorção de fosfato deve ser menor do que a carga do ânion fosfato adsorvido (BOLAN e BARROW, 1984). Melamed (1993) relatou que -1,1 e -0,7 mmolc, estimados por titulação potenciométrica e adsorção iônica, respectivamente, foram adicionados à superfície de um latossolo por cada mmol de fosfato adsorvido. No latossolo estudado por Mekarú e Uehara (1972), -0,8 mmolc foram adicionados por mmol de fosfato adsorvido.

Estudos conduzidos por Melamed (1993) indicaram ainda que o efeito da adsorção do ânion fosfato em latossolo é de deslocar o seu PCZ para valores de pH mais baixos e fazer com que a carga líquida negativa fique mais negativa a qualquer valor de pH acima do correspondente PCZ. A presença do fosfato teve um maior impacto na CTC e na CTA (capacidade de troca aniônica) desse latossolo do que seria esperado pela variação somente do pH. A CTC foi significativamente aumentada, isto é, a carga elétrica negativa, a determinado pH, tornou-se mais negativa na presença de fosfato. Da mesma forma, a CTA decresceu, ou seja, a carga elétrica positiva decresceu com incremento da adição de fosfato.

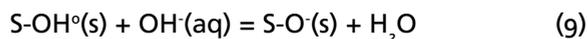
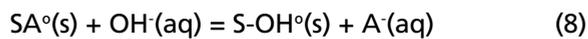
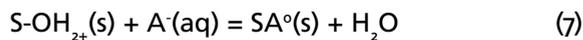
## 5. Interações entre a sorção de fosfato e o pH

Hingston *et al.* (1972) mostraram que houve uma tendência geral de decréscimo na adsorção de fosfato com o aumento do pH do sistema.

Para ânions que "protonam", tal como o  $HPO_4^{2-}$ , um aumento do pH produz um "envelope de adsorção" que reflete a competição entre o sítio à superfície e o ânion pela presença decrescente do

próton, ao mesmo tempo, aumentando a repulsão do ânion da superfície (SPOSITO, 1989). Obihara e Russel (1972) observaram picos na declividade das curvas dos envelopes de adsorção. Barrow (1987) notou que esses picos nas curvas ocorrem próximo aos valores de pH do ácido correspondente e que uma característica particular da adsorção de ânions é que uma bem definida adsorção máxima pode ser determinada.

Uma outra reação possível que contribui para a redução da adsorção do ânion com o aumento do pH envolve a competição do OH<sup>-</sup> pelo sítio que contem o ânion complexado:



onde:

SOH<sub>2</sub><sup>+</sup> representa o sítio positivo,

SOH<sup>o</sup> representa o sítio neutro,

A<sup>-</sup> representa o ânion especificamente adsorvido.

Nesse sentido, a espécie OH<sup>-</sup> é um íon efetivamente competitivo, além de ser um íon determinante do potencial de superfície. A decrescente adsorção de ânions, à medida que o pH aumenta, indica a suprema importância da dupla iônica H<sup>+</sup>/OH<sup>-</sup> como grupo funcional do solo.

Pelo fato de a adsorção de fosfato envolver troca de ligantes, é de se esperar que adições de P a suspensões irão aumentar o pH da solução do solo. No entanto, os resultados de Lutz e Haque (1975) indicam que somente altas taxas de caolinita tratada com fosfato afetaram o pH da suspensão. O tratamento com H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> às argilas estudadas decresceu o pH destas, e o tratamento com CaH<sub>4</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> aumentou o pH da caolinita. Ambas as fontes de P aumentaram o potencial zeta e a hidratação das argilas, embora esses aumentos tenham sido irregulares.

Rajan e Fox (1975) mostraram que a adsorção de P aumentou o pH da solução até certo ponto e que depois permaneceu constante para um tipo de

solo, chegando a decrescer para outro tipo de solo. Experimentos em colunas de latossolo tratados com 16,2, 32,4 e 48,6 mmol P/kg resultaram em aumentos no pH de equilíbrio de 5,5 para 5,8, 6,0 e 6,5, respectivamente (MELAMED *et al.*, 1995).

## 6. Efeito da fertilização com fosfato na disponibilidade de outros nutrientes

Os efeitos do fosfato nas propriedades elétricas das superfícies dos solos são de extrema importância em sistemas agrícolas, porque a retenção e mobilidade e, conseqüentemente, a biodisponibilidade de espécies químicas podem ser alteradas. O fosfato pode efetivamente aumentar a mobilidade de ânions que formam complexos de esfera interna, tal como o sulfato (CHAO *et al.*, 1962), e de ânions que formam complexos de esfera externa, tal como o nitrato (MEKARU e UEHARA, 1972; KINJO e PRATT, 1971), e decrescer a lixiviação de Ca e K (WANN e UEHARA, 1978b).

### 6.1 Espécies aniônicas

Estudos conduzidos por Chao *et al.* (1962) indicaram somente ligeiros efeitos do fosfato na mobilidade do sulfato num tipo de solo (Aiken) com 57% de argila e 6,84% de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, enquanto, num outro tipo de solo (Willamette) com 29% de argila e 2,37% de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, o fosfato teve um efeito apreciável no movimento de S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, aumentando sua atividade no efluente. A perda por lixiviação de sulfato variou de 17% na ausência de P a 28% no menor tratamento com P. Porém, os tratamentos mais altos com P não resultaram em perdas maiores de sulfato. Decréscimos na adsorção de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, devido à presença de fosfato, foram também relatados por Ryden *et al.* (1987). Bolan *et al.* (1988) demonstraram que a incubação de solos com P resultou numa carga elétrica negativa líquida de superfície e no decréscimo na adsorção de sulfato, tanto nos experimentos em batelada como nos experimentos em coluna.

Estudos de adsorção em um latossolo brasileiro conduzidos por Kinjo e Pratt (1971) mostraram que a adsorção negativa de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ocorreu quando H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> excedeu uma certa concentração. Mekarú e

Uehara (1972) também encontraram adsorção negativa de nitrato quando o fosfato foi adicionado a suspensões coloidais com carga positiva, inicialmente.

A adsorção negativa mostrou-se um fenômeno importante considerando-se o movimento de ânions através do solo (BOND *et al.*, 1982; KRUPP *et al.*, 1972; JAMES e RUBIN, 1986; THOMAS e SWOBODA, 1970). A adsorção negativa, preferencialmente chamada exclusão de ânions na teoria de transporte de solutos, refere-se à repulsão de ânions de uma superfície de solo negativamente carregada (SCHOFIELD, 1947). Esse fenômeno dá origem a um déficit de ânions na vizinhança de uma partícula negativamente carregada e um excesso de ânions na solução do solo (DE HAAN e BOLT, 1963). A importância da exclusão de ânions é a remoção destes da água relativamente imóvel, associada à camada difusa dupla, e posicionados na mais rápida água dos poros. Como resultado, a velocidade média do ânion é maior do que a média da velocidade da água dos poros (SMITH, 1972). O volume de água imediatamente adjacente à superfície das argilas não contém os ânions, não participa no processo de lixiviação e, dessa forma, quanto maior o volume de exclusão de ânions, maior a mobilidade do sal a um conteúdo de água definido (THOMAS e SWOBODA, 1970).

Onken *et al.* (1977) observaram que tanto o íon Br<sup>-</sup> como o íon Cl<sup>-</sup> poderiam ser usados como indicadores do movimento de nitrato devido às suas similares interações com as superfícies, sendo que nenhum desses dois íons estão sujeitos às transformações biológicas às quais o nitrato é suscetível. A utilidade do ânion Br<sup>-</sup> como um traçador de nitrato em estudos de coluna foram demonstrados por Smith e Davis (1974). O Br<sup>-</sup> é utilizado preferencialmente ao ânion Cl<sup>-</sup>, devido a sua mais baixa concentração nos solos e águas e porque seu raio iônico assemelha-se mais ao do nitrato do que ao raio iônico do Cl<sup>-</sup>. Melamed *et al.* (1994) mostraram que a presença do fosfato nos sítios de superfície induziu um movimento mais rápido do Br<sup>-</sup> através de colunas de latossolo. A análise das curvas de transporte deste estudo indicou que o mo-

vimento do Br<sup>-</sup> estava sendo retardado na coluna do solo controle. Com o aumento nos tratamentos à coluna de solo com fosfato, a mobilidade do Br<sup>-</sup> aumentou progressivamente gerando deslocamentos das curvas de transporte para a esquerda. A extensão do efeito do fosfato na mobilidade do Br<sup>-</sup> na coluna de solo resultou em fatores de retardação menores que 1, inferindo exclusão do ânion Br<sup>-</sup>. O fenômeno foi especialmente notado nos dois tratamentos mais altos com o fosfato. Esses resultados são corroborados por experimentos de adsorção em batelada conduzidos por Kinjo e Pratt (1971), que demonstraram que os latossolos são aptos a adsorver ânions que formam complexos de esfera externa à superfície, que esses solos mostram uma ligeira preferência na adsorção de Cl<sup>-</sup> sobre NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e que a adsorção negativa de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ocorreu quando o sulfato ou fosfato excedeu certos níveis de concentração.

## 6.2 Espécies catiônicas

Wann e Uehara (1978b) mostraram que a posição das curvas de transporte de K de um latossolo depende do ânion que acompanha esse cátion. As concentrações de K no efluente chegaram à metade da concentração do influente após passados 4,25 volumes porosos, quando o ânion acompanhante foi o Cl<sup>-</sup>. Quando o ânion acompanhante foi o H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>, foram necessários 8,20 volumes porosos. Esses autores atribuíram as diferenças marcantes na forma e posição das curvas de transporte às mudanças em CTC associadas à adsorção do ânion fosfato. Esses deslocamentos nas curvas de transporte de K à direita foram significativamente relacionados à diminuição do PCZ, que, por sua vez, foi relacionada aos níveis de P aplicados. As adições de fosfato aos solos também aumentaram a adsorção de cátions tal como o Ca<sup>2+</sup> (RYDEN e SYERS, 1976).

Quanto aos mecanismos envolvidos nessa retenção de Ca, Helyar *et al.* (1976) postularam um complexo de superfície consistindo de dois íons fosfatos adsorvidos em adjacência e um cátion divalente com tamanho apropriado, carga e propriedade de coordenação, tal como o Ca, numa posição cen-

tral. Essas conclusões foram mais tarde criticadas por Barrow e Shaw (1979b), porque seus resultados mostram uma relação inversa entre a habilidade do sal de induzir dessorção de fosfato e a habilidade de dessorver o Ca. Barrow e Shaw (1979b) concluíram que a identidade e concentração do cátion têm um grande efeito na dessorção de fosfato e que a tendência de liberação do fosfato decresceu quando os cátions que equilibram a carga negativa no fosfato adsorvido estavam próximos da superfície.

Ryden e Syers (1976) mostraram que o Ca retido foi essencialmente recuperado em lavagens com 1 M KCl em contraste à recuperação fracional do fosfato sorvido. A retenção de Ca em resposta à sorção de fosfato foi atribuída ao decréscimo na carga negativa, associada à adsorção de fosfato, ao invés de uma reação de precipitação de fosfato de cálcio.

## 7. Conclusão

Existem vários processos-chave envolvidos no manejo de fertilizantes para produção agrícola em solos tropicais. Um sistema de produção integrado que inclua a química e a fertilidade de solos, fisiologia de plantas e genética, matéria orgânica, fertilizantes alternativos, métodos de aração e irrigação é de fundamental importância.

Esse capítulo foca importantes processos físico-químicos que são subsídio essencial no manejo de fertilizantes em latossolos, porque podem afetar o transporte e a biodisponibilidade de elementos nutrientes. Ênfase foi dada nos processos de correção da acidez desses solos, carga elétrica de superfície, fertilização de P, interações com o pH e efeito da adubação com P na mobilidade de outros elementos.

A complexidade da físico-química de fosfato em latossolos e a compreensão do seu comportamento e interações como outros parâmetros de solos, inclusive outras espécies químicas, faz com que o manejo da fertilização com P seja uma das principais estratégias para um bom crescimento, de-

envolvimento e, conseqüentemente, produtividade das culturas plantadas nesses solos.

## Referências bibliográficas

- BARROW, N.J. 1987. Reactions with variable-charge soils. *Developments in Plant and soil sciences*. Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht/Boston/Lancaster.
- BARROW, N.J. e T.C. SHAW. 1979b. Effects of ionic strength and nature of the cation on desorption of phosphate from soil. *J. Soil Sci.* 30:53-65.
- BOHN, H.L., McNEAL, B.L. e O'CONNOR, G.A. 1979. *Soil Chemistry*. John Wiley & Sons
- BOLAN, N.S. e N.J. BARROW. 1984. Modelling the effect of adsorption of phosphate and other anions on the surface charge of variable charge oxides. *J. Soil Sci.* 35:273-281.
- BOLAN, N.S., J.K. SYERS, R.W. TILLMAN e D.R. SCOTTER. 1988. Effect of liming and phosphate additions on sulphate leaching in soils. *J. Soil Sci.* 39:493-504.
- BOND, W.J., B.N. GARDINER e D.E. SMILES. 1982. Constant-flux absorption of a tritiated calcium chloride solution by a clay soil with anion exclusion. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 46:1133-1137.
- BOWDEN, J.W., M.D.A. BOLLAND, A.M. POSNER e J.P. QUIRK. 1973. Generalised model for anion and cation adsorption on oxide surfaces. *Nature: Physical Sciences* 245:81-83.
- BOWDEN, J.W., A.M. POSNER e J.P. QUIRK. 1974. A model for ion adsorption on variable charge surfaces. *Transactions of 10th International Congress in Soil Science*. Moscow. Vol. 11 pp. 29-36.
- BOWDEN, J.W., A.M. POSNER e J.P. QUIRK. 1977. Ionic adsorption on variable charge mineral surfaces: Theoretical-charge development and titration curves. *Aust. J. Soil Res.* 15:121-136.
- CHAO, T.T., M.E. HARWARD e S.C. FANG. 1962. Movement of  $S^{35}$  tagged sulfate through soil columns. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 26:27-32.

- De HAAN, F.A.M. e G.H. BOLT. 1963. Determination of anion adsorption by clays. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 27:636-640.
- FEY, M.V. e J. Le ROUX. 1976. Electric charges on sesquioxidic soil clays. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 40:359-364.
- GARRELS, R.M. e CHRIST, C.L. 1965. *Solutions, Minerals, and Equilibria*. Harper & Row Publishers, New York.
- HELYAR, K.R., D.N. MUNNS e R.G. BURAU. 1976. Adsorption of phosphate by gibbsite. I. Effects of neutral chloride salts of calcium, magnesium, sodium, and potassium. *J. Soil Sci.* 27:307-314.
- HINGSTON, F.J. 1970. Specific adsorption of anions on goethite and gibbsite. PhD dissertation, University of Western Australia.
- HINGSTON, F.J. 1981. A review of anion adsorption. p. 51-90. *In* M.A. Anderson and A.J. Rubin (ed.) *Adsorption of inorganics at solid-liquid interfaces*. Ann Arbor Science Publishers, Ann Arbor, MI.
- HINGSTON, F.J., A.M. POSNER e J.P. QUIRK. 1972. Anion adsorption by goethite and gibbsite: I. The role of the proton in determining adsorption envelopes. *J. Soil Sci.* 23:177-192.
- JAMES, R.V. e J. RUBIN. 1986. Transport of chloride ion in a water-unsaturated soil exhibiting anion exclusion. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 50:1142-1149.
- JURINAK, J.J. 1966. Surface chemistry of hematite: anion penetration effect on water adsorption. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 30:559-562.
- KINJO, T. e P.F. PRATT. 1971. Nitrate adsorption: II. In competition with chloride, sulfate, and phosphate. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 35:725-728.
- KRUPP, H.K., J.W. BIGGAR e D.R. NIELSEN. 1972. Relative flow rates of salt and water in soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 36:412-417.
- LUTZ, J.F. e I. HAQUE. 1975. Effects of phosphorus on some physical and chemical properties of clays. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 39:33-36.
- MALAVOLTA, E. e KLIEMANN, H.J. 1985. Desordens Nutricionais no Cerrado. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo
- MATTSON, S. 1932. The laws of soil colloidal behavior: IX. Amphoteric reactions and isoelectric weathering. *Soil Sci.* 34:209-240.
- MEKARU, T. e G. UEHARA. 1972. Anion adsorption in ferruginous tropical soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 36:296-300.
- MELAMED, R. 1993. Competitive adsorption of phosphate on the retention and mobility of anions. PhD dissertation. Utah State University.
- MELAMED, R., JURINAK, J.J. e DUDLEY, L.M. 1994. Anion exclusion-pore water velocity interaction affecting the transport of Br through an Oxisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58:1405-1410.
- MELAMED, R., JURINAK, J.J. e DUDLEY, L.M. 1995. Effect of adsorbed phosphate on transport of arsenate through an Oxisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59:1289-1294.
- OBIHARA, C.H. e E.W. RUSSEL. 1972. Specific adsorption of silicate and phosphate by soils. *J. Soil Sci.* 23:105-117.
- ONKEN, A.B., C.W. WENDT, R.S. HARGROVE e O.C. WILKE. 1977. Relative movement of bromide and nitrate in soils under three irrigation systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41:50-52.
- PARFITT, R.L., R.J. ATKINSON e R.St.C. SMART. 1975. The Mechanism of phosphate fixation by iron oxides. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 39: 837-841.
- PAVAN, M.A., BINGHAM, F.T. e PRATT, P.F. 1984. Redistribution of Exchangeable Ca, Mg and Al following lime or gypsum application to a Brazilian Oxisol. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 48(1): 33-38.
- POSNER, A.M. e J.W. BOWDEN. 1980. Adsorption isotherms. Should they be split? *J. Soil Sci.* 31:1-10.
- RAJAN, S.S.S. 1976. Changes in net surface charge of hydrous alumina with phosphate adsorption. *Nature* 262:45-46.
- RAJAN, S.S.S. e R.L. FOX. 1975. Phosphate adsorption by soils: II. Reactions in tropical acid soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 39:846-851.
- REEVE, N.G. e SUMNER, M.E. 1972. Amelioration of subsoil acidity in Natal Oxisol by leaching of surface applied amendments. *Agrochemophisica* 4:1-6.

- RITCHEY, K.D., SOUZA, D.M.G., LOBATO, E. e Correa, O. 1980. Ca leaching to increase rooting depth in a Brazilian savannah Oxisol. *Agronomy* 72:40-44.
- RYDEN, J.C., J.R. McLAUGHLIN e J.K. SYERS. 1977. Mechanisms of phosphate sorption by soils and hydrous ferric oxide gel. *J. Soil Sci.* 28:72-92.
- RYDEN, J.C. e J.K. SYERS. 1976. Calcium retention in response to phosphate sorption by soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 40:845-846.
- RYDEN, J.C., J.K. SYERS e R.W. TILLMAN. 1987. Inorganic anion sorption and interactions with phosphate sorption by hydrous ferric oxide gel. *J. Soil Sci.* 38:211-217.
- SCHOFIELD, R.K. 1947. Calculation of surface areas from measurement of negative adsorption. *Nature.* 160:408-410.
- SMITH, S.J. 1972. Relative rate of chloride movement in leaching of surface soils. *Soil Sci.* 114:259-263.
- SMITH, S.J. e R.J. DAVIS. 1974. Relative movement of bromide and nitrate through soils. *J. Environ. Quality.* 3:152-155.
- SPOSITO, G. 1982. On the use of the Langmuir equation in the interpretation of "adsorption" phenomena: II. The "two-surface" Langmuir equation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46:1147-1152.
- SPOSITO, G. 1989. *The chemistry of soils.* Oxford University Press, New York.
- THOMAS, G.W. e A.R. SWOBODA. 1970. Anion exclusion effects on chloride movement in soils. *Soil Sci.* 110:163-166.
- WANN, S.S. e G. UEHARA. 1978a. Surface charge manipulation of constant surface potential soil colloids: I. Relation to sorbed phosphorus. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42:565-570.
- WANN, S.S. e G. UEHARA. 1978b. Surface charge manipulation of constant surface potential soil colloids: II. Effect on solute transport. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42:886-888.
- WHITE, R.E. 1980. Retention and release of phosphate by soil and soil constituents. p. 71-114. *In* P.B. Tinker (eds.) *Soils and agriculture. Critical reports on applied chemistry volume 2,* Society of Chemical Industry. Oxford: Blackwell Scientific Publications.
- YOST, R.S., E.J. KAMPRATH, E. LOBATO e G.C. NADERMAN. 1979. Phosphorus response to of corn on an Oxisol as influenced by rates and placement. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43:338-343.

# Capítulo 5 - Fertilização natural: rochagem, agricultura orgânica e plantio direto. Breve síntese conceitual

## Os autores

### Francisco Eduardo de Vries Lapido-Loureiro

Geólogo D.Sc., Pesquisador Emérito CETEM/MCT - flapido@cetem.gov.br

### Roberto Carlos C. Ribeiro

Engenheiro Químico, CETEM/MCT - rcarlos@cetem.gov.br

## 1. Introdução

O aquecimento global é uma das grandes ameaças à segurança alimentar, muito em especial nas regiões tropicais. Diminuir a emissão de gases de efeito estufa (GEE) é, nos dias de hoje, um dos maiores desafios da humanidade.

Por isso, não deve ser esquecido que a agroindústria é responsável por, pelo menos, 30% das emissões de CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono), NH<sub>4</sub> (metano) e N<sub>2</sub>O (óxido nitroso) para a atmosfera.

Pode-se dizer que o CO<sub>2</sub> provém, entre outras fontes, do desmatamento/desflorestamento, de mudanças no uso da terra e da própria indústria dos fertilizantes. As emissões de NH<sub>4</sub> resultam da pecuária (fermentação entérica), do estrume e de culturas de várzea, como a do arroz. As de N<sub>2</sub>O, da desnitrificação do solo e, em menor escala, do estrume.

A matéria orgânica morta decompõe-se, liberando CO<sub>2</sub>, cuja concentração nos poros do solo pode ser até 100 vezes maior que na atmosfera (TOLEDO *et al.*, 2000).

Lembra-se também que, nos países desenvolvidos, a produção de fertilizantes, principalmente a de nitrogenados, é responsável por metade da energia gasta na agricultura, podendo ser ainda maior nos países em desenvolvimento.

A mundialização da economia, envolvendo o agronegócio, leva a uma obsessiva política de au-

mento constante da produtividade na agricultura, muito apoiada nos fertilizantes, defensivos agrícolas e no recurso a OGMs, com a conseqüente diminuição do conteúdo de matéria orgânica nos solos. Nas *Great Plains* dos EUA, por exemplo, a redução chegou a 50% nos últimos 50 a 100 anos e, na França, mais de 7 milhões de hectares de solos agrícolas têm hoje menos de 1,6% de matéria orgânica, quando, há poucas décadas, continham mais de 2%. Tais fatos traduzem uma significativa transferência de CO<sub>2</sub> para a atmosfera (AUBERT, 2007).

É por esse motivo e também pelo desejo dos consumidores terem alimentos de qualidade que a remineralização natural (rochagem), a agricultura orgânica e/ou a conjugação de ambas e o plantio direto (agricultura de conservação) estão a merecer toda a atenção e a ter grande desenvolvimento em vários países. A rochagem, como fonte de macro e micronutrientes, e a 'agricultura orgânica', como fonte de nitrogênio e de outros nutrientes, podem revestir-se de grande importância socioeconômica na produção sustentável de alimentos, principalmente na agricultura familiar (pequenas propriedades).

A agricultura de conservação é sinônimo de uma técnica que visa uma melhor utilização dos recursos agrícolas pela gestão integrada das disponibilidades em solo, água e recursos biológicos combinada com a redução das 'entradas' externas (FAO, 2003).

O perfil do agronegócio está a ser fortemente modificado pelo aumento da procura de produtos alimentares com certificado de qualidade e, principalmente, pelo forte desenvolvimento dos biocombustíveis, embora a idéia da sua utilização, como fonte energética, não seja recente.

Na Tabela 1.1 apresentam-se as quantidades de CO<sub>2</sub> emitido (7.773kg/1000 L) e absorvido (7.464 Kg/1000L no ciclo de produção e uso do etanol.

Para fornecer a mesma quantidade de energia, o ciclo de produção e uso da gasolina libera 3.368 Kg de CO<sub>2</sub>, ou seja, a gasolina deixa 3.059 Kg (3.368 - 309) de CO<sub>2</sub> a mais na atmosfera.

Nos EUA, mesmo que toda a safra de milho e soja fosse transformada em biocombustível, este substituiria apenas 12% da gasolina e 6% do óleo diesel. No Brasil, o consumo de etanol já ultrapassou o da gasolina.

Os biocombustíveis não deverão ser considerados como panacéia para redução dos GEEs, principalmente quando a fonte para produção de álcool

etílico é o milho. Neste caso, no processo de produção de álcool etílico, há liberação de grande quantidade de CO<sub>2</sub>. É certo que os resíduos da fermentação do açúcar, em tanques, processo que o transforma em álcool, podem ser aproveitados na alimentação do gado bovino. Parte da água com teor elevado de nitrogênio usada neste processo pode também ser aproveitada como fertilizante, mas *“a própria produção de etanol de milho consome uma quantidade considerável de combustível fóssil – justamente o que ele vem substituir”* (BOURNE, Jr., 2007).

O balanço de energia para converter o milho em etanol é negativo (1,29:1,) ou seja, gasta-se 29% a mais de energia fóssil para produzir o álcool de milho; o da cana é positivo (1:3,24). O gasto total de energia fóssil na indústria, para converter os açúcares na mesma quantidade de etanol é quatro vezes maior no milho (6,6 bilhões de kcal) do que na cana-de-açúcar (1,6 bilhões). Além disso, a cana produz três vezes mais álcool por unidade de superfície (ANDREOLI e SOUZA, 2006).

**Tabela 1.1** – Quantidade de CO<sub>2</sub> emitido e absorvido no ciclo de produção de 1000 litros de etanol, em quilogramas<sup>(1)</sup>.

Atividade	CO <sub>2</sub> Emitido (Kg/1000 L)	CO <sub>2</sub> Absorv. (Kg/1000 L)	Observações / Balanço
1) Produção da cana	173		Uso de combustíveis fósseis <sup>(a)</sup>
2) Crescimento da cana		7.464	P/ produção de 1.000 L de etanol <sup>(b)</sup>
3) Colheita e Transporte	2.940		Equipamentos, colheita, transporte <sup>(c)</sup>
4) Fabricação do álcool	3.140		Prod. de insumos e queima de bagaço <sup>(d)</sup>
5) Consumo nos carros	1.520		Liberados pelos motores dos carros
<b>Totais / Balanço</b>	<b>7.773</b>	<b>7.464</b>	<b>309<sup>(e)</sup></b>

Fonte: L. A. Horta Nogueira

<sup>(a)</sup> Tanto diretamente na frota de trabalho, como indiretamente na produção de adubos.

<sup>(b)</sup> Para produzirem 1.000 litros de etanol, são necessárias 12 toneladas de cana que, em seu crescimento, retiram 7.464 Kg de CO<sub>2</sub>.

<sup>(c)</sup> O diesel e equipamentos geram 88 Kg de CO<sub>2</sub>. No caso de a palha ser queimada antes da colheita, outros 2.852 Kg vão para a atmosfera.

<sup>(d)</sup> Na produção de insumos emitem-se 48 Kg de CO<sub>2</sub>. Com a queima do bagaço, o processo de fermentação libera outros 3.092 Kg.

<sup>(e)</sup> Balanço final: 1 + 3 + 4 - 2 = 309

<sup>(1)</sup> No cálculo apresentado por Horta Nogueira, foram considerados dados da região Centro-Sul do Brasil

**Tabela 1.2** – Alguns parâmetros comparativos entre a produção de etanol de cana-de-açúcar no Brasil e de milho nos EUA.

Parâmetro	Unidade	Cana-de-açúcar	Milho
Rendimento	t/ha	90,0	8,1
Energia exigida	Kcal x 1000	10.509	8.115
Produção de álcool (L/ha)	Litros/ha	8.100	3.000
Produção de álcool (L/t)	Litros/t	90	371
Taxa de conversão	Kg/1000L	11.110	2.690
Custo de produção	US\$/L	0,42	0,92
Número de usinas <sup>(a)</sup>	unidade	140	101
Subsídios	US bilhões / ano	---	4,1

(a) Novas unidades: 8g no Brasil e 40 nos EUA.

Fonte: ANDREOLI e SOUZA, 2006.

Estes autores, no trabalho apresentado na “Conferência Internacional de Agroenergia” realizada de 11 a 13 de dezembro de 2006 em Londrina (PR), mostraram números comparativos, elucidativos, sobre a produção de etanol de milho nos EUA e de cana-de-açúcar no Brasil, que se reproduzem, em parte, na Tabela 1.2.

No mesmo trabalho, aqueles autores apresentam os valores da emissão de GEE (GEE equivalente a g CO<sub>2</sub>/MJ) durante a produção e combustão de biocombustíveis, diesel e gasolina, em g/MJ:

- etanol de cana – 33,6;
- etanol de milho – 84,9;
- biodiesel de soja – 49,5;
- diesel – 82,3;
- gasolina – 96,9.

## 2. Rochagem e remineralização de solos agrícolas - A geologia a serviço da agricultura

Há uma relação histórica entre o desenvolvimento da agricultura nas principais civilizações antigas e a geologia / geografia. A agricultura sempre ocorreu em solos naturalmente férteis de planícies aluviais ao longo de rios ou em áreas vulcânicas. A utilização de materiais fertilizantes, tais como estrume animal, cinzas e minerais/rochas (como, por exemplo, o gesso), confunde-se com os primórdios da atividade agrícola.

A rápida e efetiva resposta ao aumento da produtividade na agricultura, pela aplicação dos fertilizantes convencionais, defensivos agrícolas e desenvolvimento de espécies geneticamente modificadas (OGMs), é um fato comprovado. No entanto, nos países em desenvolvimento, são fatores limitantes ou impeditivos para a sua utilização: os elevados custos, diretos e de transporte dos fertilizantes, o despreparo tecnológico e baixo (ou inexistente) poder financeiro do pequeno agricultor.

A rochagem pode contribuir para a redução no consumo de fertilizantes industriais que exigem grande quantidade de energia para sua fabricação e ser um agente dinamizador de produtividade e qualidade do pequeno agricultor (ANEXO A).

Não se deve esquecer que, no caso do Brasil, cerca de metade das propriedades agrícolas têm menos de 10 ha, 89%, menos de 100 ha e mais de 60% dos estabelecimentos agropecuários não empregam qualquer tipo de fertilizante. Por outro lado, mais de 50% dos fertilizantes consumidos no País (quase 90%, no caso do potássio) são importados. Por último, mas não menos importante, é preciso considerar que a agroindústria, nos moldes atuais, é responsável por cerca de 30% das emissões de gases de efeito estufa. É por isso que o estudo e desenvolvimento de novos caminhos e de novos materiais fertilizantes que atendam à qualidade dos alimentos produzidos e à resolução dos problemas socioeconômicos, criados pelo atual perfil do agronegócio, estão a ser impulsionados em vários países.

À exceção do nitrogênio, todos os nutrientes necessários ao bom desenvolvimento das plantas são de origem mineral, mas não se pode esquecer que, nas condições normais de clima, a desagregação mecânica e a alteração química não são suficientemente intensas para liberarem os nutrientes ao ritmo necessário para o crescimento das plantas, dentro dos níveis de produtividade atingidos atualmente. Mesmo a agricultura orgânica ou biológica necessita de aditivos minerais, principalmente P e K.

Como foi referido neste livro (capítulo 2), 'rochagem', 'remineralização' e 'pó-de-rocha' (*rock-for-crops*) são termos utilizados para designar uma técnica de fertilização natural capaz de contribuir para recompor o perfil de nutrientes necessário a uma agricultura de alta produtividade, associada à qualidade, em solos empobrecidos pelo intemperismo/lixiviação ou pelo uso inadequado e intensivo (abusado).

A rochagem é um processo alternativo ou complementar de fertilização, mais indicado para as pequenas propriedades, especialmente na agricultura familiar, que consiste na adição de pó-de-rocha ('petrofertilizante') para aumentar a fertilidade dos solos, sem afetar o equilíbrio do meio ambiente.

O uso de rocha total, com disponibilidade próxima dos núcleos de consumo, como fonte natural de nutrientes, dentro do conceito 'pão proveniente das rochas' (*bread from stones*), apresentado por Hensel, em 1890/94 é defendido, desde o século XIX, por M. Missoux (1853/54) e Hensel (como se referiu). Foi retomado muito mais tarde por Keller (1948), Keller *et al.* (1983) e depois por Fyfe e seus colaboradores (1981, 1987, 1989, 2000), Leonardos *et al.* (1987, 2000), Chesworth (1982, 1987, 1993), Chesworth e colaboradores (1983, 1985, 1987, 2000), Van Straaten (1987), Van Straaten e Pride (1993), como é referido por Van Straaten, no seu recente livro (2007).

No âmbito da remineralização de solos, as três últimas décadas do século XX e os primeiros anos do século XXI, foram marcados por alguns fatos que merecem ser assinalados:

- edição, em 1970, do livro de John Hamaker e Don Weaver, *The Survival of Civilization*;
- criação da Fundação, sem fins lucrativos, *Remineralize the Earth Towards a Sustainable Agriculture, Forestry and Climate*;
- desenvolvimento do primeiro projeto de *agrogeologia*, financiado pelo *International Development Research Centre*, que foi efetuado pelo Canadá e Tanzânia (CHESWORTH *et al.*, 1985, 1989 in van STRAATEN, 2007);
- surgimento, em 1991, da revista *Remineralize the Earth*, que três anos depois passou a ter edição eletrônica;
- realização do Fórum *Soil Mineralization and Sustainable Agriculture*, nos EUA, em maio de 1994, no USDA, em Beltsville-MD;
- a atenção dada pelo Centro de Desenvolvimento Sustentável da UnB e o seu dinamismo no desenvolvimento de ações;
- a demanda induzida do CNPq, em 1998, que levou a UnB-IG e a Embrapa Cerrados a iniciarem um programa de pesquisa sobre aproveitamento de pó-de-rocha na fertilização de solos agricultados<sup>2</sup>;
- apresentação, em 2002, por van Straaten, de extenso relatório com 338 páginas, intitulado *Rocks for Crops: Agrominerals of sub-Saharan Africa*, disponível no sítio da Universidade de Guelph;
- realização do 1<sup>st</sup> *International Workshop 'Rocks for Crops'*, em Brasília e Patos de Minas, em novembro de 2004;
- edição, no Canadá, em 2007, do livro *Agrogeology: the use of rocks for crops*, abrangente publicação com 440 páginas, de autoria de Peter Van Straaten, professor na Universidade de Guelph / Ontário.

Aspectos da rochagem, considerada no sentido mais abrangente, envolvendo também a calagem de solos e a utilização de escórias e outros rejeitos das indústrias metalúrgicas, são desenvolvidos nos capítulos 12, 14 e 15 deste livro.

São vários os benefícios da remineralização de solos. Citem-se como exemplos:

- fornecimento, com liberação lenta, de vários elementos químicos (macro e micronutrientes), aumentando, recorrendo-se a produtos naturais, a sua disponibilidade nos solos, com o conseqüente crescimento da produtividade;
- possibilidade de reequilíbrio do pH do solo;
- contribuição para o crescimento da atividade de microrganismos e de minhocas;
- aumento da reserva nutricional, da quantidade e qualidade do húmus e da matéria orgânica com reflexo no melhor desenvolvimento dos cultivares e no controle da erosão;
- maior resistência das plantas à ação de pragas, doenças, secas e geadas, pela melhoria do estado nutricional;
- redução da dependência de fertilizantes, pesticidas e herbicidas, com a conseqüente diminuição de custos.

A revista eletrônica *Remineralize the Earth* cita, no caso da cultura da banana, o exemplo emblemático da rochagem na fazenda *The Harding Brothers* em Queensland, Austrália, onde se verificou a redução de 80% no consumo de fertilizantes NPK e o aumento, também de 80%, na produção, devido à rochagem.

## 2.1. Materiais fertilizantes naturais

São numerosas as rochas susceptíveis de aplicação na remineralização de solos.

Van Straaten (2007), citando A. A. Levinson (1974), apresenta numa tabela as grandes famílias de rochas com potencial elevado de concentrarem não só micronutrientes benéficos mas também prejudiciais aos cultivares (Tabela 2.1).

Quanto aos macronutrientes podem citar-se as seguintes rochas e outros materiais (Tabela 2.2).

A rochagem, no sentido amplo do termo, pode traduzir as seguintes funções: i) calagem; ii) calagem associada à fertilização; iii) fertilização (remineralização) em conjunção ou não com pro-

duto orgânicos naturais e iv) condicionamento de solos (Tabela 2.3).

Segundo refere a FAO (2004), foram desenvolvidos trabalhos de pesquisa amplos sobre o potencial agrônomo dos fosfatos naturais como fonte e fósforo na África, Ásia e América Latina.

A rochagem utilizando rochas fosfáticas de baixo teor, principalmente quando associada a processos de modificação biológica, tem mostrado bons resultados em alguns casos específicos:

**Tabela 2.1** - Elementos-traço/micronutrientes em alguns tipos de rocha

Tipo de Rocha	Elementos-traço (micronutrientes)
Rochas ígneas ultramáficas	Cr, Co, Ni, Fe, Mn
Basaltos (rocha máfica)	Cu, Zn, Mn, Fe, Co, Ni, V
Granitos (rocha félsica)	Ba, Li, W, Rb, Mo, Cu, Zn, Cl, Si
Carbonatitos (>50% de carbonatos)	ETR, F, Nb
Xisto negro	Cu, Pb, Zn, Cd, U, Au, Se, Ni, Mo, V, Fe, B, etc
Xisto vermelho/arenito	U, V, Se, As, Mo, Pb, Cu

Fonte: Levinson, 1974.

**Tabela 2.2** - Alguns tipos de materiais como fonte de macronutrientes

Tipo de Material	Macronutrientes
Rochas ultrabásicas	Mg, Ca
Basalto/Gabro	Mg Ca
Carbonatito	Ca, Mg, P, K <sup>(a)</sup>
Rochas silicáticas alcalinas (sienitos e nefelina sienitos) <sup>(b)</sup>	K
Rochas ácidas (granitos e gnaisses)	K
Gipsita e rejeitos industriais (principalmente fosfogesso)	S, Ca
Calcários (calcíticos e dolomíticos)	Ca, Mg

(a) Principalmente quando ricos de mica, em particular flogopita.

(b) Em especial seus correspondentes efusivos: fonolitos e traquitos.

**Tabela 2.3** – Rochas, minerais e materiais diversos para rochagem

Função	Tipo de Material	Nutrientes
Calagem e nutrição (remineralização)	Calcários	Ca
	Calcários dolomíticos	Ca–Mg
	Carbonatitos s.l. (geoquímica e mineralogia muito variáveis)	Ca-Mg-K, etc
	Gesso (CaSO <sub>4</sub> ) natural e industrial	Ca, S
Remineralização e condicionamento do Solo	Gessos natural e industrial	S, Ca
	Rochas fosfáticas	P, Ca
	Carbonatitos	Ca, Mg, K, etc.
	Rochas silicáticas vulcânicas: basalto, ugandito, fonolitos, traquitos, etc	Mg, Ca, Si, Fe etc
	Rochas silicáticas granulares: granitos, sienitos, nefelina sienitos, arenitos, etc	Macro e Micronutrientes
	Minerais: feldspatos, argilas, piroxênios, anfibólios, vermiculita, biotita, zeólitas e outros	Variados
Rejeitos e resíduos de minas, de minerais não-metálicos e de pedreiras	Variados	

- aplicação direta de rocha fosfática;
- pilhas compostas, fosfato – matéria orgânica (*phospho composting*);
- combinação com estrume verde;
- biossolubilização com microrganismos;
- resíduos da indústria de couro.

### 2.1.1. Fósforo

A maior parte dos depósitos fosfatados de origem sedimentar contém variedades de fluorapatitas carbonatadas, designadas, de forma genérica, por francolita, [Ca<sub>5</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>(F,OH)].

No Brasil, as rochas fosfatadas são essencialmente de origem ígnea, associadas a carbonatitos. As suas apatitas primárias, habitualmente, variedades de fluorapatita [Ca<sub>5</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>F], de hidroxilapatita [Ca<sub>5</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>OH] e de cloroapatita [Ca<sub>5</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>Cl], podem conter, quando puras, mais de 42% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (VAN KAUVENBERG e McCLELLAN, 2004).

Os principais minérios fosfatados brasileiros requerem um tratamento complexo e são de difícil

beneficiamento por apresentarem mineralogia complexa, baixo grau de uniformidade, baixo teor de apatita e elevado teor de carbonatos, o que implica problemas no seu aproveitamento industrial. A lavra e o processamento desses minérios levam a perdas de fósforo, sendo 15% na lavra, 40% no beneficiamento, 2 a 5% no transporte e manuseio do concentrado fosfático. Finalmente, a assimilação do fósforo presente nos fertilizantes pelas plantas é muito baixa, ou seja, de 10 a 30%. Esses índices levam a um aproveitamento global máximo de apenas 8% do fósforo inicial (BARROS, 1997).

Van Kafenberg e McClelland (2004) especificam que: i) as solubilidades CAN das rochas fosfáticas de diversos países mostram grande variabilidade; ii) a superfície específica das partículas de fosfato tem um efeito importante sobre a solubilidade aparente; iii) a moagem, produzindo novas superfícies de partículas, aumenta a área geométrica e, portanto, a solubilidade; iv) a superfície específica das rochas sedimentares, incluindo a porosidade interna, pode ser 20 vezes superior à das rochas ígneas, que se compõem de cristais compactos de apatita.

São as rochas fosfáticas de origem sedimentar que melhor respondem à 'Aplicação Direta' (Rochagem) porque se compõem de agregados abertos, pouco consolidados de microcristais com uma superfície específica relativamente grande. Lembra-se que os depósitos de fosfato da região de Olinda (PE) são de origem sedimentar.

Nas de origem ígnea, para se compensar o fato de os cristais se apresentarem mais desenvolvidos e formarem massas compactas, haverá necessidade de moê-las para aumentar a sua solubilidade.

As rochas fosfáticas adaptadas à aplicação direta (reativas) podem ser mais eficazes, em certas condições, do que os fertilizantes fosfatados solúveis (industriais), em termos de taxas de recuperação do fósforo pelas plantas. A aplicação direta de fosfatos naturais, média ou fortemente reativos, em solos tropicais ácidos, intensamente lixiviados, tem o efeito potencial de provocar o crescimento das plantas e aumentar o rendimento das culturas devido, não apenas à liberação de fósforo, mas também de cálcio trocável e pela redução da saturação em alumínio (FAO, 2004). Porém, nem todas as rochas fosfáticas podem ser utilizadas na aplicação direta. A eficiência da média a fracamente reativas deve ser melhorada por processos biológicos e físico-químicos.

Chama-se a atenção para o fato de pesquisas realizadas no Brasil terem mostrado que resíduos da indústria do açúcar podem ser usados como substrato para o desenvolvimento de microrganismos que solubilizam parcialmente rochas fosfáticas insolúveis (CEREZINE *et al.*, 1988).

A acidulação parcial de rochas fosfáticas (*Partial Acidulated Phosphate Rock – PAPR*) pode ser considerada como um caminho intermediário entre a acidulação total, que dá origem aos fertilizantes solúveis industriais, e a rochagem natural.

No processo PAPR, é usada apenas uma porção do ácido necessário para transformar a rocha fosfática (principalmente apatita) no fosfato mono cálcio (MCP, da sigla em inglês) solúvel em água (a solubilidade exprime-se em percentagem de PAPR). O remanescente P, insolúvel, funciona como fer-

tilizante de liberação lenta, fundamento da rochagem. São vantagens do método, o menor consumo de ácido e, sobretudo, a possibilidade de aproveitamento de rochas fosfáticas menos apropriadas para a acidulação total (*Full Acidulation*).

Esta tecnologia é mais eficiente quando se usa rocha fosfática com baixo Fe e Al (van STRAATEN, 2007). Nos alfissolos do norte da Nigéria, a mistura de rocha fosfática com enxofre mostrou-se tão efetiva como os superfosfatos (BROMFIELD, 1975). É um processo de acidulação *in situ*. O ácido sulfúrico resulta da oxidação do enxofre, no solo, provavelmente por microrganismos (van STRAATEN, 2007).

Outro caminho foi experimentado por S.S.S. Rajan (in van STRAATEN, 2007) misturando, na forma granular, rocha fosfática e enxofre e inoculando *Thiobacillus ssp.* Na reação *in situ*, forma-se monocalcário-fosfato monohidratado e gesso.

Outra opção, referida por Van Straaten (ob. cit.) citando T.M. Lai e D.D. Eberl (1986), é a dissolução de rocha fosfática baseada no potencial de troca iônica das zeólitas, que podem seqüestrar o Ca, durante a dissolução da apatita, e substituí-lo por  $NH_4$ , em zeólita dopada com  $NH_4$ . É um processo de liberação lenta de nitrogênio.

Quando a rocha fosfática é pobre em carbonato (um exemplo é o minério supergênico de Angico dos Dias – BA), a lixiviação em pilhas é um caminho que deve ser considerado.

### 2.1.2. Potássio

O potássio, elemento abundante na crosta terrestre, encontra-se, predominantemente, incorporado nos minerais silicáticos, como os feldspatos, micas, feldspatoides (leucita, mais potássica e nefelina, mais sódica), e nos sedimentos ricos em argilas. Tradicionalmente, apenas os sais solúveis de potássio são considerados apropriados para fertilizantes. Pesquisas realizadas no Brasil e em outros países mostraram que rochas vulcânicas ultrapotássicas (uganditos, kimberlitos) e rochas ricas de micas, como a flogopita, (carbonatitos, por exemplo) podem ser utilizadas, em rochagem, como fontes de potássio.

Ensaios de biolixiviação em concentrados de leucita ( $\text{KAlSi}_2\text{O}_6$ ) com os microrganismos *Penicillium expansum* e *Aspergillus niger*, mostraram que entre 21 e 27% do K contido na leucita pode ser solubilizada (ROSSI, 1978 in van STRAATEN, 2007).

Um estudo de custos comparativos, realizado pela Embrapa-Cerrados, utilizando pó-de-rocha como fonte de potássio, em três materiais (carbonatito, ugandito e flogopita ou biotita) mostraram os seguintes resultados:

- Carbonatito – fonte de K, Ca, e corretivo da acidez do solo (PRNT de 60%; 2,5% de K, micronutrientes e P não solúveis no primeiro ano). O carbonatito mostrou-se competitivo em relação aos fertilizantes naturais até um raio de 430 Km;
- Ugandito – fonte de K (PRNT de 45%; 3,5% de K, micronutrientes e P não solúveis no primeiro ano). O ugandito mostrou-se competitivo, em relação aos fertilizantes naturais, até um raio de 520 Km;
- Flogopita ou biotita (100%) – (10% de K; micronutrientes e P não solúveis no primeiro ano). Custo de adubação em um hectare de soja com produtividade de 3.000 Kg/ha: Pó-de-Rocha, R\$10,80; Fertilizante (KCl), R\$50,00.

Pesquisas realizadas pela Unidade de Industrialização do Xisto da Petrobras (UNISIX), em parceria com a Embrapa-Clima Temperado e o Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), na região de São Mateus do Sul (PR), mostraram a possibilidade de aproveitamento integral do xisto local, uma rocha de origem sedimentar, formada há 250 milhões de anos por acúmulo de algas cianofíceas. O xisto contém macro e micronutrientes que podem transformá-lo em adubo e a água da retortagem do processo industrial também pode ser utilizada como adubo foliar. “O projeto busca o aproveitamento integral do xisto – hoje restrito à produção de óleos combustíveis, nafta, gás e enxofre – e dos seus subprodutos (xisto retornado, água de xisto, xisto cru e calxisto), na agricultura em forma de insumos agrícolas” (REVISTA PETROBRAS, 2005).

## 2.2 Minérios pobres rejeitados: fosfatos e sulfatos

O Brasil é grande importador de produtos fosfatados para a agricultura e não tem depósitos econômicos de enxofre. Por outro lado o avanço das fronteiras agrícolas afasta cada vez mais as culturas dos insumos que lhes são necessários. Torna-se assim premente a entrada em produção de jazidas, já definidas como econômicas, como é o caso de Itataia (CE) e Anitápolis (SC) e de importantes depósitos como o de Maecuru (PA).

Outro caminho de grande interesse é o da remineralização direta de solos com rochas fosfáticas, principalmente as de origem sedimentar como as de Alhandra/Conde e Goiana situadas na faixa costeira dos estados da Paraíba e de Pernambuco. Pela sua proximidade de áreas turísticas apresentam, contudo, fortes limitações ambientais.

Há necessidade de se desenvolverem trabalhos de pesquisa para o aproveitamento de materiais fosfáticos marginais, como é o caso de rejeitos, minérios pobres e minérios de difícil concentração. A biotecnologia e a produção de fertilizantes organo-fosfatados (ver capítulo 22)<sup>6</sup> são duas práticas que poderão chegar a bons resultados, se convenientemente estudadas e desenvolvidas.

Citam-se algumas formações geológicas nos estados de MG, GO, MS, BA, TO, e AM, com fosfatos (CPRM - PIMA, 1997 e SCHOBENHAUS *et al.*, 1984) com potencial para serem utilizadas em rochagem (remineralização) como fontes de P, K e, certamente de outros macro- e micronutrientes, ou na produção de organo-fosfatados. Para definição das formações geológicas citadas, ver Schobbenhaus *et al.* (1984).

**Grupo Bambuí (MG)** – Formações Lagoa do Jacaré, Sete Lagoas, Grupo Una e Formação Irecê, Unidade Nova América (BA) – Metassedimentos carbonáticos e pelito-carbonáticos, com esteiras de algas e estromatólitos ou margas com intercalações de fosforito (nestes ambientes localizam-se as ocorrências/depósitos de Irecê-BA, Patos de Minas – MG, Cedro do Abaeté – MG e Campos Belos – GO).

**Grupo Corumbá, Formação Bocaina (MS)** – Seqüência de metassedimentos marinhos, rasos, constituídos de calcários e dolomitos com níveis de fosforito.

**Formação Pimenteiras (TO)** – Seqüência de sedimentos marinhos transgressivos constituídos de arenitos, siltitos e folhelhos com disseminações de fosfato cripto cristalino (colofana), associado a anomalias radiométricas e à glauconita<sup>7</sup>.

**Grupo Beneficente (AM)** – Seqüência de metassedimentos marinhos glauconíticos constituída por siltitos com disseminações de fosfato criptocristalino (colofana) e arenitos com micronódulos de colofana.

**Formação Nova Olinda (AM)** – Seqüência evaporítica constituída por halita, com níveis métricos de silvinita e de sulfatos complexos de potássio e magnésio. Nesta seqüência se localizam as jazidas de potásio de Fazendinha e Arari.

O enxofre é um dos nutrientes das plantas que vem recebendo pouca atenção em estudos de fertilidade de solos, ficando relegado a poucas pesquisas no mundo. Os estudos enfocando o elemento têm indicado deficiências de enxofre nas culturas, em áreas com agricultura intensiva.

Nos solos, o enxofre se encontra nas formas orgânica e inorgânica, sendo essa a predominante, podendo representar mais de 90% do total (NASCIMENTO e MORELLI, 1980). As reservas de enxofre orgânico nos solos, sem a interferência do homem, dependem basicamente dos teores e tipos de argilominerais e óxidos, os quais protegem a matéria orgânica do ataque microbiano, e das condições ambientais, que aceleram ou retardam a atividade biológica.

A disponibilidade do enxofre orgânico às plantas depende da sua transformação a formas inorgânicas, quase exclusivamente na forma de sulfato (COSTA, 1980), o qual é retido pelos grupos funcionais dos colóides inorgânicos do solo. Assim, a quantidade de sulfato disponível às plantas depende da quantidade de grupos funcionais com capacidade de adsorvê-lo. Os óxidos de ferro, em especial a goethita e ferrihidrita, e as arestas que-

bradas dos argilominerais 1:1 são os principais fornecedores de OH<sup>-</sup> monocoordenados, capazes de serem trocados pelo sulfato.

A adsorção e a dessorção de sulfato nos grupos funcionais dos colóides inorgânicos são dependentes do pH do solo (CHAO *et al.*, 1962), uma vez que, quando esses estão protonados, o processo de troca de ligante é favorecido pelo enfraquecimento da ligação do oxigênio ao metal. A energia de ligação do sulfato aos grupos funcionais é fraca, comparativamente àquela do fosfato, sendo que é facilmente deslocado por outros ânions. Desse modo, tanto a quantidade total de enxofre quanto à capacidade de adsorção do sulfato são menores em solos com baixos teores de argila e sua retenção é ainda diminuída pela aplicação de calcário e de fosfato. Assim, há um deslocamento desse íon às camadas mais profundas, onde pode ser adsorvido por causa dos maiores teores de argila e menores teores de matéria orgânica e valores de pH.

Os principais minérios fosfatados brasileiros requerem um tratamento complexo e são de difícil beneficiamento por apresentarem mineralogia complexa, baixo grau de uniformidade, baixo teor de apatita e elevado teor de carbonatos, o que implica problemas no seu aproveitamento industrial. A lavra e o processamento desses minérios levam a perdas de fósforo, sendo 15% na lavra, 40% no beneficiamento, 2 a 5% no transporte e manuseio do concentrado fosfático. Finalmente, a assimilação do fósforo presente nos fertilizantes pelas plantas é muito baixa, ou seja, de 10 a 30%. Esses índices levam a um aproveitamento global máximo de apenas 8% do fósforo inicial (BARROS, 1997).

### **2.3. Rejeitos de pedreiras e de indústrias mínero-metalúrgicas**

Segundo estudos dos pesquisadores Joselito Novaes de Souza, John Kennedy Guedes Rodrigues e Pedro Nogueira de Souza Neto, do Departamento de Engenharia Civil do Centro de Ciências e Tecnologia (UFCG), da Universidade de Campina Grande:

*“Os países que dispõem de importantes recursos geológicos e onde a produção encontra-se em pleno desenvolvimento, entre eles o Brasil, enfrentam sérios problemas com os resíduos provenientes das indústrias de rochas ornamentais que contaminam diretamente os rios e o próprio solo, além da desfiguração da paisagem, o que vem preocupando as autoridades e a população”.*

O sistema de desdobramento de blocos de granito para a produção de chapas gera uma quantidade significativa de rejeitos na forma de lama (20 a 25% do volume dos blocos), geralmente constituída de água, de granalha, de cal e de rocha moída, que após o processo são lançadas no meio ambiente em forma de rejeito, ou ocupando espaços ao ar livre.

*“À medida que se processa a perda de umidade, o pó resultante se espalha, contaminando o ar e os recursos hídricos, sendo, em alguns casos, canalizado diretamente para os rios. Tal procedimento tem trazido sérios problemas às indústrias de rochas ornamentais e prejuízos ao meio ambiente.*

*Além dos problemas ambientais causados pela deposição do rejeito no meio ambiente, algumas características específicas deste rejeito vislumbram potencialidades a sua utilização como material de enchimento em concretos asfálticos. Citam-se como exemplo: sua fina granulometria, composição predefinida (granito moído, cal ou substituto e granalha de ferro ou aço) e a inexistência de grãos mistos entre os três componentes básicos.”*

Ao contrário de outros países como o Japão, no Brasil, as escórias de siderurgia e de aciaria ainda são pouco usadas na agricultura como corretivo de acidez do solo e/ou fonte silício. A produção nacional atinge, porém, níveis elevados: cerca de 8,44 Mt, na de Ferro Gusa, e 3,4 Mt, na de Aço Bruto. Escórias resultantes da desfosforação de minérios de ferro ricos de fósforo ('escória de Thomas', 'escória básica' ou 'fosfato de Thomas', como são designadas) podem ser usadas na agricultura como fonte de fósforo. O tema do apro-

veitamento de escórias siderúrgicas na agricultura é desenvolvido no capítulo 10.

## 2.4. Rochagem no Brasil e em outros países

Apesar de ser uma prática bastante antiga no Japão e Europa, só recentemente o Brasil começou a conhecer mais sobre a aplicação de pó-de-rocha para a recuperação, remineralização e manutenção da fertilidade do solo (Tabela 2.4).

A fertilização do solo improdutivo gastando pouco, com adição de pó-de-rocha, que muitas vezes é descartado em pedreiras e serrarias em todo o País, pode ser responsável por uma produção de qualidade e um solo rico em nutrientes por mais tempo. No Brasil, um dos trabalhos de maior destaque é a tese de doutoramento da geóloga Suzi Huff Theodoro, do Centro de Desenvolvimento Sustentável (CDS), da Universidade de Brasília (UnB). O projeto envolve a *Fertilização da terra pela terra: uma alternativa de sustentabilidade para o pequeno produtor rural*. A importância desse trabalho foi tamanha, que recebeu o Prêmio Super Ecologia 2003, da Editora Abril, na categoria solo.

Os experimentos com rochagem começaram em 1997, no assentamento Fruta D'Anta, no município de João Pinheiro, em Minas Gerais. Para verificar a eficácia da técnica, foram sempre comparadas duas parcelas de solo em 20 lotes do local. Em uma delas foi aplicada a fertilização convencional e em outra a técnica de rochagem. Ao longo de quatro anos, o desenvolvimento das plantas e as modificações no solo foram acompanhados. Os resultados comprovam que, além do baixo custo da nova técnica, ocorreu uma maior produtividade nas culturas de ciclo longo, como a cana-de-açúcar e a mandioca.

Para culturas de ciclo curto, como milho e arroz, o resultado foi equivalente à produção com agroquímicos. De toda forma, do ponto de vista econômico, existe um ganho significativo, pois, ao final de quatro anos, houve economia na compra de fertilizantes.

**Tabela 2.4 – Exemplos de rochagem**

Tipo de Material	Local	Fonte
Flogopitito - Carbonatito	Catalão (GO)	UnB-IG, Embrapa Cerrados (fase experimental)
Rejeitos de pedreiras (Patos de Minas – MG)	João Pinheiro - Fruta D'Anta (MG)	UnB-CDS – Projeto Fertilização da Terra pela Terra
Carbonatito – Ugandito – Flogopita/Biotita	?	Embrapa Cerrados – “Pó-de-Rocha – Custos comparativos”
Xisto	São Mateus do Sul (PR)	Revista Petrobras nº 108
Serpentinito, micaxisto	Jaramataia (AL)	Amparo, 2004
Granito intemperizado	Ipirá (BA)	Idem
Micaxisto, rocha ultramáfica	?	Idem
“Itafértil” (R. ultramáfica, filito)	Produto de venda	Idem
Folhelhos	PE, BA, PI, SC, SP, PR	Idem
Granitos	BA, SC	Idem
Basaltos	SC, SP, PR	Idem
Arenitos	SC, SP, PR	Idem
Calcários	BA, SP, GO	Idem
Basalto	Ilha Maurício	van Straaten, 2007
Flogopitito (rejeito de garimpo de esmeralda - Fonte de K)	Campo Formoso e Pindobaçú (BA)	Ação transversal (MCT/FINEP)
Flogopitito (fonte de K e condicionador do solo)	Norte da BA (próximo a Juazeiro/Petrolina)	Idem
Brecha alcalina (fonte de K e condicionador de solo)	Rio Verde - Sudoeste de GO	Idem
Biotita xisto (rejeito de mineração de ouro - fonte de K e condicionador de solo)	Chapada – Centro-norte de GO / Mara Rosa	Idem
Ultramáfica alcalina (fonte de K, corretivo de acidez e condicionador de solo)	Lajes (SC)	Idem
Biotita xisto (rejeito de garimpo de esmeralda - Fonte de K e condicionador de solo)	Paraíso do Tocantins (TO)	Idem
Apatitito/carbonatito	Centro-Oeste de MT	Idem
FosBahia (fosfato natural em exploração)	Irecê/Centro-Norte da BA (próximo a Xique-Xique)	Idem
Itafós (fosfato natural em exploração)	Campos Belos (GO)	Idem
Rochas fosfáticas <sup>(a)</sup>	Vários países	van Straaten, 2007
a) Em pilhas compostas	Índia e vários outros países	Singh et al., 1983; Bangar et al., 1985; Sing e Amberger, 1990, 1991, 1998 in van Straaten, 2007
b) Com estrume verde	Quênia	Sanchez, et al., 1997; Jama et al., 2000; Jama e van Straaten, 2006 in van Straaten, 2007
c) Biosolubilização com microorganismos	Vários países	Vários autores in van Straaten, 2007
d) Com resíduos da indústria do couro	Sul, Sudeste da Ásia e em algumas regiões de África	van Straaten, 2007
e) Inoculação com <i>Mycorrhizae</i>	---	Marschner e Dell, 1994 in van Straaten, 2007
f) Com pirita (oxidação => H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	Laboratório	Lowell e Weil, 1995
g) Com carvão sulfuroso	Índia, Sri Lanka	Dahanayake et al., 1991 in van Straaten, 2007

<sup>(a)</sup> (Minérios marginais, rejeitos e materiais considerados estéreis.

No Brasil, dentre as rochas ígneas disponíveis com potencial para utilização na agricultura, destacam-se os carbonatitos, que são formados por mais de 50% de carbonatos, o que lhes atribui uma composição mineralógica próxima à dos calcários e mármore usados como corretivos de acidez do solo. Adicionalmente, os carbonatitos apresentam significativas vantagens em relação aos calcários, quais sejam, além do calcário e magnésio, altos teores de potássio, fósforo e micronutrientes.

Na República da África do Sul, o MINTEK implementou um programa para facilitar a melhoria do solo nas comunidades pobres (*Mintek's Small Scale Mining Division*), que inclui, entre outros procedimentos, a identificação de alternativas de baixo custo como, por exemplo, a aplicação de resíduos, das indústrias, da própria agricultura e de depósitos minerais.

Embrapa, UnB e CETEM estão desenvolvendo pesquisas com rochas carbonatíticas de Catalão I - GO, ricas de flogopita. No domínio da remineralização de solos, o CETEM e a Embrapa também estão realizando estudos com rejeitos do concentrado fosfático de Angico dos Dias (BA/PI), resultantes da separação magnética do minério.

Lembra-se que, no Paraná e em São Paulo, são comercializados materiais fertilizantes à base de pó-de-rocha de basaltos e que, na ilha Maurício, por exemplo, a produtividade da cana-de-açúcar responde bem à aplicação de largas quantidades de basalto.

O cultivo de cana-de-açúcar requer água e nitrogênio abundantes nos solos, mas a resposta eficaz ao nitrogênio depende de um correto balanceamento de P e K. O fósforo é aplicado de várias formas incluindo rocha fosfática.

Como é citado por van Straaten (2002), já no final dos anos 20, século XX, se faziam, na Malásia, experiências intensivas, no cultivo de palmeiras, com adição de rochas fosfáticas naturais e se comparavam os seus resultados com os da aplicação de fertilizantes industriais (fósforo solúvel). Constatou-se que, na fase inicial de crescimento, a aplicação de fertilizantes industriais apresenta melhor rendimento. Já na fase de maturação, o re-

curso a rochas fosfáticas naturais foi considerado tão efetivo como o da utilização de fósforo solúvel. O Mg foi aplicado sob a forma de kieserita (sulfato de magnésio) e de dolomita (carbonato de cálcio e magnésio) (ZIN *et al.*, 2001 in van STRAATEN, 2002).

## 2.5. Vantagens e limitações da rochagem

Uma das grandes vantagens da técnica de rejuvenescimento de solos empobrecidos utilizando pó-de-rocha, especialmente as rochas vulcânicas, ricas em macro e microelementos importantes para o desenvolvimento das plantas, é a não necessidade do uso de agroquímicos. Além disso, a rochagem pode ser feita a partir do rejeito das rochas extraídas em pedreiras ou serrarias com um custo bem menor do que a fertilização convencional com produtos químicos. Uma outra vantagem está relacionada com a recarga dos nutrientes, que só precisa ser feita de quatro em quatro anos, ao contrário da adubação tradicional, que necessita ser refeita uma vez por ano (THEODORO, 2003).

Segundo a autora, alguns resultados obtidos ajudam a comprovar as vantagens da técnica de rochagem: as raízes das plantas se desenvolveram em maior quantidade, as folhas ficaram mais exuberantes e ocorreu um aumento da umidade do solo, já que o material que compõe essas rochas é mais rico em argila. A rochagem também aumentou o pH do solo, que passou de fortemente ácido para levemente alcalino. Ocorreu também uma elevação nas taxas de potássio, cálcio e magnésio no solo. Segundo Suzi Theodoro: *“Os benefícios da rochagem são econômicos e ambientais, pois fertilizam sem acarretar degradação do solo, ao contrário do que ocorre com os fertilizantes químicos”*.

As rochas utilizadas podem ser naturais ou semi-intemperizadas, podendo sofrer processos de britagem, moagem e até mesmo separação. Além de sílica, elas contêm um elenco de cerca de 60 a 70 elementos químicos, entre micro e macronutrientes, além dos oligoelementos úteis. A aplicação do pó-de-rocha tem as seguintes vantagens:

- lenta liberação de nutrientes e baixo risco de lixiviação;
- equilíbrio trofobiótico no fornecimento dos nutrientes;
- economia de mão-de-obra e custos operacionais;
- não acidificação nem salinização do solo, corrigindo o pH;
- diminuição da fixação do fósforo, inclusive pela presença de sílica;
- ser uma excelente fonte de micronutrientes, essenciais e úteis;
- matéria-prima inteiramente nacional, inesgotável, fácil de ser explorada e encontra-se distribuída em todas as regiões do País.

## 2.6. Regulamentação da rochagem no Brasil

A Lei nº 10.831, de 23 de dezembro de 2003, que dispõe sobre a agricultura orgânica, e a Instrução Normativa nº 007, de 17 de maio de 1999, foram os primeiros regulamentos brasileiros relativos à agricultura orgânica e relacionam entre os insumos permitidos o pó-de-rocha. A oficialização da rochagem na agricultura orgânica brasileira não garante a possibilidade de registro do pó-de-rocha, dentro das normativas atuais.

Apesar de a regulamentação permitir a comercialização sem registro, quando realizada diretamente da mineradora para o agricultor, acarreta algumas dificuldades como:

- manutenção de padrão técnico qualitativo, rastreabilidade e certificação;
- perda de isenção fiscal e tributária onerando o produto para o agricultor;
- limitação da comercialização em vendas e fracionada em pequenos volumes.

Sendo a rochagem uma prática importante para uma agricultura ecologicamente sustentável, apresentando baixo valor agregado que pode ficar ao alcance do pequeno até o grande agricultor, veri-

fica-se a importância da integração de forma sistêmica e proativa das instituições de pesquisa e desenvolvimento, universidades, organismos governamentais e privados, enfim, entidades representadas por pesquisadores, professores e técnicos, que, em sinergia, possam contribuir com o conhecimento científico e prático, para uma nova fundamentação técnica que viabilize a regulamentação da rochagem em prol da agricultura brasileira (D'ANDRÉA, 2003).

## 3. Agricultura orgânica

Agricultura orgânica ou agricultura biológica são dois termos sinônimos que servem para designar o processo de produção de alimentos, animais e vegetais, sem recorrer a produtos químicos sintéticos nem à engenharia genética (ANEXO B). Atualmente, no Brasil, há 15 mil produtores atuando com agricultura orgânica, numa área estimada em 800 mil hectares ([www.paginarural.com.br](http://www.paginarural.com.br)).

Tal como a rochagem, é um sistema que reduz, em grande parte, o uso de fertilizantes industriais e exclui o recurso aos agrotóxicos e a produtos reguladores de crescimento.

Tem como base o uso de esterco animal, rotação de culturas, adubação verde, compostagem, controle biológico de pragas e de doenças. Pressupõe a manutenção da estrutura e profundidade do solo, sem alteração de suas propriedades. Com uma base holística, põe ênfase no solo. Os seus proponentes acreditam que num solo saudável, mantido sem o uso de fertilizantes e pesticidas, os alimentos têm uma qualidade superior a alimentos convencionais (ANEXO B).

Em países como, EUA (NOP - *National Organic Program*), Japão (JAS - *Japan Agricultural Standard*), Suíça (BioSuisse), União Europeia (CEE 2092/91), Austrália (AOS - *Australian Organic Standard* / ACO - *Australia Certified Organic*) e Brasil (ProOrgânico - Programa de Desenvolvimento da Agricultura Orgânica IN007), a agricultura orgânica é definida por lei e regulamentada pelo governo. No Brasil, a Lei nº 10.831/2003, publicada

em 2003, e o Decreto nº 6323 (DOU de 28/12/2007), regulamentam a agricultura orgânica.

Por outro lado, há várias instituições que fomentam, controlam, fiscalizam e dão certificados de garantia. Por exemplo, a *Fairtrade Labelling Organizatons International (FLO)*, estabelecida em 1997 na Alemanha (Bonn), é uma organização 'guarda-chuva' (*umbrella organization*) que reúne 20 entidades de rotulagem (*labelling initiatives*), em 21 países e redes de produtores (*producer networks*), que representam as *Fairtrade Certified Producer Organizations*, nas Américas Central e do Sul, na África e na Ásia.

A FLO Internacional oferece os seguintes serviços:

- desenvolvimento de *Fairtrade Standards* que beneficiam pequenos proprietários e trabalhadores rurais;
- suporte de comercialização aos produtores.

Os certificados são dados por uma empresa internacional de certificados, a FLO-CERT GMBH, que é responsável pela inspeção e certificação das entidades produtoras e de comércio que atendem aos padrões Fairtrade (*Fairtrade Standards*) ([www.flo-cert.net](http://www.flo-cert.net)).

Em 2006, segundo a FLO, os consumidores despenderam 1,6 bilhões de Euros nos produtos com certificado 'Fairtrade', o que representou um crescimento de 41% em relação ao ano anterior, e beneficiou 1,4 milhões de trabalhadores em todo o mundo ([www.flo-cert.net](http://www.flo-cert.net)).

No período de 3 a 5 de maio de 2007, realizou-se, em Roma, a *Conferência Internacional sobre Agricultura Orgânica e Segurança Alimentar* (ANEXO B). Nela se debateu o impacto que a Agricultura Orgânica teria sobre as disponibilidades alimentares mundiais, tanto sob o ponto de vista da produtividade e da qualidade dos produtos agrícolas, quanto da capacidade, necessidade e formas da sua comercialização.

No Relatório Final, registra-se que uma hipotética conversão planetária para a agricultura orgânica<sup>8</sup>, sem haver avanço das fronteiras agrícolas, nem aplicação de adubos nitrogenados industriais, le-

varia a uma oferta de 2640 a 4380 quilocalorias, por pessoa, por dia (FAO, 2007). Afirma-se, ainda, no relatório, que a agricultura orgânica consome 33 a 56% menos energia por hectare, mas exige mais mão-de-obra.

As conclusões que constam do Relatório Final indicam que a Agricultura Biológica:

- pode contribuir para a segurança alimentar, mas a sua capacidade de se afirmar depende, em grande parte, de uma vontade política;
- pode atenuar a emissão de GEE, graças a uma melhor fixação do carbono no solo e oferece soluções práticas para fazer face aos efeitos das mudanças climáticas;
- permite reforçar a segurança hídrica em vários aspectos, como, por exemplo, qualidade da água potável e redução da necessidade de irrigação;
- permite proteger a agrobiodiversidade e garantir uma utilização prolongada do solo;
- reforça a qualidade alimentar graças a uma maior diversificação dos alimentos biológicos mais ricos em micronutrientes;
- estimula o desenvolvimento rural criando empregos e renda em zonas em que a população não tem outra alternativa que não seja a de recorrer à mão-de-obra, aos recursos e aos conhecimentos locais.

Por outro lado ressalta que:

- é indispensável estabelecer uma rede internacional apoiada na pesquisa biológica e numa vulgarização racional;
- a segurança alimentar está estreitamente ligada a políticas agrícolas que definam escolhas em matéria de exportação e importação e a agricultura biológica estabelece uma ligação entre objetivos econômicos, ambientais e sociais;
- a segurança alimentar não é apenas tema de preocupação para os países em desenvolvimento porque a crise dos combustíveis fósseis, as mudanças climáticas e outros pontos

fracos da cadeia alimentar podem afetar igualmente as zonas desenvolvidas.

No Brasil, o Decreto nº 6323, publicado no DOU de 28/12/2007, passou a regulamentar a Lei nº 10.831/2003, estabelecendo as regras que, a partir daquela data, passam a orientar a produção, armazenamento, rotulagem, transporte, certificação, comercialização e fiscalização da agricultura orgânica. Cria o Sistema Brasileiro de Avaliação da Conformidade Orgânica, que será composto pelo MAPA, órgãos de fiscalização dos estados e organismos de avaliação da conformidade orgânica. O Decreto autoriza os agricultores familiares a realizarem a venda direta ao consumidor desde que tenham cadastro junto ao órgão fiscalizador. Todos os segmentos envolvidos na rede de produção orgânica terão prazo de dois anos para se adequarem às regras do decreto.

#### 4. Plantio direto - agricultura de conservação

O Plantio Direto (*zero tillage*), também designado por Agricultura de Conservação, é um conjunto de técnicas integradas que têm como objetivo principal uma melhor utilização dos recursos agrícolas pela gestão simultânea das disponibilidades em solo (incluindo controle da erosão), água e recursos biológicos, combinada com a forte redução na aplicação de insumos externos. O primeiro passo da introdução do Sistema de Plantio Direto (SPD), no Brasil, parece ter sido dado pela Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em 1969. (ANEXO C)

Segundo a Federação Brasileira de Plantio Direto de Palha (FEBRAPDP), no início da década de 90, a área de Plantio Direto no Brasil era de 1 Mha; aumentou para mais de 12 Mha, em 2000. Passou a ser usado por todas as culturas perenes, na cana-de-açúcar, na recuperação de pastagens por meio da rotação entre lavouras e pastagens, no reflorestamento, na fruticultura e na olericultura.

O SPD é um processo de manejo do solo, muito eficiente no controle da erosão. A palha e os restos vegetais são deixados na superfície do solo,

que é revolvido apenas no sulco, onde são colocadas sementes e fertilizantes. Não há preparo do solo. Apenas abertura dos sulcos de plantio. As plantas daninhas são controladas por herbicidas.

Para o sucesso do sistema são fundamentais a rotação de culturas e o manejo integrado de pragas, doenças e plantas invasoras (IAC / Centro de Desenvolvimento de Solos e Recursos Ambientais).

Respeita três requisitos mínimos: não revolvimento do solo, rotação de culturas e uso de culturas de cobertura para formação de palhada. Visa *“melhorar as condições ambientais (água-solo-clima) para explorar da melhor forma possível o potencial genético de produção das culturas”* (Federação Brasileira de Plantio Direto).

Apresenta as seguintes vantagens agronômicas:

- controle da erosão;
- aumento da água armazenada no solo;
- redução da oscilação térmica;
- aumento da atividade biológica;
- aumento dos teores de matéria orgânica;
- melhoria da estrutura do solo.

*“(...)Com o aumento da cobertura de 30 para 80%, a temperatura da superfície é reduzida até em 4°C. (...) Com uma cobertura morta de cerca de 70%, a evaporação do solo reduz-se para cerca de 1/4”* (IAC, 2007).

O plantio direto não deve ser visto como um processo rígido ou receita universal, mas como um sistema que exige adaptações locais.

#### 5. Considerações finais

A fertilização química, incluindo a orgânica, e a remineralização (rochagem) são complementos à fertilidade natural dos solos e fator indispensável quando se pretenda obter elevadas taxas de produtividade e evitar a exaustão do solo.

O solo, material complexo de difícil definição porque varia em função da utilização, resulta da desagregação e decomposição das rochas pela ação

do intemperismo (ANEXO D), ou seja, “do remanejamento e organização das camadas superiores da crosta terrestre sob ação da atmosfera, da hidrosfera, da biosfera e das trocas de energia envolvidas” (TOLEDO *et al.*, 2000). As reações de intemperismo são: hidratação, dissolução, hidrólise (total ou parcial)<sup>9</sup> e oxidação.

*“A qualidade da água que promove o intemperismo é bastante influenciado pela ação da biosfera. A matéria orgânica morta no solo decompõe-se liberando CO<sub>2</sub>, cuja concentração nos poros do solo pode ser até 100 vezes maior que na atmosfera, o que diminui o pH das águas de infiltração. Em torno das raízes das plantas, o pH é ainda menor, na faixa de 2 a 4, e é mantido enquanto o metabolismo da planta continua.”*

A fertilidade natural do solo provem de processos pedogenéticos, mais intensos quando se desenvolvem em regiões planas ou de relevo suave, mas também quando são protegidos por cobertura vegetal.

Todos estes conceitos de formação do solo que envolvem, perda, adição, translocação e transformação de matéria, devem ser bem conhecidos e considerados com toda atenção quando se queira promover a melhoria da produtividade sustentável através da fertilização, tanto a natural, que pode envolver, calagem, rochagem, gessagem, fertilização orgânica e plantio direto, como a química (fertilizantes industriais).

## 6. Referências bibliográficas

- AMPARO, A., 2004. Regionalização da Rochagem no Brasil. Fontes minerais e culturas. “First Int. Conf. Rock for Crops”, Brasília [www.uoguelph.ca/news/abstcontents.htm](http://www.uoguelph.ca/news/abstcontents.htm)].
- ANDREOLI, C. e SOUZA, S.P., 2006. Cana-de-Açúcar: a melhor alternativa para conversão de energia solar e fóssil em etanol. Conf. Intern. de Agroenergia, Londrina (PR), dez. 2006.
- AUBERT, C. Can organic farming mitigate the impact of agriculture on global warming?. Intern. Conf. on Organic Agriculture and food Security.
- BARROS, L. A. F. 1997. Flotação da apatita da jazida de Tapira-MG. São Paulo: Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 106p. (Dissertação de Mestrado).
- BOURNE Jr., JK. O sonho verde. National Geographic Brasil, p.56-77, outubro de 2007.
- BROMFIELD, A.R., Effects of rock phosphate-sulfur mixture on yield and nutrient uptake on groundnuts (*Arachis hypogaea*) in northern Nigéria. Exp. Agric. 11: 265-272.
- CEREZINE, P.C., NAHAS, E. e BANZANO, D.A., 1988. Soluble phosphate accumulation by *Aspergillus Níger* from fluorapatite. Appl. Microb. Biotechn., 29, p. 501-505.
- CHAO, T.T. *et al.*, 1962. Soil constituents and properties in the absorption of sulfate ions. Soil Science, Oxford, v.94, p.276-286.
- COSTA, C.A.S., 1980. Mineralização do S orgânico e adsorção de sulfato em solos. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) – Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 65p.
- CPRM/PIMA, 1997. Nota Explicativa do Mapa Síntese do Setor de Fertilizantes Minerais (NPK) no Brasil, CPRM/Serviço Geológico do Brasil.
- EMBRAPA – PLANTIO DIRETO. [[www22.sede.embrapa.br](http://www22.sede.embrapa.br)] => plantio direto
- FAO, 2003. Economie de l’agriculture de conservation, FAO / AGL – Land and Water, [[FTP.fao.org](http://FTP.fao.org)].
- FAO, 2007. Documento OFS/2007/REP. [[www.fao.org/organic/ofsd/does](http://www.fao.org/organic/ofsd/does)], acesso em 29/10/07.
- FRANÇA, R. Questões para entender o etanol. “Veja” 19/03/08, p. 104 a 114.
- GIANNETTI, E., 2006. Auto-engano. Companhia das Letras, 251 p.
- IAC / CENTRO DE COMUNICAÇÃO E TRANSFERÊNCIA DE CONHECIMENTO, 2007. Plantio direto. Caminho para a Agricultura Sustentável. [[www.iac.sp.gov.br](http://www.iac.sp.gov.br)].
- JONES, G.E., 1967. The adoption and diffusion of agriculture practices. World Agricultural

- Economics and Rural Sociology Annals, 9(3): 1-29.
- LEVINSON, A.A., 1974. Introduction to exploration geochemistry. Applied Publ. Ltd, Wilmette, Illinois, USA, 614 p.
- LOWELL, K e WEIL, R.R., Pyrite enhancement of phosphorus availability from African phosphate rocks. A laboratory study. Soil Sci. Soc. Am. J., 59: 1645-1654.
- MENEZES, E.A., 2006. Controle Biológico: na busca pela sustentabilidade da agricultura brasileira. "Campo e Negócios" - agosto/2006.
- MISSOUX, M., 1853/54. Sur l'emploi de la poudre des roches granitiques comme excitant de la végétation. Compte Rendu Acad. Sci., Paris, t.36: p.1136 e t. 37: p.245.
- NASCIMENTO, J.A.L. e MORELLI, M., 1980. Enxofre em solos do Rio Grande do Sul. I. Formas no solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.4, p.131-135.
- OBA, C.A.I. e CHAVES A.P., 2000. Aproveitamento de materiais fosfáticos marginais para a produção de fertilizantes organo-fosfatados, Boletim Técnico / Escola politécnica da USP.
- REVISTA PETROBRAS, 2005. Xisto agrícola, o adubo ecológico. Ver: Petrobras Nº 108, Set./Out. 2005.
- ROC-KALL - Fertilizantes para Orgânicos – www.rockall.com.br, Agência Sebrae de Notícias.
- SCHOBENHAUS, C. *et al.* (eds), 1984. Geologia do Brasil, DNPM, Brasília.
- SORRENSEN, W.J., 1997. Financial and economic implications of non-tillage and crop rotation compared to conventional crop systems. TCI Occasional Paper, Series No.9, Rome, FAO.
- TEIXEIRA *et al.*, organizadores, 2000. Decifrando a Terra. Oficina de Textos, São Paulo, 558 p.
- THEODORO, S. H., 2003. Fertilização da terra pela terra: uma alternativa de sustentabilidade para o pequeno produtor rural, Tese de doutoramento, Universidade de Brasília – UNB.
- TOLEDO, M.C. *et al.*, 2000. Intemperismo e formação do solo (In: Teixeira *et al.* organizadores, 2000).
- Van STRAATEN, P., 2007. Agrogeology – The use of Rocks for Crops. Universidade de Guelph / P. Van Straaten., 440 p.
- XV ENCONTRO LATINO-AMERICANO DO PROGRAMA EMPRETECE A MOSTRA DE EMPREENDEDORISMO E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 2006.
- Van KAUWENBERGH, S.J. e McCLELLAN, G.H., 2004. Characterization of phosphate rocks (in: ZAPATA, F e ROY, R.N., 2004)
- www.nouvelobs.com – L'application d'engrais organiques, issus du compostage, pourrait augmenter la capacité de stockage des sols en CO<sub>2</sub> tout en améliorant leur productivité. (acesso em 25/02/2008).
- ZAPATA, F e ROY, R.N., 2004. Use of phosphate rocks for sustainable agriculture. Fertilizer and Plant Nutrition. Bulletin 13, FAO.

## Anexo A

### ROCHAGEM

*Natural fertilizers, those substances that release nutrients from natural organic and rocks and mineral substances together with organic matter have been used for centuries to counter soil fertility declines and should be seen as an alternative option. Natural fertilizers include organic and mineral substances that supply nutrients to soils, enhance soil physical and biological and soil health as well as promote plant growth. These natural nutrient resources include poultry and cattle manures, green manures, leaf litter, and other organic residues as well as ashes and geological resources such as phosphate rocks and multi-nutrient silicate rock fertilizers./.../*

*More recently, integrated nutrient management (INM) systems have been promoted as part of broad-based, practical farm management strategies that aim at improving soil fertility and reducing the excessive use of soluble nutrient inputs. These strategies take account of the complex mineral-organic interactions in soils and include rocks and minerals as part of the system. INM is based on the 'judicious' manipulation of nutrient stocks and flows in an agricultural system that aims at reaching a 'sustainable' level of agricultural production. In the scheme of low external input agriculture (LEIA) practices the use of natural, rock- and mineral-based fertilizers plays a considerable role for more sustainable soil fertility management practices.*

*While the use of rock- and mineral-based fertilizer has been advocated by some farmers and scientists, many questions remain, especially the effectiveness of applying silicate rock fertilizer to soils. The main concern is the generally low solubility of most rocks and the subsequent low availability of nutrients to plants. Another constraint is related to the practicality of applying large amounts of ground rock to agricultural land (van STRAATEN, 2007).*

*It has been known for some time that soil quality, food quality, is a complex subject. /.../ the use of pesticides, biocides on soil reduces the ability of the soil to hold water! From the study of volcanic areas we know how long it takes to form good soil as with Hawaii and we also know that some soil is best for food and some for forests and today, for bio fuels such as ethanol. /.../ It is always necessary to monitor water chemistry in all agricultural regions, soil water and river water (e.g. the Mississippi compared to the Amazon and Rio Negro). Rivers in laterite regions are low in nutrient, which show the differences in agricultural productivity. /.../ It is interesting to contemplate that water can be mineralized with appropriate rocks and pumped to the land using wind power (zero pollution) (FYFE, 2004).*

*Manufactured water-soluble P fertilizers such as superphosphates are commonly recommended to correct P deficiencies, but most developing countries import these fertilizers, which are often in limited supply and represent a major outlay for resource-poor farmers. In addition, intensification of agricultural production in these countries necessitates the addition of P not only to increase crop production but also to improve soil P status in order to avoid further soil degradation. Hence, it is imperative to explore alternative P sources. Under certain soil and climate conditions, the direct application of PR, especially where available locally, has proved to be an agronomically and economically sound alternative to the more expensive superphosphates. PR deposits occur worldwide, but few are mined (for use mainly as raw materials to manufacture water-soluble P fertilizers) [(ZAPATA e ROY, Use of phosphate rocks for sustainable agriculture. FAO, Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin 13, 2004)].*

*Methodologies for evaluating PRs for direct application in agriculture include solubility tests using conventional reagents, incubation studies in soils without plants, pot experiments using a test plant in controlled conditions, and field experiments integrating environmental factors, cropping systems and management practices, as well as their interactions. This chapter illustrates these approaches using selected examples from studies with PRs from West Africa (TRUONG et al., 1978). The information has been obtained using Taiba PR (Senegal) and Hahotoe PR (Togo), which are exploited on a large scale for export purposes. Other PRs include Arli and Kodjari PRs (Burkina Faso), Tahoua PR (Niger), and Tilemsi PR (Mali), which are mined on a small scale for local use. Gafsa PR (Tunisia) was utilized as a reference because of its high reactivity. Interest in African PRs, in particular those from sub-Saharan Africa, stems from a number of considerations. First, there is the paradoxical situation where Africa ranks first with 28.5 percent of the world's production of PR, yet it has the lowest phosphate consumption with 2.8 percent of the world's consumption [(FAO, 1999)]. Second, although the PR resources of Africa are considerable in terms of both quantity and diversity, they are not exploited greatly [(McCLELLAN and NOTHOLT, 1986; BAUDET et al., 1986)]. All types of*

*PR can be found. There are igneous deposits in South Africa, Zambia and Zimbabwe that are coarsely crystalline in nature and quite unreactive and unsuitable for direct application [(KHASAWNEH and DOLL, 1978)]. Guano-type deposits occur in Namibia and Madagascar [(TRUONG et al., 1982)]. These deposits were formed recently on coral basements and are very soft and practically equivalent to water-soluble phosphate. Finally, there are sedimentary PRs that have been deposited progressively over geological time and are loosely consolidated. They contain microcrystalline particles with large specific surface areas and vary widely in terms of chemical composition and reactivity. These deposits represent 80 percent of the total world reserves. They extend from north to west and central Africa and are among the most relevant for direct application in agriculture.*

*For recent detailed information, the reader may refer to the FAO/IAEA international networked research project [(IAEA, 2002)]. This project has carried out all types of the studies mentioned above in order to evaluate the agronomic effectiveness of PR sources from several deposits worldwide under a wide range of soils, climate, crops and management conditions [(ZAPATA e ROY, Use of phosphate rocks for sustainable agriculture. FAO, Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin 13, 2004)].*

## Anexo B

### AGRICULTURA ORGÂNICA

Promovido pela FAO, realizou-se, de 3 a 5 de maio de 2007, em Roma, a Conferência Internacional sobre Agricultura Orgânica e, paralelamente, a 33ª Sessão do Comitê de Segurança Alimentar.

A Conferência tinha como objetivo mostrar, a partir da análise das informações disponíveis das diferentes regiões agroecológicas do mundo, a importância da Agricultura Biológica (ou Orgânica, como é designada mais freqüentemente) na segurança alimentar.

A Conferência teve a presença de 350 participantes de 80 países, incluindo, entre outras, as seguintes entidades: 24 institutos de pesquisa, 31 universidades, 8 empresas privadas e 9 agrupamentos de agricultores.

A abertura a instituições da sociedade civil foi uma forma de estimular o diálogo entre os setores público e privado.

Foram considerados cinco blocos que deram origem a cinco relatórios:

- disponibilidades alimentar (30 p.);
- acesso à alimentação (29 p.);
- estabilidade de provisão (29 p.);
- utilização dos alimentos (39 p.);
- segurança alimentar (22p.).

Indicam-se, entre parênteses, o número de páginas dos respectivos relatórios. Os artigos recebidos (142 p.), a lista dos participantes e o relatório final (14 p.), totalizam 305 páginas, que estão disponíveis no sítio da FAO [[www.fao.org/organicag/ofs/docs](http://www.fao.org/organicag/ofs/docs)].

---

*“Agricultura orgânica é o sistema de manejo sustentável da unidade de produção com enfoque sistêmico que privilegia a preservação ambiental, a agrobiodiversidade, os ciclos biogeoquímicos e a qualidade de vida humana. (...) aplica os conheci-*

*mentos da ecologia no manejo da unidade de produção, baseada numa visão holística da unidade de produção. Isto significa que o todo é mais do que os diferentes elementos que o compõem. Na agricultura orgânica, a unidade de produção é tratada como um organismo integrado com a flora e a fauna.*

*A agricultura orgânica fundamenta-se em princípios agroecológicos e de conservação de recursos naturais. O primeiro e principal deles é o do RESPEITO À NATUREZA. O agricultor deve ter em mente que a dependência de recursos não renováveis e as próprias limitações da natureza devem ser reconhecidas, sendo a ciclagem de resíduos orgânicos de grande importância no processo. O segundo princípio é o da DIVERSIFICAÇÃO DE CULTURAS, que propicia uma maior abundância e diversidade de inimigos naturais. Estes tendem a ser polígrafos e se beneficiam da existência de maior número de hospedeiros e presas alternativas em ambientes heterogêneos. A diversificação espacial, por sua vez, permite estabelecer barreiras físicas que dificultam a migração de insetos e alteram seus mecanismos de orientação, como no caso de espécies vegetais aromáticas e de porte elevado. A biodiversidade é, por conseguinte, um elemento-chave da tão desejada sustentabilidade. Outro princípio básico muito importante da agricultura orgânica é o de que o SOLO É UM ORGANISMO VIVO. Desse modo o manejo do solo privilegia práticas que garantam um fornecimento constante de matéria orgânica, através do uso de adubos verdes, cobertura morta e aplicação de composto orgânico que são práticas indispensáveis para estimular os componentes vivos e favorecer os processos biológicos fundamentais para a construção da fertilidade do solo no sentido mais amplo. O quarto e último princípio é o da INDEPENDÊNCIA DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO em relação a insumos agroindustriais adquiridos altamente dependentes de energia fóssil que oneram os custos e comprometem a sustentabilidade.*

*Na agricultura orgânica os processos biológicos substituem os insumos tecnológicos. Por exemplo, as práticas monoculturais apoiadas no uso intensivo de fertilizantes sintéticos e de agrotóxicos da agricultura convencional são substituídas na agricultura orgânica pela rotação de cultura, diversificação, uso de bordaduras e consórcios, entre outras práticas. A baixa diversidade dos sistemas agrícolas convencionais os torna biologicamente instáveis, sendo o que fundamenta ecologicamente o surgimento de pragas e agentes de doenças, em nível de danos econômicos. O controle de pragas e agentes de doenças e mesmo das plantas invasoras (na agricultura orgânica essas espécies são consideradas plantas*

*espontâneas) é fundamentalmente preventivo". (Embrapa – Fundamentos da Agricultura Orgânica).*



*"O princípio da produção orgânica é o estabelecimento do equilíbrio da natureza utilizando métodos naturais de adubação e de controle de pragas. A Pedologia limitou-se durante décadas ao estudo da estrutura físico-química do solo. Hoje a agronomia se ressentiu do desconhecimento da microfauna e microflora do solo e de sua ecologia. Estima-se que 95% dos microrganismos que vivem no solo sejam desconhecidos pela ciência" (Wikipedia).*

## Anexo C

### PLANTIO DIRETO

“Os produtores que passam de práticas convencionais para uma nova técnica podem fazê-lo por diversas razões: ao descobrirem, por exemplo, um método de produção mais eficaz e mais rentável, ou ao se aperceberem de um problema e, ao procurarem a solução, chegarem a uma nova prática, como é caso, por exemplo, do Plantio Direto (PD) ou Agricultura de Conservação (AC).

Os problemas que aceleraram a aceitação para o PD foram essencialmente a degradação e erosão dos solos e/ ou a diminuição do rendimento das culturas devido à deterioração da fertilidade dos terrenos. Esta forma de ver associa-se ao modelo tradicional da inovação e à adoção de novas tecnologias em muitas indústrias incluindo a agricultura.

*(...) A adoção e difusão de um processo de inovação caracteriza-se como a aceitação, ao longo do tempo, de um elemento específico, pelas pessoas (ou ‘unidades de adoção’) através de ‘canais de transmissão’ específicos. A inovação inclui “qualquer pensamento, comportamento ou tema novo, qualitativamente diferente das formas existentes” (JONES, 1967). Esta definição ampla leva em consideração todas as idéias ou processos considerados como tendo utilidade. No contexto agrícola, pode significar uma nova variedade ou novo processo de gestão adotado por um indivíduo, uma família ou uma sociedade. (...) Em conclusão: a difusão é o processo pelo qual uma inovação se espalha ao longo do tempo num dado sistema social” (Économie de l’agriculture de conservation - FAO, 2003).*

“A América Latina apresenta as taxas mundiais mais elevadas de ‘não revolvimento do solo’ (“*non-travail du sol*”). As primeiras tentativas conhecidas de não-revolvimento mecânico tiveram lugar na região sub-tropical do Brasil, entre 1969 e 1972 e em 1981/2, na zona tropical. O primeiro teste de ‘não revolvimento do solo’ aconteceu no estado do Paraná, em 1972. Em 1999 a percentagem de não-revolvimento em toda a área cultivada atingia 52% no Paraguai, 32% na Argentina e 21% no Brasil” [(FAO, 2003; SORRENSON, 1997)].

“A adoção do Plantio Direto expressa a perfeita harmonia do homem com a natureza e proporciona economias significativas para a sociedade como um todo. Torna-se possível, assim, a minimização de custos por unidade produzida a partir da maximização da produtividade de insumos e de mão-de-obra. Associa-se a isto a diminuição significativa de consumo de petróleo (60 a 70% a menos de óleo diesel), o aumento do seqüestro de carbono (aumento do estoque, no solo e na superfície da matéria orgânica em decomposição), a diminuição expressiva da perda de solo por erosão (90% de diminuição nas perdas estimadas em 10 t solo / t de grão produzida), que evidenciam a possibilidade de se obter uma agricultura sustentável e limpa, produzindo alimentos de qualidade com menor impacto negativo sobre o meio ambiente e o homem” [(Embrapa – Sistema de plantio Direto, [www22.sede.embrapa.br](http://www22.sede.embrapa.br) => plantio direto)].

## Anexo D

### SOLOS - INTEMPERISMO E FORMAÇÃO DO SOLO

"Várias características do ambiente em que se processa o intemperismo influem diretamente nas reações de alteração no que diz respeito à sua natureza, velocidade e intensidade. São os chamados fatores de controle do intemperismo, basicamente representados pelo material parental, clima, topografia, biosfera e tempo.

A alteração intempérica das rochas depende da natureza dos minerais constituintes, de sua textura e estrutura. Por exemplo, uma rocha silicática como o granito é mais resistente à alteração que uma rocha carbonática, como o mármore.

Entre os minerais constituintes das rochas, alguns são mais suscetíveis que outros à alteração. (...) Assim considerando a seqüência de minerais máficos, a olivina, primeiro mineral a cristalizar-se, a cerca de 1.400°C, é o mineral mais suscetível à alteração; em seguida vêm os piroxênios, os anfibólios e as micas, cristalizados a temperaturas mais baixas. Considerando-se a seqüência dos plagioclásios, a anortita apresenta ponto de fusão máximo e a albita, mínimo. Os K-feldspatos fundem a temperaturas ainda mais baixas. Assim são mais suscetíveis à alteração intempérica, pela ordem, anortita, albita e K-feldspato. O quartzo, último mineral a cristalizar-se, já a temperaturas próximas de 500°C, é o mineral comum mais resistente ao intemperismo. (...)

A composição mineralógica da rocha em vias de alteração modifica o pH das soluções percolantes em função das reações químicas que ocorrem. Embora a carga elétrica global das estruturas minerais deva ser nula, a superfície dos grãos pode conter valências insaturadas. Em contato com a água, ocorre hidratação pela atração entre os dipolos da água e as cargas superficiais, podendo esta atração ser forte o suficiente para ionizar a água. Os íons H<sup>+</sup> assim gerados substituem os cátions nas superfícies dos

grãos minerais, o que resulta no aumento do pH da fase líquida. Assim, a presença de minerais portadores de elementos alcalinos e alcalino-terrosos possibilita a instalação de um pH mais alcalino nas águas que os percolam, enquanto que minerais sem estes elementos geram condições de pH mais ácidas.

Uma idéia desta diferença é dada pela escala de pH de abrasão. O pH de abrasão é determinado experimentalmente através da medida do pH da suspensão formada por água destilada e ácido carbônico em contato, durante um certo tempo, com a fase mineral pura moída.

Classes	Minerais	pH de abrasão
SILICATOS	Diopsídio	10 – 11
	Olivina	10 – 11
	Hornblenda	10
	Leucita	10
	Albita	9 – 10
	Biotita	8 – 9
	Microclínio	8 – 9
	Anortita	8
	Hiperstênio	8
	Muscovita	7 – 8
	Ortoclásio	8
	Montmorillonita	6 – 7
Caulinita	5 – 7	
ÓXIDOS	Gibbsita	6 – 7
	Quartzo	6 – 7
	Hematita	6
CARBONATOS	Magnesita	10 – 11
	Dolomita	9 – 10
	Calcita e	8
	Aragonita	

.../ Para um saprolito tornar-se um solo, é preciso, em primeiro lugar, que nesse meio, a alimentação mineral dos organismos vivos autótrofos e, em particular, dos vegetais superiores, esteja assegurada. A vida necessita de água e de elementos químicos, que são encontrados no ar ou dissolvidos na água e que têm como fonte primária as rochas e, secundariamente, os tecidos orgânicos pré-existentes. Nas

*rochas esses elementos estão disponíveis para os organismos em concentrações muito baixas e, nas soluções em concentrações demasiado elevadas, para assegurar uma alimentação contínua e suficiente para os organismos vivos. Neste particular, o solo desempenha um papel fundamental por se tratar de um meio intermediário entre a fase sólida (rocha) e líquida (água). No solo essa função vital*

*para os organismos vivos é desempenhada por uma fração organomineral denominada plasma argilo-húmico por ser constituída por íntima associação de argilominerais e húmus. A associação deste plasma argilo-húmico com minerais residuais, herdados da rocha parental como, por exemplo, o quartzo, fornece a organização estrutural e textural do solo" (TOLEDO et al., 2000 in TEIXEIRA et al., 2000).*

## Notas

- <sup>1</sup> In: van Straaten, 2007.
- <sup>2</sup> As diversas ações do Programa não têm tido, infelizmente, uma ampla e desejável divulgação de resultados, nem entre o grande público, nem entre pesquisadores interessados.
- <sup>3</sup> Citrato de Amônio Neutro.
- <sup>4</sup> Ugandito - rocha que contém leucita como fase félsica principal, clinopiroxênio, titanomagnetita e perovskita e, eventualmente, olivina, flogopita e apatita.
- <sup>5</sup> Kimberlito - peridotito (rocha rica de olivina) alcalino, pofirítico (macrocrístais numa matriz fina), com fenocrístais de olivina (habitualmente serpentizada ou carbonatizada), flogopita (com frequência cloritizada), piropo (variedade de granada) cromífero, com uma matriz fina de calcita e olivina de segunda geração. É a rocha-mãe dos diamantes.
- <sup>6</sup> A produção de fertilizantes organo-fosfatados, pelo processo francês Humifert, utiliza o ácido nítrico no ataque dos fosfatos (OBA e CHAVES, 2000).
- <sup>7</sup> Na Índia, a glauconita é importante fonte de K para a agricultura.
- <sup>8</sup> Sem haver avanço das fronteiras agrícolas, mas pressupondo-se que a fertilização biológica seria executada nos espaços agrícolas que hoje não fazem correta adubação ou não recorrem a nenhuma tecnologia de fertilização. Sabe-se que há uma diminuição efetiva do rendimento da produção agrícola quando se passa de um forte coeficiente de aplicação de insumos para sistemas de produção biológica. Pelo contrário, quando se passa de sistemas com fraca aplicação de insumos, para a agricultura orgânica, o rendimento praticamente duplica (n.a.).
- <sup>9</sup> Em alguns ambientes o pH das águas pode ser inferior a 5 e, neste caso ao invés da hidrólise, a reação predominante é a acidólise (TOLEDO et al., 2000).

# Capítulo 6 - Agricultura familiar - multifuncionalidade e sustentabilidade. O caso do calcário agrícola

Os autores

**Cleide de Marco Pereira**

Economista, D.Sc. Professora do CEA/PUC-Campinas. E-mail: cleidemp@gmail.com

## 1. Introdução

Este capítulo procura evidenciar a relação existente entre sustentabilidade e uso de calcário agrícola, com destaque para a dimensão social, configurada pela atividade agrícola familiar, que representa 85% das propriedades agrícolas do País. São perto de quatro milhões de estabelecimentos agropecuários de categoria familiar distribuídos por todo o País e concentrados principalmente nas regiões Norte e Nordeste. Segundo dados do IBGE, apenas 800 mil produtores utilizam calcário agrícola em seus solos, o que corresponde a apenas 18% do total de estabelecimentos do País.

Atualmente, no Brasil, os maiores consumidores de calcário agrícola são os grandes produtores de soja, milho, café, cana-de-açúcar, citricultura e pecuaristas, que estão concentrados nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, correspondendo a 85% do mercado. Os agricultores ligados ao agronegócio ou *agribusiness* são os maiores beneficiados pelas políticas públicas agrícolas no País.

O atual panorama do mercado de calcário agrícola no Brasil confirma a grande potencialidade de consumo que representa a categoria de produtores familiares, pois, segundo a Associação Brasileira de Produtores de Calcário (ABRACAL), a necessidade de correção dos solos do País chega a 75 milhões de toneladas, sendo que, no ano de 2006, foram consumidas apenas 16,7 milhões de toneladas.

Para que os agricultores familiares se constituam em efetivos consumidores do insumo, algumas ações por parte do poder público deverão ser

direcionadas. Pereira (2007) evidenciou a necessidade de reorganização e institucionalização de uma política nacional de utilização do calcário que contemple, prioritariamente, os pequenos agricultores. O modelo atual só consegue viabilizar o consumo em 23% das necessidades dos solos do País, reflexo do modelo construído no decorrer das décadas de 50-70, período de modernização e industrialização da agricultura que resultou em exclusão social.

## 2. Aspectos conceituais da atividade agrícola

A agricultura é uma atividade que demanda ação constante no decorrer do ano, embora haja determinados momentos que requerem maior atenção, em termos de "o que plantar", "quanto plantar", "quando plantar", "o que criar". Para o produtor familiar, planejar suas ações não é fácil, diante dos ajustamentos dos seus objetivos à realidade de recursos escassos e à necessidade de manter a sobrevivência de seus familiares. Para ultrapassar tais limitações, é necessário que cada produtor rural aumente sua produção. Este aumento, via incremento da produtividade, depende, cada vez mais, do uso adequado de técnicas agropecuárias, que requerem conhecimentos, insumos e bens de capital. O uso do insumo mineral calcário, essencial para obtenção de ganhos de produtividade, é uma dessas técnicas.

Dentre os vários fatores que contribuem para agravar os impactos da modernização agropecuária sobre os produtores familiares, podemos destacar a

subordinação da pequena produção ao capital, pela venda direta de sua força de trabalho em determinados períodos do ano, em detrimento do trabalho na sua propriedade familiar, ou seja, a sazonalidade do trabalho agrícola, para lhe assegurar uma base financeira mínima de subsistência.

Por imposição do agronegócio a produção familiar passou também a especializar-se em determinados tipos de produtos, sendo obrigada, para sobreviver, a desempenhar um novo papel, o de compradora de insumos, com as dificuldades que sempre existiram para obtenção de crédito no mercado financeiro. As operações financeiras de pequeno porte não são interessantes para os bancos, não geram lucratividade e implicam em riscos de inadimplência. Constatou-se, freqüentemente, que os bancos usam o excesso de burocracia como meio para minimizar o risco, mas também para desestimular a ocorrência em massa deste tipo de financiamento.

No caso brasileiro, fica claro que as políticas de estímulo à modernização não atingiram as pequenas unidades agrícolas, especialmente as que se dedicam à produção de gêneros alimentícios de primeira necessidade (GRAZIANO DA SILVA, 1982). A contribuição da ciência e da tecnologia foi essencial ao processo de desenvolvimento e modernização da agricultura brasileira, porém a natureza desse processo trouxe como consequência indesejável um elevado nível de exclusão social que, num primeiro momento, aconteceu por meio da substituição da mão-de-obra pela mecanização intensiva das tarefas agropecuárias.

A agricultura tradicional caracterizava-se pelo cultivo de um conjunto diversificado de produtos agrícolas, pelo uso predominante do trabalho braçal, da tração animal e de instrumentos de trabalho simples e geralmente produzidos na própria região, o que expressa elevado grau de integração econômica no âmbito local. A moderna, ou modernizada, por outro lado, revela forte tendência à monocultura, dependência acentuada do uso de combustíveis fósseis como fonte energética básica, a mecanização nas diversas fases do processo

de produção e uso abundante de outros insumos, particularmente os oriundos da indústria química.

O desenvolvimento do capitalismo no campo, à medida que incorporou máquinas, defensivos, fertilizantes e outros insumos modernos, modificou profundamente a base técnica da produção agrícola, alcançando grandes avanços na solução das questões agrícolas, isto é, dos problemas ligados à produção. Também, esse desenvolvimento aumentou os desequilíbrios da questão agrária, pois não resolveu a questão de participação na renda gerada pela ampla maioria da população rural brasileira.

Trabalhos desenvolvidos por Pereira, em 2002, 2003, 2005 e 2007, demonstraram que o calcário agrícola é um recurso mineral essencial ao desenvolvimento da agricultura brasileira, e sua utilização é capaz de produzir reflexos muito positivos nas esferas econômica, social e ambiental. O calcário agrícola também pode constituir-se num dos principais elementos viabilizadores da sustentabilidade da agricultura, principalmente de categoria familiar.

Inicialmente, é necessário que se conceitue, defina e esclareça o que significam os termos desenvolvimento, crescimento, desenvolvimento sustentável, sustentabilidade e multifuncionalidade da agricultura, além de situar o contexto histórico do surgimento desses termos.

## 2.1. Crescimento e desenvolvimento sustentável na agricultura

Primeiramente é necessário definir o que significa crescimento e desenvolvimento. Segundo Freitas *et al.* (2007):

“(...) entende-se como crescimento econômico o processo de aumento do produto (interno ou nacional) de um país ou setor. Normalmente, crescimento econômico é medido pela evolução do produto total ou do produto per capita de um país ou setor. Existem várias definições de desenvolvimento econômico, das quais duas merecem destaque. Para a Comissão Econômica para a América Latina (Cepal), desenvolvimento econômico pode ser conceituado como um processo dinâmico de mudança

estrutural da economia, objetivando proporcionar à maioria da população: (a) maiores níveis de consumo; (b) possibilidade de chegar a idades mais avançadas; (c) maiores recursos para educação; (d) redução da jornada de trabalho. Para Celso Furtado (1961), desenvolvimento econômico consiste na introdução de novas combinações de fatores de produção visando aumentar a produtividade do trabalho. Quando cresce a produtividade do trabalho aumenta o produto social, isto é, a quantidade de bens e serviços à disposição da sociedade. Por outro lado, o crescimento da renda provoca nos consumidores reações que aumentam a procura e modificam sua estrutura. O aumento e a diversificação da procura fazem com que também se modifique a estrutura da produção”.

A partir das definições da Cepal e de Celso Furtado, pode-se conceber desenvolvimento econômico como um processo de mudança estrutural da economia (na qual se destacam novas combinações de uso de fatores) que implicam melhoria do bem-estar da população, a qual se manifesta através de maior nível de renda per capita, melhores níveis de educação e de saúde. O crescimento econômico é condição necessária e não suficiente para haver o desenvolvimento econômico. Na análise da evolução da agropecuária brasileira, tendo sido dada muita atenção ao seu crescimento econômico, avaliado pelo crescimento do PIB ou da produção, mas não ao seu desenvolvimento econômico, o qual pode apresentar diferenças entre regiões e, assim, implicar um repensar da política econômica (FREITAS *et al.*, 2007).

Em relação ao conceito de desenvolvimento sustentável, Silva e Grassi (2005) colocam que:

“a construção histórica do conceito de desenvolvimento sustentável está vinculada com o incremento da preocupação da manutenção e existência de recursos naturais e um ambiente propício para a continuidade das gerações futuras, discutindo o ritmo e a forma como o sistema capitalista propunha o desenvolvimento das sociedades”

O conceito de desenvolvimento sustentável tem suas raízes a partir da percepção da crise do mo-

delo de civilização ocidental, conforme cita Cavalcanti (2000):

“(...) o momento de crise em que nasce o conceito de desenvolvimento sustentável possui características que são facilmente identificáveis: deterioração do meio ambiente natural, do qual dependemos completamente, poluição atmosférica, da água e dos alimentos; deterioração do meio ambiente social, resultando em desnutrição, fome, violência; deterioração da economia, que se reflete em processos inflacionários sem controle, desemprego e distribuição de renda e de riqueza extremamente desiguais.

E também que:

“(...) apesar de ainda não haver consenso em torno do conceito de desenvolvimento sustentável, admite-se, de maneira crescente, e torna-se cada vez mais claro o fracasso do modelo de desenvolvimento ocidental predominante até o presente, e a desagregação das idéias que ele representa”.

No ano de 1952, foi criada nos Estados Unidos a Comissão Presidencial para Política de Materiais (também conhecida como “*Paley Commission*”) para estudar e avaliar o potencial da agricultura e dos recursos naturais dos Estados Unidos. Os EUA estavam preocupados com a rápida expansão econômica do pós-guerra e com a possibilidade de dependência do país em relação às importações de petróleo e outras matérias-primas. A Comissão elaborou o relatório intitulado “*Resources for Freedom, Foundation for Growth and Scarcity*”, um dos primeiros estudos a pensar limites relacionados a problemas de qualidade ambiental, ao lado das preocupações com exaustão de recursos (CAVALCANTI, *op. cit.*).

Em 1963, foi criada nos Estados Unidos a Comissão de Recursos para o Futuro. Esta comissão publicou um dos trabalhos mais conhecidos nesse campo, (“*Scarcity and Growth: the Economics of Natural Resource Availability*”), escrito por Harold Barnett e Chandler Morse, com conclusões otimistas sobre o futuro da disponibilidade dos recursos. Os autores basearam-se em três evidências: a) os avanços da tecnologia na extração, processamento e produção; b) a descoberta de

novos depósitos; c) a substituição de materiais escassos por outros mais abundantes.

O Clube de Roma, formado em 1968 e patrocinado pelo industrial italiano, Aurélio Peccei, composto por 30 membros, dentre cientistas, empresários, políticos, economistas e matemáticos, realizou alguns estudos. Liderado por Dennis L. Meadows, como cita Cavalcanti (*op. cit.*):

*“(...) com o objetivo de discutir e analisar problemas presentes e futuros da humanidade e os limites do crescimento econômico, diante do uso crescente de recursos naturais. No início da década de 70, o grupo já estava com 70 membros e, no final da década, chegava a cem pessoas”.*

No ano de 1971, realiza-se em Founex, na Suíça, uma reunião que se tornou preparatória para a Conferência de Estocolmo na Suécia, que viria a se realizar no ano seguinte.

Em 1972, o Clube de Roma publicou os primeiros resultados do trabalho de grupo no livro *“The Limits to Growth”*, dando origem ao movimento denominado neomalthusianismo, pois retomava a Teoria Malthusiana, para a formulação de suas conclusões e recomendações, considerando a variável demográfica nos países de Terceiro Mundo como a mais importante a ser controlada. O argumento básico do modelo defende a necessidade de se impor limites ao crescimento exponencial da atividade econômica, populacional e da poluição, porque o mundo é finito em terras aráveis, depósitos minerais, recursos energéticos e na capacidade de suporte da poluição.

A realização da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente Humano, realizada em 1972, conhecida como Conferência de Estocolmo, foi motivada pelos debates sobre os riscos da degradação do meio ambiente. Pela primeira vez, foram debatidos e contrapostos temas como crescimento, desenvolvimento e proteção do meio ambiente, de forma mais globalizada, como mais tarde a idéia do desenvolvimento sustentável viria a considerar.

O termo surgido inicialmente para expressar a necessidade de adoção de um modelo de desenvolvi-

mento que contemplasse o econômico e o ecológico, tanto para países industrializados como para países em desenvolvimento, foi “ecodesenvolvimento”, proposto pelo Canadense Maurice Strong. Este termo tornou-se um elemento muito importante nas discussões que levaram à definição de desenvolvimento sustentável mais tarde, na década de 80. Cavalcanti (2000) cita que:

*“Ignacy Sachs formulou os princípios básicos norteadores dessa nova ética de desenvolvimento: a) satisfação das necessidades básicas; b) solidariedade com gerações futuras; c) participação da população envolvida; d) preservação dos recursos naturais e do meio ambiente em geral; e) elaboração de um sistema social garantindo emprego, segurança social e respeito a outras culturas; f) programas de educação”.*

Em 1976, a Fundação Bariloche publica, sob coordenação de Amilcar Herrera, *“Catastrophe or a New Society - A Latin American World Model”*, um modelo caracterizado como uma reação ao pensamento dominante no mundo desenvolvido, o qual sustentava que os problemas fundamentais que a sociedade enfrentava eram aqueles relacionados com os limites físicos, impostos pelas taxas exponenciais de crescimento da população. O relatório mostrou que os principais problemas do mundo não eram físicos e sim sociopolíticos, que levam a uma situação de opressão e alienação, que por sua vez era conseqüência da exploração característica da situação mundial, em que predominava a má distribuição do poder entre e dentro das nações. O processo de deterioração do ambiente físico e dos recursos naturais é entendido como resultado de organizações sociais baseadas em valores destrutivos e não como conseqüência inevitável do progresso humano (CAVALCANTI, 2000).

Em 1980, a União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN), com financiamento do Programa de Meio Ambiente das Nações Unidas (UNEP) e do *World Wildlife Fund (WWF)*, publica a “Estratégia Mundial de Conservação”, trabalho precursor na utilização do termo desenvolvimento sustentável. Pela primeira vez, desenvolvimen-

to era entendido como um meio de se alcançar a conservação e não um entrave para tal.

Em 1983, a Assembléia Geral da ONU criou a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD), um organismo independente, formado por especialistas e líderes mundiais de 21 países, vinculados aos governos e ao sistema das Nações Unidas, mas não sujeitos a seu controle, tendo como principais objetivos: a) reexaminar as questões críticas relativas a meio ambiente e desenvolvimento e formular propostas realísticas para abordá-las; b) propor novas formas de cooperação internacional nesse campo, de modo a orientar políticas e ações no sentido das mudanças necessárias; c) dar a indivíduos, organizações voluntárias, empresas, institutos e governos uma compreensão maior desses problemas, incentivando-os a uma atuação mais firme.

No ano de 1986, com o apoio financeiro da União Internacional para Conservação da Natureza (IUCN), Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e *World Wildlife Fund* (WWF), realiza-se a Conferência de Otawa, no Canadá. Nesta Conferência também foi trabalhado o conceito de desenvolvimento sustentável, estabelecendo que ele deveria responder a cinco quesitos, conforme cita Cavalcanti (*op. cit.*):

*“(...) a) integração da conservação e do desenvolvimento; b) satisfação das necessidades básicas humanas; c) alcance de equidade e justiça social; d) provisão da autodeterminação social e da diversidade cultural; e) manutenção da integração ecológica”.*

Gro Harlem Brundtland, Primeira Ministra da Noruega e Presidente da CMMAD, elaborou um relatório que ficou mundialmente conhecido como Relatório Brundtland, publicado em 1987, com o título “Nosso Futuro Comum”. O documento propõe uma série de ações e diretrizes a serem empreendidas para que se efetivem as mudanças necessárias objetivando reduzir as ameaças à sobrevivência e dar um rumo viável ao desenvolvimento. Quanto aos rumos do desenvolvimento, declara:

*“De que valia será tal desenvolvimento para o mundo do próximo século, quando haverá o dobro de pessoas a depender do mesmo meio ambiente? Essa constatação ampliou nossa visão do desenvolvimento. Percebemos que era necessário um novo tipo de desenvolvimento capaz de manter o progresso humano, não apenas em alguns lugares e por alguns anos, mas em todo o Planeta e por um futuro longínquo. Assim, o ‘desenvolvimento sustentável’ é um objetivo a ser alcançado não só pelas nações ‘em desenvolvimento’, mas também pelas industrializadas” (CMMAD, 1988, p.4).*

A CMMAD define desenvolvimento sustentável como:

*“(...) aquela que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem a suas próprias necessidades. Ele contém dois conceitos-chave:*

- *o conceito de ‘necessidades’, sobretudo as necessidades essenciais dos mais pobres do mundo, que devem receber a máxima prioridade;*
- *a noção das limitações que o estágio da tecnologia e da organização social impõe ao meio ambiente, impedindo-o de atender às necessidades presentes e futuras.*

*Portanto, ao se definirem os objetivos do desenvolvimento econômico e social, é preciso levar em conta sua sustentabilidade em todos os países - desenvolvidos ou em desenvolvimento, com economia de mercado ou planejamento central. Haverá muitas interpretações, mas todas elas terão características comuns e devem derivar de um consenso quanto ao conceito básico de desenvolvimento sustentável e quanto a uma série de estratégias necessárias para sua consecução.*

O desenvolvimento supõe uma transformação progressiva da economia e da sociedade. Caso uma via de desenvolvimento se sustente em sentido físico, teoricamente ela pode ser tentada mesmo num contexto social e político rígido. Mas só se pode ter certeza da sustentabilidade física se as políticas de desenvolvimento considerarem a possibilidade de

mudanças quanto ao acesso aos recursos e quanto à distribuição de custos e benefícios. Mesmo na noção mais estreita de sustentabilidade física está implícita uma preocupação com a equidade social entre gerações, que deve, evidentemente, ser extensiva à equidade em cada geração” (CMMAD, 1988, p.46).

Para atingir o desenvolvimento sustentável é necessário uma transformação progressiva da economia e da sociedade.

O relatório da CMMAD parte do princípio que os modelos atuais de desenvolvimento tanto de países do Norte, quando do Sul são inviáveis, pois ambos seguem padrões de crescimento econômico não-sustentáveis no longo prazo. Também introduziu uma dimensão ética e política ao admitir que o desenvolvimento é um processo de mudança social que implica transformação das relações econômicas e sociais, dimensão até aquele momento não contemplada em outros estudos (DIEGUES, 1992).

O relatório Brundtland sofreu diversas críticas, principalmente no que diz respeito à sua interpretação e à sua prática, pois após sua publicação, o conceito de desenvolvimento sustentável passou a ser utilizado de maneira indiscriminada. Diegues (1992) declara que:

“(…) esse termo transita pelos mais diversos círculos e grupos sociais, desde as organizações não-governamentais até as de pesquisa, com notável e estranho consenso, como se fosse uma palavra mágica ou um fetiche”.

Também afirma que se for analisado de maneira aprofundada ver-se-á uma falta de consenso, não somente quanto ao adjetivo “sustentável” como também ao desgastado conceito de “desenvolvimento”. Não existe um único paradigma de sociedade de bem-estar a ser atingido por vias do desenvolvimento e do progresso linear. É preciso pensar em vários tipos de sociedades sustentáveis, ancoradas em modos particulares, históricos e culturais de relações com os diversificados ecossistemas existentes na biosfera e dos seres humanos entre si, que nem a homogeneização sociocultural

imposta pelo mercado capitalista mundial conseguiu destruir.

Outra crítica feita ao relatório é que a proposta ignorou as relações de forças internacionais, ou seja, os interesses dos países industrializados em dificultar o acesso dos países do Terceiro Mundo à tecnologia, às relações desiguais de comércio. Também não levou em conta a existência de contradições internas dos países em desenvolvimento, que os impedem de atingir o desenvolvimento sustentável.

A UNESCO adota a seguinte definição para sustentabilidade:

*“A capacidade de suporte expressa o nível de população que pode ser sustentado por um país, em um dado nível de bem-estar. Mais precisamente ela pode ser definida como o número de pessoas compartilhando um dado território que podem sustentar, de uma forma que seja viável no futuro, um dado padrão material de vida utilizando-se de energia e de outros recursos (incluindo terra, ar, água e minérios), bem como de espírito empresarial e de qualificações técnicas e organizacionais... É um conceito dinâmico que pode ser estendido ou restringido, de várias maneiras: em razão de mudanças nos valores culturais, de descobertas tecnológicas, de melhorias agrícolas ou dos sistemas de distribuição de terra, de mudanças nos sistemas educacionais, de modificações fiscais e legais, de descobertas de novos recursos minerais, ou do surgimento de uma nova vontade política. Nunca há uma solução única para a equação população/recursos naturais, pois não é somente a população que determina a pressão sobre os recursos (e os potenciais efeitos ecológicos associados) mas também o consumo individual, que por sua vez, é determinado pelo sistema de valores e pelas percepções de estilo de valores e pelas percepções de estilo de vida” (UNESCO apud Hogan, 1993, p.63).*

Diversos autores são unânimes ao destacar que o que deve ser construído é um novo paradigma de desenvolvimento e que o conceito de sustentabilidade não pode se limitar apenas à visão tradicional de estoques e fluxos de recursos naturais e

de capitais. É preciso considerar as seguintes dimensões:

- a) sustentabilidade social – com objetivo de melhorar substancialmente os direitos e as condições de vida das populações e reduzir as distâncias entre os padrões de vida dos grupos sociais;
- b) sustentabilidade econômica – viabilizada por uma alocação e gestão eficiente dos recursos, avaliada muito mais sob critérios macrossociais do que microempresarial e por fluxos regulares de investimentos públicos e privados;
- c) sustentabilidade ecológica – envolvendo medidas para reduzir o consumo de recursos e a produção de resíduos, medidas para intensificar as pesquisas e a introdução de tecnologias limpas e poupadoras de recursos e para definir regras que permitam uma adequada proteção ambiental.

Ignacy Sachs (1993) propõe ainda mais duas dimensões: sustentabilidade espacial, que deve contemplar uma configuração mais equilibrada da questão rural-urbana e uma melhor distribuição do território, evitando as concentrações excessivas nas áreas urbanas; sustentabilidade cultural, para que se busquem concepções endógenas de desenvolvimento que respeitem as peculiaridades de cada ecossistema, de cada cultura e cada local. Maurice Strong sintetiza que, para alcançar tais dimensões de sustentabilidade, é necessário obedecer, simultaneamente aos seguintes critérios: *equidade social, prudência ecológica e eficiência econômica*.

Apesar dos avanços obtidos na evolução do pensamento mundial com relação à crise do desenvolvimento, que também é ambiental, o receituário para sua superação ainda está majoritariamente focado nos princípios neoliberais, com programas de ajuste estrutural e de redução dos gastos públicos, e se abre ainda mais para o comércio e os investimentos estrangeiros (GUIMARÃES, 2004).

O homem deve trabalhar em busca de mudanças de valores, para alterar o sentido antropocêntrico do sistema em sentido ecocêntrico. Isto significa

que cada um de nós deve se assumir como agente modificador e se colocar como elemento integrante de um sistema socioeconômico-ecológico sustentável. Este sistema deve adotar valores que vissem ao equilíbrio do sistema terrestre, o “eu e você” e o respeito pela vida, isto porque, a vida deve ter seu valor justificado por si mesma. Assim se estabelecerá uma ética ambiental que busca a integração das esferas social, econômica e ecológica, em outras palavras, uma nova ética em busca de sustentabilidade (CAVALCANTI, 2000).

## 2.2. Multifuncionalidade da agricultura

O conceito de multifuncionalidade da agricultura surgiu na França, na segunda metade dos anos 90, e se difundiu pela Europa. Questões como a guerra, fome, xenofobia e, mais recentemente, a idéia européia de que a agricultura seria um setor diferente dos outros por conta da sua multifuncionalidade são algumas teses comumente apresentadas por produtores e governos de países desenvolvidos em defesa da idéia da auto-suficiência alimentar. A multifuncionalidade relaciona-se com as múltiplas funções que a agricultura exerce, quais sejam: social, econômica e ambiental.

Segundo Maluf (2002):

*“(...) a construção européia da multifuncionalidade resulta de dois movimentos: a) a crítica ao modelo agrícola produtivista e b) o objetivo de harmonizar as legislações agrícolas e de desenvolvimento rural dos diversos países. A política de desenvolvimento rural européia sofreu importantes modificações aportadas pela adoção, em março de 1999, da chamada “Agenda 2000”, na qual estão incluídas nova reforma da política agrícola comum (PAC) e modificações nos fundos estruturais para política regional”.*

O que estava presente nos debates sobre a orientação da nova política agrícola européia tinha um caráter mais social e menos produtivista e exportador.

O debate sobre a multifuncionalidade da agricultura ganhou notoriedade durante as negociações da organização Mundial do Comércio (OMC). Em dezembro de 1999, ocorreu a conferência de

Seattle, que deveria dar início às negociações sobre a reforma de importantes temas no comércio internacional, com destaque para agricultura e serviços. Contudo, não houve consenso entre os países membros da OMC, sequer sobre a agenda sobre a qual deveria se concentrar a chamada Rodada do Milênio. Esta falta de consenso se deu em meio a grandes manifestações populares contra a OMC e seus pressupostos neoliberais, que levaram às ruas de Seattle dezenas de milhares de manifestantes, duramente reprimidos pela polícia. O fracasso da conferência evidenciou: a falta de acordo sobre a pauta de negociações comerciais, a oposição popular à OMC enquanto instrumento de liberalização comercial indiscriminada e as duras críticas à própria estrutura da OMC claramente antidemocrática e sem transparência (SOARES, 2001).

Três preocupações explicam a emergência do conceito de multifuncionalidade, segundo entendimento de Ribeiro (2006):

*“A primeira trata da linha fundamental que existe entre a agricultura, o ambiente e o desenvolvimento; a segunda relativa às relações entre a agricultura e a segurança alimentar; e a terceira referente às relações entre a agricultura e o comércio internacional”.*

Kageyama (2004) cita que:

*“O redescobrimiento do desenvolvimento rural deu-se em função da necessidade de reorientação do protecionismo da Política Agrícola Européia (PAC), que reconheceu, de um lado, os problemas criados pela agricultura intensiva e, de outro, a multifuncionalidade do espaço rural (funções produtivas, papel no equilíbrio ecológico e suporte às atividades de recreação e preservação da paisagem)”.*

Segundo Soares (op. cit.):

*“(...) o conceito do caráter multifuncional da agricultura e da terra é derivado do conceito de agricultura e desenvolvimento rural sustentável (ADRS). Este último é resultado das reflexões da FAO, e outras instituições, nas décadas de 1970 e 1980, a respeito da evolução da agricultura e sua relação*

*com a segurança alimentar, produtividade e sustentabilidade”.*

O termo multifuncionalidade da agricultura provém do reconhecimento do papel da agricultura e de suas relações com os diversos setores da sociedade. Reconhecer que o seu papel não se restringe à produção de matéria-prima e alimentos, à liberação de mão-de-obra para as atividades urbanas, à geração de divisas e à transferência de capital para os outros setores da economia, mas também destaca outras funcionalidades, tais como a social, a ambiental, a patrimonial, a estética e a recreativa/pedagógica. Em função destas outras funcionalidades, as atividades produtivas tradicionais do meio rural - agrícola, pecuária e florestal - passam a ter um novo papel na sociedade. Esta visão multifuncional representa uma nova forma de se analisar a agricultura, mudando-se o foco simplista de ser produtora de matérias-primas para o foco do desenvolvimento sustentável, o qual leva em consideração tanto os fatores econômicos como os sociais e ambientais.

Segundo Ribeiro (2006), a aplicação da noção da multifuncionalidade como instrumento auxiliar de formulação de políticas públicas, conforme indicado pela experiência francesa, dá origem a novos laços entre produtores, consumidores, demais atores sociais e o poder público, criando assim uma nova forma de construção do capital social de um território. A partir daí, julga-se que a formulação de políticas públicas para o meio rural brasileiro também pode se valer da noção de pluriatividade, em especial porque a noção de emprego rural não se restringe às atividades agrícolas, pois o novo mundo rural ou as novas visões sobre a ruralidade abrangem estas novas dimensões da vida no meio rural. Portanto, o conceito multifuncional da agricultura pode ser de grande valia para a construção de políticas públicas desenvolvimentistas para o Brasil.

Na discussão do conceito de multifuncionalidade, identificam-se as seguintes funções-chave da agricultura: **contribuição à segurança alimentar; função ambiental; função econômica e função social.**

É evidente que os diferentes setores da agricultura desempenham cada uma destas funções de uma maneira distinta. Desta forma, a utilização do conceito sem a devida diferenciação sobre qual agricultura está se analisando pode levar a uma uniformização tal que pouco contribui para a análise crítica do desenvolvimento da agricultura. A contribuição para a segurança alimentar exercida por uma comunidade de agricultores familiares, ou um assentamento de reforma agrária, é consideravelmente distinta da contribuição de uma grande propriedade patronal especializada na monocultura de soja para o mercado externo. Da mesma maneira, os impactos ambientais de um policultivo tradicional são muito diferentes dos impactos da monocultura mecanizada e altamente dependente de insumos químicos. Em relação às funções social e econômica, as diferenças entre distintos modelos de uso da terra são ainda mais óbvias.

Dessa forma, a ótica da multifuncionalidade torna-se um interessante instrumento de análise e deve ser contextualizado à nossa realidade, marcada por um setor agrícola fortemente desigual, em que um enorme fosso separa as realidades da agricultura familiar e da agricultura patronal. Isto significa dizer que as múltiplas funções da agricultura não são comuns ao conjunto da agricultura e que os serviços prestados à sociedade também são distintos, sendo, em alguns casos, até antagonicos.

Se o uso do calcário agrícola for difundido, principalmente entre os agricultores familiares, e sendo este insumo capaz de aumentar a produtividade e contribuir para a sustentabilidade da atividade agrícola, presume-se que poderão ser amplos os benefícios obtidos diante da instituição de um plano/política que viabilize seu uso. Além da caracterização da agricultura familiar e do agronegócio que é feita na próxima seção, busca-se evidenciar também porque o uso de calcário agrícola é triplamente benéfico, ou seja, quais são os ganhos sociais, econômicos e ambientais decorrentes de sua utilização.

### 3. Características socioeconômicas da agricultura no Brasil

A partir da segunda metade do século 20, o universo da PD&I e os resultados obtidos em diversos pontos do planeta transformaram o perfil e a dinâmica da economia mundial. Em diversas áreas, ocorreram processos de modificações técnicas e econômicas, como na medicina, na eletrônica, na área energética etc. Na agricultura não poderia ser diferente, ela foi redirecionada com o desenvolvimento de insumos modernos (fertilizantes, defensivos, corretivos, máquinas e equipamentos) e com os progressos obtidos com a biotecnologia animal e vegetal.

Como cita Araújo *et al.* (1990):

*“A própria integração da economia mundial transformou a atividade agropecuária em sua essência. De atividade voltada para a auto-suficiência da propriedade (onde os agricultores se dedicavam à produção de alimentos para seu consumo, à criação de animais para abate e de trabalho e fabricavam seus próprios equipamentos e ferramentas), a agricultura modernizou-se e adequou-se às dinâmicas da economia de mercado”.*

Este cenário mostra duas importantes modificações. Da porteira da fazenda para dentro, nota-se uma tendência de especialização do produtor na sua atividade-fim, principalmente onde predomina a “agricultura de mercado”, em que diversos trabalhos que antes eram realizados pela agricultura passam agora a ser realizados por agentes externos. Da porteira da fazenda para fora, estrutura-se um moderno parque industrial de máquinas, implementos, sementes melhoradas, fertilizantes, corretivos, defensivos, vacinas, medicamentos, rações etc, para abastecer o campo modernizado.

O processo de produção agropecuária passa a contar com o apoio e a assistência de organismos até então inexistentes ou pouco atuantes, como órgãos públicos e privados de ensino, pesquisa e experimentação, bancos estatais e privados, firmas de assessoria e planejamento, empresas suprido-

ras de bens de produção e insumos, empresas de transformação e processamento, redes comerciais atacadistas e varejistas, entre outros. Portanto, o número de segmentos que circula em torno da produção é tão diversificado que é impossível enquadrar a agricultura como setor primário da economia, seguindo o enfoque simplista de setorização: primário (agricultura), secundário (indústria) e terciário (serviços).

O termo *agribusiness* (em português, "agronegócio"), surgiu pela primeira vez na década de 50 nos Estados Unidos durante a "*Conference on Distribution of Agricultural Products*", realizada em Boston, em 1955, e apareceu na literatura no ano seguinte em trabalhos publicados por Ray Goldberg e John H. Davis, dois pesquisadores da Universidade de Harvard.

Na verdade, a origem do termo deu-se a partir dos estudos iniciados, na década de 30, por Wassily Leontief, matemático russo que concebeu as matrizes de interação insumo/produto, uma tabela de dupla entrada, em que se estabelecem fluxos "*inputs*" e "*outputs*" nos diversos setores da economia que, ao serem analisados, permitem calcular impactos econômicos e planejar a economia como um todo (LEONTIEF, 1983). Esses estudos foram tão importantes para a economia mundial que, na década de 70, lhe renderam o Prêmio Nobel de Economia.

Estudando as transformações e reestruturações ocorridas na agricultura mundial, Davis e Goldberg criaram o termo *agribusiness*, que é resultado do esforço para definir os novos sistemas de produção que chegavam ao campo. O neologismo incorpora em seu conceito os agentes que imprimem dinâmica a cada elo da cadeia, que sai do mercado de insumos e fatores de produção (antes da porteira), passa pela unidade agrícola produtiva (dentro da porteira) e vai até o processamento, transformação e distribuição (depois da porteira).

No início dos anos 50, os Estados Unidos resolveram financiar a formação de um comitê em Harvard para tratar o assunto do *agribusiness*. Davis e Goldberg contrataram Leontief para fazer parte

deste comitê e projetaram que, até 1954, o *agribusiness* geraria 40% do PIB americano.

Segundo Araújo *et al.* (1990), embora o conceito de *agribusiness* tenha sido criado há tantos anos e ter se constituído na ferramenta analítica mais empregada nas economias desenvolvidas e também no enfoque mais apropriado para análise da agricultura brasileira, é curioso notar seu pouco uso até fins da década de 90. Tal era o seu desuso que o termo Complexo Agroindustrial (CAI) continuava a manter maior espaço e aceitação no Brasil. Somente a partir do ano 2000 o conceito *agribusiness* se difundiu mais no País. Embora a palavra *agribusiness* tenha um exato equivalente na língua portuguesa, é utilizado, paradoxalmente, na escrita e fala brasileiras.

Até os anos 50/60, a agricultura brasileira estruturou-se num modelo voltado para a auto-suficiência da propriedade e, a partir de então, se voltou para um sistema de interdependência, que marcou as relações do setor rural com a indústria e serviços, na configuração do Complexo Agroindustrial. Esse processo, apesar de ter proporcionado benefícios para a sociedade, evoluiu de forma desordenada, deixando em sua esteira sérios problemas de desajustamentos econômicos e sociais. Diversos fatores tornaram o processo imperfeito, alguns de difícil controle, como é o caso das distorções provocadas por instabilidades de preços e de renda, e outros mais fáceis de serem solucionados, pois decorrem dos baixos investimentos em ensino, pesquisa e experimentação, baixo treinamento em gestão e baixa eficiência das políticas no âmbito do CAI.

Na evolução da agricultura para agronegócio fica clara a existência de um dualismo tecnológico. Têm-se uma agricultura comercial, também conhecida como "moderna" e "de mercado", e outra de baixa renda, resultante de uma defasagem tecnológica do CAI (GRAZIANO DA SILVA, 1998). A agricultura comercial modernizada é um pólo dinâmico que incorpora inovações tecnológicas e obtém ganhos sistemáticos de produtividade, que articula a produção agroindustrial com o desenvolvimento urbano. Já a agricultura de baixa renda é um

núcleo estagnado, do ponto de vista tecnológico, que produz à base de unidades familiares independentes ou, às vezes, articuladas com latifúndios. A produção centraliza-se na terra e no trabalho, o uso de bens industriais e insumos é baixo ou nulo, a produção é quase toda dirigida para a auto-suficiência e sua articulação com o CAI é incipiente.

A persistência do problema de baixa renda continua mantendo uma parcela considerável da população em nível inferior de vida, ao mesmo tempo em que a sociedade perde o valor do seu potencial produtivo. O caso é mais grave na região Norte-Nordeste do País, onde existe pouca articulação dos produtores com o mercado consumidor de matérias-primas agropecuárias e com os fornecedores de bens de capital e insumos agrícolas.

De acordo com dados da Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO), Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) e Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA), a agricultura Familiar constitui importante segmento das unidades rurais no Brasil, assim como em outros países. Os países que hoje ostentam os melhores indicadores de desenvolvimento humano, dos Estados Unidos ao Japão, apresentam um traço comum: a forte presença da agricultura familiar, cuja evolução desempenhou um papel fundamental na estruturação de economias mais dinâmicas e de sociedades mais democráticas e eqüitativas (SANTANA, 2005).

### 3.1 Agricultura familiar

A discussão sobre a importância e o papel da agricultura familiar no desenvolvimento brasileiro vem ganhando força nos últimos anos, impulsionada pelo debate sobre desenvolvimento sustentável, geração de renda e emprego, segurança alimentar e desenvolvimento local. A ampliação do número de agricultores assentados pela reforma agrária, a criação do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF) e a Lei da Agricultura Familiar (Lei nº 11.322, de 24 de julho de 2006) refletem e alimentam este debate na sociedade.

Conforme afirma Souza (2006), *"a importância econômica e social da agricultura familiar é maior do que normalmente se admite"*. A agricultura familiar tem grande importância no cenário de desenvolvimento socioeconômico do País. De acordo com o Censo Agropecuário do IBGE, de 1995-1996, ela representa 85% do total de estabelecimentos agrícolas do País e 80% do pessoal ocupado na agricultura, contribuindo para a geração de R\$18,1 bilhões, o que equivale a 37,9% do valor bruto da produção agropecuária brasileira, ou seja, um terço de toda a produção nacional. A densidade ocupacional na agricultura familiar chega a ser cinco vezes maior que na agricultura patronal, de acordo com estudos realizados no âmbito do Projeto de Cooperação Técnica INCRA/FAO 1996-1999 (apud LIMA et al. 2002).

A agricultura familiar apresenta uma grande diversidade em relação ao meio ambiente, à situação dos produtores, à aptidão de terras, à disponibilidade de infra-estrutura etc, não apenas entre as regiões, mas também dentro de cada região. A pesquisa desenvolvida pela FAO/INCRA em 2000 revelou que as unidades familiares, além de atenderem melhor aos interesses sociais do País, são produtivas, economicamente viáveis e asseguram melhor a preservação ambiental. Por isso, hoje é admitido, não só no meio técnico-científico mas também na esfera política, que a agricultura familiar substitui a noção de "pequena produção agrícola", que implica um caráter também econômico e não apenas social dessa categoria de produtores.

O debate sobre os conceitos e a importância da agricultura familiar é intenso. Foram produzidas inúmeras concepções, interpretações e propostas, sejam oriundas das entidades representativas dos pequenos produtores, dos intelectuais que estudam o meio rural ou dos técnicos do governo que elaboram as políticas para o setor rural brasileiro.

A produção familiar na agricultura apresenta-se, contemporaneamente, com uma diversidade de características, tais como: ser fortemente integrada em uma economia de mercado do tipo competitivo, ser baseada em uma economia de subsistência

ou, muitas vezes, ser excluída do modelo de desenvolvimento dominante, entre outras. Existe uma multiplicidade de termos que identificam os agentes sociais nela envolvidos, ou seja: produtor, explorador agrícola, explorador familiar, cultivador, camponês, agricultor, cultivador da terra, chefe de empreendimento, pequeno produtor (SANTANA, 2005).

### 3.1.1 Caracterização do universo familiar

Um estudo realizado em 2000 pelo Ministério de Desenvolvimento Agrário (MDA) em cooperação com o INCRA, denominado "Novo Retrato da Agricultura Familiar - O Brasil Redescoberto", demonstra que existe um enorme e pouco conhecido potencial de pujança da agricultura familiar brasileira, sugerindo uma mudança de paradigma cultural no que diz respeito ao meio rural, o avesso da tradição rural brasileira fundada no grande latifúndio e exhibe a existência de um novo e poderoso eixo de desenvolvimento para o País.

Nesse estudo do MDA/INCRA, o universo familiar foi caracterizado pelos estabelecimentos que atendiam simultaneamente às seguintes condições: a) a direção dos trabalhos do estabelecimento era exercida pelo próprio produtor e b) o trabalho familiar era superior ao trabalho contratado.

Quanto à área do estabelecimento familiar, a classificação foi feita segundo tabela do INCRA, sendo a área média dos estabelecimentos familiares 25 ha e a patronal 433 ha.

Na Tabela 3.1 tem-se a caracterização do universo familiar e patronal da agricultura no País.

Vale lembrar que os dados estatísticos de que se dispõe até o presente momento são os que constam no Censo Agropecuário do IBGE de 1995/1996. Novo Censo foi iniciado no País em 2007.

A safra agrícola de 1995/1996 foi a que recebeu o menor volume de crédito no Brasil, desde o final dos anos 60. O valor total dos financiamentos rurais foi inferior a 4 bilhões, representando apenas 7,7% do valor bruto da produção (VBP) dessa safra. Os agricultores familiares receberam ape-

nas 25,3% do financiamento destinado à agricultura (Tabela 3.1).

A Tabela 3.2 traz a análise regional e evidencia a importância das regiões Norte e Sul na produção familiar (mais de 50% do VBP). Na região Norte, os agricultores familiares representam 85,45% dos estabelecimentos, ocupam 37,5% da área e produzem 68,3% do VBP da região, recebendo 38,6% dos financiamentos. Em termos de agricultura familiar, a região Sul é a mais forte, representando 90,5% de todos os estabelecimentos da região, ocupando 43,8% da área e produzindo 57,1% do VBP regional. Nesta região, os agricultores familiares ficam com 43,3% dos financiamentos nela aplicados.

A região Nordeste é a que apresenta o maior número de agricultores familiares, representados por 2.055.157 estabelecimentos (99,3%), ocupando 43,5% da área regional, produzindo 43% de todo VBP da região e ficando apenas com 26,8% do valor dos financiamentos agrícolas da região.

Os agricultores familiares da região Sudeste apresentam grande desproporção entre o percentual de financiamento recebido e as áreas dos estabelecimentos. Esses agricultores possuem 29,2% da área e recebem somente 12,6% do crédito rural aplicado na região. O financiamento destinado à agricultura é desproporcional entre os agricultores familiares e patronais, sendo que, em todas as regiões, a participação dos estabelecimentos familiares no crédito rural é inferior ao VBP de que eles são responsáveis.

Cruzando os dados das cinco regiões brasileiras (Tabela 3.3), o Nordeste desponta com o maior percentual de estabelecimentos, sendo responsável por 49,7% de todos os estabelecimentos familiares do País. Entretanto, ocupa apenas 31,6% da área total dos familiares, é responsável por 16,7% do VBP dos agricultores familiares e absorve 14,3% do financiamento rural destinado a esta categoria de agricultores.

A região Centro-Oeste é a que apresenta o menor número de agricultores familiares, sendo responsável por apenas 3,9% dos estabelecimentos familiares no Brasil. Nesta região localizam-se gran-

des áreas de produção de soja, criação de gado, cana-de-açúcar etc. Por outro lado, apresenta, em conjunto com a região Norte, a maior área média entre os familiares, porém com um menor número de estabelecimentos, ocupando respectivamente 12,7% e 20,3% da área total dos agricultores familiares.

A região Sul, apesar de deter 21,9% dos estabelecimentos familiares e ocupar 18% da área total, é responsável por 47,3% do valor bruto da produção da agricultura familiar brasileira. O crédito rural também é mais concentrado nesta região, absorvendo 55% dos recursos de crédito rural utilizados pelos agricultores familiares do País.

**Tabela 3.1** - Brasil: estabelecimentos, área, valor bruto da produção (VBP) e financiamento total (FT), segundo categorias.

Categorias	Estab. Total	% Estab. s/total	Área Tot. (mil ha)	% Área s/total	VBP (mil R\$)	% VBP s/total	FT (mil R\$)	% FT s/total
FAMILIAR	4.139.369	85,2	107.768	30,5	18.117.725	37,9	937.828	25,3
PATRONAL	554.501	11,4	240.042	67,9	29.139.850	61,0	2.735.276	73,8
Inst. Pia/Relig.	7.143	0,2	263	0,1	72.327	0,1	2.716	0,1
Entid. Pública	158.719	3,2	5.530	1,5	465.608	1,0	31.280	0,8
Não Identificado	132	0,0	8	0,0	959	0,0	12	0,0
<b>Total</b>	<b>4.859.864</b>	<b>100,0</b>	<b>353.611</b>	<b>100,0</b>	<b>47.796.469</b>	<b>100,0</b>	<b>3.707.112</b>	<b>100,0</b>

Fonte: Censo Agropecuário 1995/1996 - IBGE

Elaboração: Projeto Cooperação INCRA/FAO

**Tabela 3.2** - Agricultores Familiares: estabelecimentos, área, valor bruto da produção (VBP) e financiamento total (FT), segundo as regiões

Região	Estab. Total	% Estab. s/total	Área Total (em ha)	% Área s/total	VBP (mil R\$)	% VBP s/total	FT (mil R\$)	% FT s/total
Nordeste	2.055.157	88,3	34.043.218	43,5	3.026.897	43,0	133.973	26,8
Centro-Oeste	162.062	66,8	13.691.311	12,6	1.122.696	16,3	94.058	12,7
Norte	380.895	85,4	21.860.960	37,5	1.352.656	58,3	50.123	38,6
Sudeste	633.620	75,3	18.744.730	29,2	4.039.483	24,4	143.812	12,6
Sul	907.635	90,5	19.428.230	43,8	8.575.993	57,1	515.862	43,3
<b>Brasil</b>	<b>4.139.369</b>	<b>85,2</b>	<b>107.768.450</b>	<b>30,5</b>	<b>18.117.725</b>	<b>37,9</b>	<b>937.828</b>	<b>25,3</b>

Fonte: Censo Agropecuário 1995/1996 - IBGE.

Elaboração: Projeto Cooperação INCRA/FAO.

**Tabela 3.3** - Agricultores Familiares: participação percentual das regiões no número de estabelecimentos, área, VBP e financiamento total destinado aos agricultores familiares.

Região	Estab. S/total	% área S/total	% VBP S/total	% FT S/total
Nordeste	49,7	31,6	16,7	14,3
Centro-oeste	3,9	12,7	6,2	10,0
Norte	9,2	20,3	7,5	5,4
Sudeste	15,3	17,4	22,3	15,3
Sul	21,9	18,0	47,3	55,0
<b>Brasil</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>

Fonte: Censo Agropecuário 1995/1996 - IBGE

Elaboração: Projeto Cooperação INCRA/FAO

Com relação à área média dos estabelecimentos familiares, verifica-se que é muito inferior à dos patronais, também variando muito entre as regiões, pois se relaciona ao processo histórico de ocupação da terra. A área média dos estabelecimentos é de 26 ha, enquanto a patronal é 433 ha. Nas regiões onde os agricultores patronais apresentam as maiores áreas médias, o mesmo acontece com os familiares. Enquanto a área média entre os familiares do Nordeste é de 16,6 ha, no Centro-Oeste é de 84,5 ha.

Entre os patronais, a área média chega a 433 ha, no Brasil como um todo; no Centro-Oeste a média chega a 1.324 ha. Na região Sudeste, encontra-se a menor área entre os patronais, com 223 ha por estabelecimento (Gráfico 3.1).

A renda agropecuária total (RT) e a renda monetária por estabelecimento (RM) apresentam grande diferenciação entre os agricultores familiares e patronais, sendo a renda patronal muito superior. Esta diversidade também ocorre entre agricultores de uma mesma categoria, mas localizados em diferentes regiões.

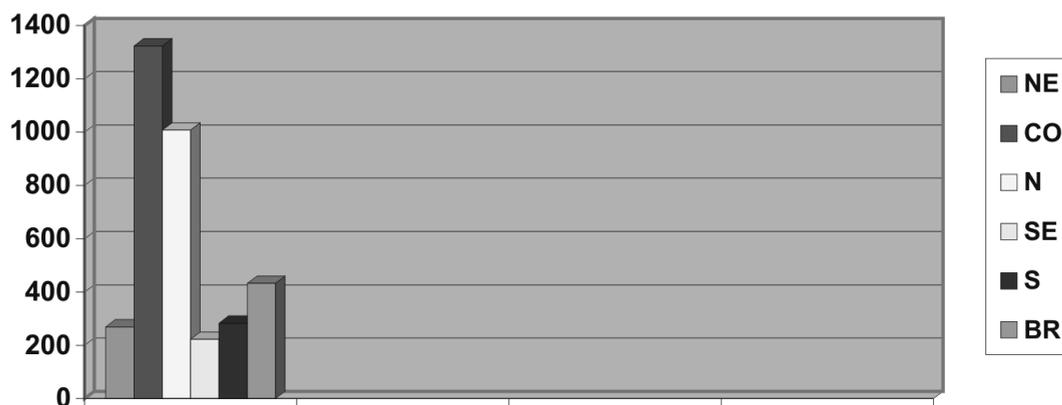
No Brasil, a RT média por estabelecimento familiar foi de R\$ 2.717,00, variando entre R\$ 1.159,00/ano, no Nordeste, e R\$5.152,00/ano, na região Sul. A RM da agropecuária por estabelecimento foi de R\$1.783,00 entre os agricultores familiares, sendo R\$696,00, na região Nordeste, e R\$3.315,00, na região Sul (Tabela 3.4).

A renda total e a renda monetária geradas nos estabelecimentos familiares demonstram o potencial econômico dos agricultores familiares, que, mesmo com todas as limitações que sofrem, não produzem apenas para subsistência, obtendo renda através da produção agropecuária de seus estabelecimentos.

A renda dos estabelecimentos patronais alcança o total médio de R\$19.085,00 anuais, variando de R\$9.891,00/ano, no Nordeste, a R\$33.164,00, no Centro-Oeste. A renda mais elevada entre os patronais pode ser explicada principalmente pelos ganhos de produtividade obtidos.

Dentre os diversos aspectos positivos que a agricultura familiar apresenta, talvez o mais importante seja o de ser a maior geradora de postos de trabalho no meio rural brasileiro. Atualmente, é responsável por 76,9% do pessoal ocupado. Dos 17,3 milhões de pessoas ocupadas na agricultura brasileira, 13.780.201 estão empregadas na agricultura familiar. Na região Sul, a agricultura familiar ocupa 84% da mão-de-obra da agricultura. No Centro-Oeste, ela é responsável por apenas 54%.

Os agricultores familiares são responsáveis pela contratação de 16,8% do total de empregados permanentes do Brasil, enquanto os estabelecimentos patronais contratam 81,7% destes. A Tabela 3.5 demonstra o número de pessoal ocupado entre os agricultores familiares nas diferentes formas.



Fonte: IBGE

**Gráfico 3.1 - Área Média dos Estabelecimentos Patronais (em ha)**

**Tabela 3.4 - Agricultores Familiares e Patronais: renda total (RT) e renda monetária (RM) por estabelecimento (em R\$).**

Região	Familiar		Patronal	
	RT/Estab.	RM/Estab.	RT/Estab.	RM/Estab.
Nordeste	1.159	696	9.891	8.467
Centro-Oeste	4.074	3.043	33.164	30.779
Norte	2.904	1.935	11.883	9.691
Sudeste	3.824	2.703	18.815	15.847
Sul	5.152	3.315	28.158	23.355
Brasil	2.717	1.783	19.085	16.400

Fonte: Censo Agropecuário 1995/1996 - IBGE.

Elaboração: Projeto Cooperação INCRA/FAO.

**Tabela 3.5 - Agricultores Familiares: pessoal ocupado nas diferentes formas de ocupação.**

Região	Pessoal Ocup. total	Pess.Ocup. % s/total	Empreg. Perm.	Empreg. Temp.	Parceiros (empreg.)	Outra Condição	UTF/UT %
Nordeste	6.809.420	82,93	81.379	588.810	34.081	62.212	97,1
Centro-Oeste	551.242	54,14	42.040	39.824	2.793	15.418	90,2
Norte	1.542.577	82,15	25.697	68.636	6.880	29.772	96,9
Sudeste	2.036.990	59,20	98.146	160.453	58.146	58.294	91,6
Sul	2.839.972	83,94	60.835	128.955	20.548	26.207	96,7
Brasil	13.780.201	76,85	308.097	986.678	122.448	191.903	95,9

Fonte: Censo Agropecuário 1995/1996 - IBGE

Elaboração: Projeto Cooperação INCRA/FAO

Os agricultores concentram seu trabalho entre membros da família do próprio agricultor. Do total de unidades de trabalho utilizadas na agricultura familiar, apenas 4% são contratadas, sendo todo o restante do trabalho desenvolvido por membros da família. Os agricultores patronais apresentam uma relação inversa, sendo que 78,5% do total das unidades de trabalho utilizadas no estabelecimento são contratadas.

### 3.1.2. Características tecnológicas

Uma análise da inovação tecnológica na agricultura familiar brasileira, como cita Buainain (2002):

*“(...) deve levar em conta a inserção e os parâmetros estruturais que conformam este segmento. A imagem estereotipada da agricultura familiar como um setor atrasado, do ponto de vista econômico, tecnológico e social, voltado fundamentalmente*

*para a produção de produtos alimentares básicos e com uma lógica de produção de subsistência, está longe de corresponder à realidade”.*

Os dados apresentados na seção anterior, baseados na pesquisa do INCRA/FAO, confirmam essa colocação e exibem a existência de um novo e poderoso eixo de desenvolvimento para o País.

Ainda, segundo Buainain (*op. cit.*):

*“(...) o universo da agricultura familiar no Brasil é extremamente heterogêneo e inclui, desde famílias muito pobres, que detêm, em caráter precário, um pedaço de terra que dificilmente pode servir de base para uma unidade de produção sustentável, até famílias com dotação de recursos, terra, capacitação, organização, conhecimento etc – suficiente para aproveitar as eventuais janelas de oportunidades criadas tanto pela aplicação das “velhas”*

tecnologias como pela inovação tecnológica". Também coloca que é preciso "assumir, em profundidade, as conseqüências da reconhecida diferenciação dos agricultores familiares e tratá-los como de fato são: diferentes entre si, não redutíveis a uma simples categoria por utilizarem predominantemente o trabalho familiar".

O acesso à tecnologia apresenta grande variação tanto entre familiares e patronais quanto entre os agricultores de diferentes regiões, mesmo que de uma mesma categoria. Entre os agricultores familiares, apenas 16,7% utilizam assistência técnica. Já os patronais utilizam 43,5%. Entretanto, na região Nordeste este índice é de 2,7% e 47,2% na região Sul. Ainda se forem consideradas as diferenças no interior da agricultura nordestina, o número de produtores com acesso à assistência técnica é muito pequeno.

A Tabela 3.6 mostra o acesso à tecnologia e à assistência técnica nas diferentes regiões. Entre os agricultores familiares, apenas 36,7% usam adubos e corretivos, chegando a variar de 9%, na Região Norte, e até 77,1%, na região Sul. A conservação de solos também apresenta uma grande variação entre as regiões. Enquanto na região Sul, quase 45% dos estabelecimentos fazem algum tipo de conservação dos solos, na região Norte ela, é quase insignificante, menos de 1%.

A assistência técnica está mais presente entre os patronais, sendo utilizada por 43,5% dos estabelecimentos. Na região Sul, chega a 64,4%, no Sudeste, 55,1%, no Centro-Oeste, 51,9%, no Norte, 20,7%

e no Nordeste, apenas 18,9%. O acesso à energia elétrica também é maior entre os patronais, alcançando 64,5%, com destaque para a região Sudeste, onde 80,2% dos estabelecimentos têm acesso.

A tração mecânica e/ou animal é utilizada em 68,3% dos estabelecimentos patronais, sendo as regiões Norte e Nordeste (39,9% e 50,7%, respectivamente) as que menos utilizam-nas. A conservação dos solos é feita por 40% dos estabelecimentos patronais, sendo também as regiões Norte e Nordeste as que menos utilizam esta prática (3,1 e 9,6%, respectivamente).

Concordamos com Buainain (2002), quando afirma que a viabilidade, a sustentação e o fortalecimento da agricultura familiar, cuja importância em um país com uma população rural expressiva e marcada por fortes assimetrias sociais e econômicas, não deve ser questionado e ser alvo de políticas tecnológicas voltadas para torná-la mais competitiva.

Outra dificuldade que a agricultura familiar enfrenta são as restrições de acesso aos mercados de serviços em geral. Nos estados da região Sul, a agricultura familiar tem densidade suficiente para aparecer como forma de exploração dominante, mas, em outras regiões, os produtores familiares aparecem isolados em pequenos grupos, cercados pela exploração patronal dominante. Essa dispersão dificulta o florescimento de prestadores de serviços técnicos especializados. Tampouco emergiu no País uma indústria produtora de equipamentos dimensionados para as condições e as necessidades da agricultura familiar. Na região Nordeste, mesmo possuindo gran-

**Tabela 3.6** - Agricultores Familiares: acesso à tecnologia e à assistência técnica.

Região	Utiliza Assist. Técnica	Usa Energia Elétrica	Uso de Força nos Trabalhos			Usa Adubos e Corretivos	Faz Conserv. solo
			Só animal	mecânica + animal	Manual		
Nordeste	2,7	18,7	20,6	18,2	61,1	16,8	6,3
Centro-Oeste	24,9	45,3	12,8	39,8	47,3	34,2	13,1
Norte	5,7	9,3	9,3	3,7	87,1	9,0	0,7
Sudeste	22,7	56,2	19,0	38,7	42,2	60,6	24,3
Sul	47,2	73,5	37,2	48,4	14,3	77,1	44,9
Brasil	16,7	36,6	22,7	27,5	49,8	36,7	17,3

Fonte: Censo Agropecuário 1995/1996 - IBGE

Elaboração: Projeto Cooperação INCRA/FAO

de número de propriedades familiares, a maioria é pobre não se constitui em mercado relevante a ponto de estimular a instalação de empresas prestadoras de serviços técnicos específicos. Assistência técnica, extensão, serviços de meteorologia e de comercialização são fundamentais para a viabilidade de sistemas mais avançados. Sua ausência ou deficiência restringe o desenvolvimento e a consolidação de sistemas produtivos nos quais os agricultores familiares poderiam ser competitivos e viáveis (BUAINAIN, 2002).

### 3.1.3 Investimentos nos estabelecimentos agropecuários

No período de 1994-1998, realizou-se um estudo, através do Convênio FAO/INCRA sobre os sistemas de produção adotados pelos agricultores familiares nas diversas regiões do País. Seu objetivo principal era aprofundar o conhecimento sobre aspectos relacionados ao funcionamento da agricultura familiar, identificando tanto os obstáculos enfrentados, como as potencialidades associadas aos principais sistemas de produção utilizados pelos agricultores familiares nas diversas regiões do País (BUAINAIN, 2002 e FAO/INCRA, 1999).

Tal estudo revelou que, em praticamente todos os sistemas agrícolas e regiões, os agricultores enfrentam problemas associados à disponibilidade de capital de giro e recursos para investimentos. Na prática, a grande maioria dos produtores necessita de recursos de terceiros para operar suas unidades de maneira eficaz, rentável e sustentável. A ausência de recursos, seja pela insuficiência de oferta de crédito, ou pelas condições contratuais inadequadas, impõe sérias restrições ao funcionamento da agricultura familiar moderna e, principalmente, a sua capacidade de manter-se competitiva em um mercado cada vez mais exigente.

Os investimentos realizados na agricultura, na Safra 95/96, totalizaram R\$ 7,7 bilhões, sendo os agricultores familiares responsáveis pelos investimentos de R\$

2,5 bilhões, ou seja, 32% de todo o investimento realizado. As regiões que mais investiram foram o Sul (44,2%) e o Sudeste (23,2%), representando juntas 67,4% de todos os investimentos feitos pelos agricultores familiares do País (Tabela 3.7).

Os agricultores patronais investiram R\$ 5,1 bilhões (66,1%) do total dos investimentos. Nas regiões Sudeste, 28,4% e Centro-Oeste, 36,4%. O investimento médio por estabelecimento foi de R\$ 9.212,00/ano entre os patronais e R\$ 612,00/ano entre os familiares. A região Centro-Oeste foi a que mais investiu nas duas categorias, sendo R\$1.901,00 entre os familiares e R\$ 20.570,00 entre os patronais. Os agricultores familiares que menos investiram foram os da região Norte, apenas R\$ 7,40/ha.

Com relação ao destino dos investimentos, o maior volume foi destinado para formação de novas plantações e compra de animais (Tabela 3.8).

Elaboração: Projeto Cooperação INCRA/FAO

Os agricultores familiares da região Sul destinam a maior parte de seus investimentos para compra de máquinas e benfeitorias, e também são os que mais compram terras no País. Já os agricultores familiares do Nordeste destinam a maior parte do investimento à aquisição de novas plantas e animais. Os agricultores patronais destinam a maior parte de seus investimentos à compra de plantas e animais (46,8%), seguido de máquinas e benfeitorias (25,8%) e compra de terras (12,5%).

Do total de recursos investidos na compra de terras no Brasil, os patronais da região Sudeste são os que mais compram (22%), seguidos dos familiares da região Sul (20,2%) e dos patronais da região Sul (16,7%). Os agricultores familiares das regiões Norte e Nordeste são os que menos investem em compra de terras, representando respectivamente 1,5% e 2,9% de todos os investimentos realizados no País com esta finalidade.

**Tabela 3.7** - Investimentos totais, investimento por estabelecimento e investimento por ha, segundo as regiões.

Região	FAMILIAR				PATRONAL			
	Total Invest. (Mil R\$)	Invest. Total (%)	Invest/Estab. (R\$)	Invest/Estab. (R\$)	Total Invest. (Mil R\$)	Invest. Total (%)	Invest/Estab. (R\$)	Invest/Estab. (R\$)
Nordeste	355.455	14,0	173,0	10,4	564.716	11,1	3.495,8	13,0
Centro-Oeste	308.128	12,2	1.901,3	22,5	1.449.605	28,4	20.570,5	15,5
Norte	161.494	6,4	424,00	7,4	296.582	5,8	8.855,6	8,8
Sudeste	588.598	23,2	928,9	31,4	1.861.744	36,4	9.212,4	41,4
Sul	1.121.784	44,2	1.235,9	57,7	935.725	18,3	10.766,8	38,0
Brasil	2.535.459	100,0	612,5	23,5	5.108.372	100,0	9.212,6	21,3

Fonte: Censo Agropecuário 1995/1996 - IBGE.

Elaboração: Projeto Cooperação INCRA/FAO.

**Tabela 3.8** - Agricultores familiares: valor dos investimentos e destino (em%), 1995/1996.

Região	Total de Investimentos (em mil R\$)	Destino dos investimentos			
		Máquinas e Benfeitorias	Compra de Terras	Novas plantas e animais	Outros investimentos
Nordeste	355.455	18,8	8,5	56,9	15,9
Centro-Oeste	308.128	22,7	17,9	41,7	17,7
Norte	161.494	25,0	9,6	45,5	19,9
Sudeste	588.598	21,0	16,0	41,4	21,6
Sul	1.121.784	30,2	18,7	26,2	24,8
Brasil	2.535.459	25,2	16,0	37,1	21,6

Fonte: Censo Agropecuário 1995/1996 - IBGE.

### 3.1.4 Participação da agricultura familiar no valor bruto da produção agropecuária

Mesmo dispondo de apenas 25% dos financiamentos destinados à produção agrícola e possuindo 30,5% da área total das terras agricultáveis do País, a agricultura familiar é responsável por quase 40% de toda a produção agropecuária nacional. É inegável sua importância na produção destinada ao mercado interno e também na produção de alguns importantes produtos exportáveis.

Os produtores familiares são responsáveis por 24% do total da pecuária de corte, 52% da pecuária de leite, 58% dos suínos e 40% das aves e ovos produzidos. Dentre as culturas temporárias e permanentes, destaque para as produções de fumo (97%), feijão (67%), mandioca (84%), cebola (72%), arroz (31%), algodão (33%). As Tabelas 3.9 e 3.10, demonstram essa participação por região.

Dentre as cinco regiões, os agricultores familiares que mais se destacam pela sua participação no VBP são os da região Sul, principalmente na pecuária de leite, suínos, aves produção de uva, cebola, feijão, banana, café, algodão, milho, fumo, mandioca, soja e trigo.

As atividades mais comuns entre os agricultores familiares, independente das quantidades produzidas por cada um, são: em 1º lugar, criação de aves e produção de ovos (encontrado em 63% dos estabelecimentos); 2º lugar, produção de milho (55%) e feijão (45,8); em 3º lugar, pecuária de leite (36%).

Na região Sul, a criação de aves e produção de ovos é encontrada em 73,5% dos estabelecimentos, 48% criam gado de corte, 62,6% criam gado de leite, 55% criam suínos, 46,9% produzem milho.

Entre os produtores patronais, as atividades mais comuns são: pecuária de leite (54,2%); pecuária de corte (48,5%); criação de aves e produção de ovos (54,2%); produção de milho (32,3%); feijão (17,9); laranja (15,2%); banana (11,6%) e café (10,8%).

**Tabela 3.9-** Agricultura Familiar: percentual do VBP produzido em relação ao VBP total do produto.

Região	% Área s/total	Produção animal, Fruticultura e Cultura Permanente							
		Pecuária		Suínos	Aves/ovos	Banana	Café	Laranja	Uva
		Corte	Leite						
NE	43,5	42,6	53,3	64,1	26,2	56,0	22,6	64,2	2,9
CO	12,6	11,1	50,8	31,1	29,4	55,9	62,8	29,8	62,9
NO	37,5	26,6	67,0	73,8	40,3	77,4	93,8	66,5	51,9
SE	29,2	22,5	37,5	21,0	17,8	43,4	22,8	16,6	37,4
SUL	43,8	35,0	79,6	68,6	61,0	82,8	42,8	77,8	81,3
Brasil	30,5	23,6	52,1	58,5	39,9	57,6	25,5	27,0	47,0

Fonte: Censo Agropecuário 1995/1996 - IBGE

Elaboração: Projeto Cooperação INCRA/FAO

**Tabela 3.10 -** Agricultura Familiar: percentual do VBP produzido em relação ao VBP total do produto

Região	% Área s/total	Culturasemporárias								
		Algodão	Arroz	Cana	Cebola	Feijão	Fumo	Mandioca	Milho	Soja
NE	43,5	56,3	70,3	7,5	57,0	79,2	84,5	82,4	65,5	2,7
CO	12,6	8,9	23,4	2,7	2,2	21,8	84,3	55,6	16,6	8,4
NO	37,5	83,6	52,6	43,8	31,1	89,4	86,5	86,6	73,3	3,5
SE	29,2	23,5	51,3	8,6	43,9	38,3	74,2	69,8	32,8	20,3
SUL	43,8	58,5	21,3	27,2	92,1	80,3	97,6	88,9	65,0	50,8
Brasil	30,5	33,2	30,9	9,6	72,4	67,2	97,2	83,9	48,6	31,6

Fonte: Censo Agropecuário 1995/1996 - IBGE

Elaboração: Projeto Cooperação INCRA/FAO

### 3.1.5 Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF)

Segundo o Ministério de Desenvolvimento Agrário, o PRONAF objetiva promover o desenvolvimento sustentável do meio rural, por intermédio de ações destinadas a implementar o aumento da capacidade produtiva, a manutenção e a geração de empregos e a elevação de renda, visando à melhoria da qualidade de vida e ao exercício da cidadania pelos agricultores familiares.

O Ministério de Desenvolvimento Agrário, por meio da Secretaria de Agricultura Familiar (SAF), atua no apoio ao desenvolvimento rural sustentável e na garantia da segurança alimentar, fortalecendo a agricultura familiar, por meio de programas que permitem o acesso a linhas de crédito, assistência técnica, seguro agrícola, comercialização e crédito rural produtivo às famílias agricultoras, suas associações e cooperativas. A cada ano, mais agricul-

tores têm aderido as opções de crédito do PRONAF, verificando-se um aumento de cerca de 40%.

Os públicos do PRONAF são: famílias agricultoras, assentadas de reforma agrária e do crédito fundiário, extrativistas, silvícolas e pescadoras, comunidades quilombolas ou povos indígenas que pratiquem atividades produtivas agrícolas ou não-agrícolas no meio rural.

O número de contratos firmados pelo PRONAF apresentou crescimento em todo o Brasil, nos últimos quatro anos, como pode ser visto na Tabela 3.11. Destaque para as regiões Norte e Nordeste, especialmente com crédito do Grupo "B", o microcrédito rural. Nessas regiões, os agricultores familiares praticamente não acessavam crédito rural. A partir de 2003, muitos deles passaram a ter acesso ao crédito pela primeira vez. Isto se deve, em grande parte, ao grande esforço realizado pelas entidades de Assistência Técnica e Extensão Rural.

A Tabela 3.11 traz o número de contratos e o valor total contratado no período 2001-2006. O número de contratos vem crescendo a cada ano. Em 2006 quase dobrou, comparado ao ano de 2001. Em relação ao valor, neste mesmo período, triplicou.

**Tabela 3.11** – Brasil: número de contratos e montante do crédito rural do PRONAF, por ano agrícola (em R\$1,00).

Ano	Contratos	Valor Total
2001	910.466	2.153.351.258,80
2002	953.247	2.404.850.769,99
2003	1.138.112	3.806.899.245,48
2004	1.611.463	5.761.475.996,11
2005	1.671.183	6.404.190.129,32
2006	1.792.508	7.412.183.644,44

Fonte: MDA/SAF/PRONAF – consulta em 10/04/2007 - [www.smap.mda.gov.br/credito](http://www.smap.mda.gov.br/credito).

Dados gerados pelo BANCOOB/BANSICRED/BASA/BB/BN E BNDES.

Essas iniciativas contribuíram para que a participação da agricultura familiar no Produto Interno Bruto (PIB) nacional chegasse a 10,1%, em 2003, segundo estudo realizado pela Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas (FIPE), o que corresponde a um valor adicionado de R\$ 156,6 bilhões. O trabalho mostrou que, dispondo de apenas 30% da área, os estabelecimentos familiares foram responsáveis por quase 38% do valor bruto da produção agropecuária nacional. Na produção de feijão, leite, milho, mandioca, suínos, cebola, banana e fumo, essa proporção foi superior ou próxima a 50%. Apesar de a área média dos estabelecimentos patronais ser quase 17 vezes maior que a dos familiares, a renda total por hectare/ano nos imóveis onde predomina o trabalho familiar foi aproximadamente 2,4 vezes maior que a dos demais. Os estabelecimentos familiares foram responsáveis por praticamente 77% do pessoal ocupado no meio rural brasileiro. Isso indica que a agricultura familiar foi capaz de responder, com eficiência, aos estímulos públicos e privados, inclusive em relação aos produtos voltados à exportação, como a soja. (MDA/SAF, 2007).

O dinamismo da agricultura familiar no último período pode ser atribuído, em grande parte, ao resgate de diversas políticas públicas, especialmente o crédito subsidiado disponibilizado por meio do PRONAF e a nova Política Nacional de Assistência Técnica e Extensão Rural (PNATER), implantada a partir de 2003.

Os resultados alcançados indicam um progresso, mas não é correto ignorar que entre os agricultores familiares há uma considerável diversidade do ponto de vista econômico e social, exigindo que o Estado formule e execute suas políticas em função dessa diversidade, para que se alcancem novos patamares de crescimento com distribuição de renda e inclusão social.

Um passo importante foi dado com a implantação do Seguro da Agricultura Familiar, que está garantindo condições para minimizar os riscos inerentes à atividade agrícola.

A ampliação e qualificação do serviço de assistência técnica e extensão rural e o Seguro da Agricultura Familiar, somados aos expressivos resultados alcançados até agora com o apoio das organizações dos agricultores familiares, fazem com que a meta para o ano safra 2006/2007 – julho de 2006 a junho de 2007 – seja de dois milhões de contratos no PRONAF, com a aplicação de R\$ 10 bilhões de reais (MDA/PRONAF).

A Tabela 3.12 foi montada com base nos dados levantados na pesquisa realizada pelo DNPM/FUNPAR, em 2003. Do total dos 4,8 milhões de estabelecimentos agrícolas distribuídos pelas 27 Unidades da Federação, 4,3 milhões (89%) são propriedades com menos de 100 ha de área. Apenas 868 mil unidades utilizam corretivo de solos, correspondendo a apenas 17,8% do total de propriedades. Dos 321,9 milhões de hectares ocupados com lavouras temporárias e permanentes, 49,84 milhões estão no Mato Grosso (15,5%), 40,8 milhões em Minas Gerais (12,7%), 31,0 milhões em Mato Grosso do Sul (9,6%), 29,8 milhões na Bahia (9,2) e o restante dos 170 milhões de hectares distribuídos entre os outros 23 estados.

Tabela 3.12 – Caracterização da Agropecuária nos Estados Brasileiros.

Estado	Nº Propriedades	Propriedade Lavoura		Propriedade		Área Ocupada (milhões ha.)	Propriedade Utilizam Fertilizantes
		Permanente	Temporária	Utilizam Calcário	Menos de 100 ha		
AC	23.788	1.173	6.898	32	17.609	3,18	695
AL	115.064	7.425	77.421	901	111.361	2,14	34.808
AM	83.289	15.817	49.400	355	77.859	3,30	4.584
AP	3.349	570	1.337	416	2.048	Sd	Sd
BA	699.126	179.318	544.000	12.178	653.486	29,80	162.000
CE	339.602	38.806	131.257	1.091	321.511	3,10	42.440
DF	2.459	142	527	1.585	1.999	0,24	1.586
ES	73.288	44.411	7.655	18.341	66.904	3,49	52.322
GO	111.791	1.635	12.468	274	70.599	2,49	14.764
MA	368.191	11.732	200.382	646	331.460	12,5	9.938
MT	78.762	5.143	11.652	4.976	46.877	49,8	12.065
MS	49.423	524	6.148	7.628	26.923	30,9	15.529
MG	496.677	69.874	75.775	406.471	415.924	40,8	306.889
PA	206.404	21.431	91.400	1.736	169.273	22,5	23.153
PB	146.539	12.964	33.313	391	138.275	4,1	28.029
PE	258.630	20.624	68.477	2.630	248.341	5,58	68.006
PI	208.111	36.843	188.301	313	190.140	9,6	8.673
PR	369.875	19.103	190.061	106.300	342.925	15,9	242.400
RJ	53.680	5.337	8.900	274	48.444	2,4	27.415
RN	91.376	12.119	16.573	274	84.313	3,7	20.636
RO	76.956	11.989	13.700	467	61.199	8,9	5.546
RR	7.476	999	1.894	233	4.015	2,97	1.032
RS	429.958	16.914	156.445	141.000	395.584	21,8	352.000
SC	203.347	6.530	96.392	72.926	194.498	6,61	171.949
SE	99.774	24.895	35.522	1.748	95.886	1,71	49.584
SP	218.016	35.816	33.806	85.000	184.512	17,4	155.000
TO	44.913	971	1.500	787	19.897	17,0	6.581
TOTAL	4.859.864	603.105	2.061.204	868.973	4.321.862	321,91	1.820.973

Fonte: IBGE (1995) e Brasil, MME (2003).  
Sd – sem dados

Estes números agregados confirmam o argumento de que as propriedades de porte inferior a 100 hectares constituem-se em potenciais consumidoras de calcário agrícola no Brasil e que as políticas de incentivo de incremento a seu uso devem ser a elas direcionadas.

Em relação ao uso de fertilizantes, 37% das propriedades brasileiras utilizam-nos. Os estados que contam com maior número de propriedades consumidoras são Santa Catarina (85%) e Rio Grande do Sul (82%), seguidos de São Paulo (71%), Paraná (65%), Distrito Federal (64%) e Minas Gerais (62%). Os estados com o menor número de propriedades consumidoras de fertilizantes são o Maranhão, onde apenas 2,7% das propriedades são consumidoras do insumo, e o Acre, com 3,0%.

### 3.2 O Agronegócio no Brasil

O agronegócio enfrenta excelentes oportunidades de melhorias em várias frentes, com potencial significativo de ganhos econômicos e sociais. Alguns pontos fortes devem ser enfatizados: existência de mais de 100 milhões de hectares de terra que podem ser incorporados ao processo produtivo, clima favorável, existência de recursos humanos qualificados, boa capacidade de gestão na produção e comercialização e bom nível de desenvolvimento tecnológico. Possui um potencial efetivo de produção de mais de 270 milhões de toneladas de grãos, podendo se tornar um dos maiores produtores e exportadores mundiais. Possui elevado potencial de produção de carnes a custos competitivos, podendo conquistar uma grande parcela

da demanda internacional atual e futura, principalmente nos chamados países emergentes. Pode se tornar de fato um dos maiores produtores mundiais de madeira, celulose e papel, a partir da exploração sustentável de florestas cultivadas, em regiões de baixa densidade econômica e social no País. Já é o maior produtor mundial de biocombustível e pode se tornar um grande vendedor de álcool e açúcar no mercado internacional, com potencial de produção de 900 milhões de toneladas de cana-de-açúcar (EMBRAPA, 2006).

Internamente, com políticas adequadas, é possível produzir mais de 16 milhões de toneladas de biodiesel a partir de oleaginosas como dendê, mamona e girassol. Mas, a inserção competitiva e definitiva de diferentes setores da economia e/ou de regiões produtoras nesta nova economia mundial, pressupõe uma adequada reorganização das políticas e estruturas produtivas, além de posturas e atitudes proativas de todos os atores envolvidos, seja com relação às inovações tecnológicas seja com relação às mudanças político-institucionais.

O agronegócio nacional, em fase de reorganização e adequação aos novos padrões de produção e negócios em vigor, enfrenta o desafio de crescer, de modo competitivo e sustentável para atender à demanda interna e conquistar e manter espaços no mercado externo, fornecendo produtos e processos de qualidade, com sustentabilidade, origem e rastreabilidade e a preços competitivos. O processo de desenvolvimento de um país é feito com mudanças políticas, institucionais e estruturais e com profundas mudanças tecnológicas nos processos produtivos. E neste mundo globalizado, só há espaço permanente para segmentos competitivos, em que a inovação tecnológica permanente e continuada é condição definitiva na conquista e manutenção de mercados.

O Brasil é um dos principais produtores mundiais de alimentos e fibras e participa com mais de 4% do valor total das exportações mundiais do agronegócio. Mesmo assim, em 2003, ocupou o sétimo lugar no ranking mundial das exportações agrícolas, com o valor de US\$21,442 bilhões. Embora tenha conseguido aumentos espetaculares,

principalmente no período 1990/2003, quando cresceu quase 300%, o País está atrás dos Estados Unidos (em primeiro, com US\$ 62 bilhões), França (em segundo, com US\$ 42 bilhões), Holanda (em terceiro, com US\$ 41,9 bilhões), Alemanha (em quarto, com US\$ 32,8 bilhões), Bélgica (em quinto, com US\$ 22,6 bilhões) e Espanha (em sexto, com US\$ 21,44 bilhões). Mas, está na frente de países tradicionalmente exportadores de grãos, como é o caso do Canadá. Países com área territorial muito menor, como a França e a Holanda, têm conseguido crescer nas exportações agrícolas mundiais comercializando produtos com valor agregado, ao passo que o Brasil ainda se concentra muito na exportação de matérias-primas primárias ou bens de pouco valor agregado.

Nos últimos 15 anos, houve crescimento significativo nos índices de produção e produtividade da maioria das culturas. De uma produção média de grãos (arroz, feijão, milho, sorgo, soja e trigo) de pouco mais de 50 milhões de toneladas, no período 1980/1990, o País alcançou uma produção média de 114 milhões de toneladas, no período 2004/2005.

No jargão internacional, o País já é um *big trader*, ou seja, possui destacada influência na oferta mundial de vários produtos agropecuários e é referência mundial na tecnologia de produção de álcool a partir da cana-de-açúcar, parte importante da matriz energética brasileira. Ao longo do período 1994/2006, o agronegócio apresentou um crescimento extraordinário e se transformou no maior negócio do Brasil, responsável por 30% do PIB total do País. Em 2006, o PIB do agronegócio alcançou R\$ 534,77 bilhões.

Em 2005, o PIB total foi de 1,9 trilhões e o PIB agropecuário, R\$ 145,8 bilhões. Comparando este desempenho com as décadas anteriores, diversos fatores contribuíram para este resultado, em especial o espetacular aumento da produtividade agrícola, devido à disponibilidade de novas tecnologias de produção (material genético, manejo de solo, manejo de culturas, manejo de pragas e doenças, uso mais intenso e mais racional de insumos). Os investimentos feitos no passado em pesquisa e desenvolvimento, como aqueles realizados pela

Embrapa, foram decisivos nessa conquista tecnológica. A grande disponibilidade de terras a preços extremamente competitivos e a disponibilidade de moderna maquinaria agrícola, a não incidência de impostos (ICMS) na exportação de produtos agrícolas e a adoção de uma política cambial de livre flutuação do câmbio foram fatores importantes no aumento de renda dos produtores e no desenvolvimento do agronegócio.

Merece destaque o espírito empreendedor dos empresários rurais, que fizeram uma verdadeira revolução gerencial no campo, com a utilização de administração profissional e assistência técnica e mão-de-obra especializada, com uma visão integrada do aproveitamento racional dos recursos naturais (solo, clima, água), nas diferentes regiões produtoras. Um estímulo poderoso foi a crescente demanda internacional por proteínas vegetais e carnes oriundas principalmente dos países ditos emergentes, com destaque para o continente asiático, e a demanda industrial nacional por bioenergia oriunda da cana-de-açúcar (veículos movidos a álcool).

Quando comparado aos grandes produtores mundiais de cereais, como a China, a Índia e os Estados Unidos, a produção doméstica de cereais ainda é pequena. Em 2004, o Brasil produziu 64 milhões de toneladas; a China, 413 milhões; a Índia, 233 milhões e os Estados Unidos, 389 milhões. A partir de 1990, a China consolidou a sua posição de maior produtor mundial de cereais.

Segundo a FAO (2006), em 2005, a população mundial foi de 6,4 bilhões de pessoas. Para 2025 estima-se que seja de 7,8 bilhões. É preciso alimentar, dar moradia, vestir e ofertar fontes de energia para esta população adicional de 1,4 bilhão, a maioria com renda *per capita* baixa e com forte demanda por carboidratos, que reside, em grande parte, em países pobres ou em desenvolvimento. Existem poucas nações no mundo com áreas livres aptas para a agricultura. 90% delas estão na América do Sul e África. Esses países não possuem recursos humanos, econômicos e nem do-

minam tecnologias para produzir nas terras ainda não cultivadas.

A população brasileira cresceu e migrou dos campos para as cidades nas quatro últimas décadas. Em 1970, o País tinha uma população de 96 milhões de pessoas e cerca de 54 milhões de pessoas já moravam nas cidades. A partir desta data, a população rural decresceu em termos relativos e absolutos, de modo contínuo e permanente. Em 2005, de um total de 183 milhões de brasileiros, a população rural é de apenas 16%, o que indica que o País já é tipicamente urbano, com 154 milhões de brasileiros morando nas cidades. Essa trajetória de migração rural foi consequência do acelerado processo de inovação tecnológica que aconteceu a partir da década de 70, principalmente com a modernização do parque mecanizado no campo. A partir da mecanização das principais lavouras, a produtividade da mão-de-obra rural cresceu substancialmente (Tabela 3.13), o que permitiu liberar grandes contingentes de assalariados. Mas, deve-se destacar que o processo de industrialização também teve um papel relevante – o meio urbano sempre exerceu forte atração sobre o meio rural. Mais recentemente, a própria legislação trabalhista ao estender para o assalariado rural os mesmos benefícios dos empregados urbanos, acabou exercendo uma forte pressão a favor da mecanização, contribuindo também para acelerar o processo migratório.

Segundo projeções da FAO, em 2025, a população brasileira será de 216 milhões de pessoas, das quais 196 milhões (91%) estarão nas cidades. Isto significa que a agricultura brasileira deverá ser capaz de alimentar, vestir e fornecer bens e serviços ambientais de qualidade para uma população adicional de 35 milhões de pessoas e ainda aumentar a sua participação no comércio mundial de produtos agrícolas, a fim de gerar divisas via exportação. Portanto, a oferta doméstica futura de alimentos e fibras vegetais deverá crescer significativamente, principalmente se houver uma melhoria real na renda *per capita* do brasileiro (Tabela 3.14).

**Tabela 3.13 - Brasil: potencial da produção agropecuária (2006).**

Uso da Terra	Situação em 2005		Potencial		
	Área (1000 ha)	Produção (1000 t)	Área (1000 ha)	Produtividade (t/ha)	Produção (1000 t)
<b>Cultivos anuais (grãos)</b>	47.313		73.800		271.300
Soja	23.413	49.792,7	30.000	3,00	90.000
Milho	12.026	42.128,5	25.000	5,00	125.000
Feijão	3.948	2.978,3	5.000	2,00	10.000
Arroz	3.916	12.829,4	5.500	4,00	22.000
Trigo	2.756	5.851,3	5.200	2,50	13.000
Sorgo	788	2.014,1	2.000	4,00	8.000
Aveia	326	411,0	600	3,00	1.800
Cevada	140	367,2	500	3,00	1.500
<b>Outros Cultivos</b>	5.406		6.800		
Citrus	942	20.462,0	1.200	25,00	30.000
Café	2.218	1.976,6	2.500	1,20	3.000
Banana	491	6.588,6	600	15,00	9.000
Mandioca	1.755	23.927,0	2.500	17,00	47.112
<b>Produção de Fibras</b>	1.419	2.298,3	2.400		
Algodão	1.180	2.099,2	2.000	3,00	6.000
Outras fibras (sisal)	239	199,1	400	1,50	600
<b>Produção de Madeira<sup>1</sup></b>	5.000	43.134,4	15.000	30,00	450.000
<b>Produção de Bioenergia<sup>2</sup></b>	5.918		13.000		
Cana-de-açúcar	5.571	415.694,5	10.000	90,00	900.000
Mamona	215	107,0	1.000	1,50	1.500
Girassol	44	209,8	1.000	2,50	2.500
Dendê	88	909,0	1.000	25*	25.000
<b>Produção de Carnes e Leite</b>	220.000		220.000		
Carne bovina	198.000	8.400	195.000	0,113t	22.100
Carne de frango	-	8.895	-	--	19.817
Carne suína	-	3.110	-	-	5.617
Leite	22.000	23.455.000	25.000	3,00	75.000.000
<b>Área Total (mil ha)</b>	285.056		331.000		

Fonte: FAOSTAT 2005/IBGE/MAPA – Apud SCOLARI 2006

<sup>1</sup> plantios comerciais, 18% da produção total em 2004 (m<sup>3</sup>)

<sup>2</sup> álcool (cana-de-açúcar) e biodiesel (mamona, girassol e dendê)

<sup>3</sup> fonte: Embrapa Gado de Corte

\* dendê (25 t cachos/ha)

**Tabela 3.14 - Produção mundial e demanda por alimentos e fibras (milhões de toneladas)**

Produtos	Produção em 2005	Demanda Estimada em 2025	Produção adicional necessária
<b>Cereais</b>	2.219,4	3.140,40	921,00
<b>Oleaginosas</b>	595,01	750,97	155,96
Perenes	242,81	321,99	70,18
Anuais	352,20	437,98	85,78
<b>Carnes<sup>1</sup></b>	264,70	376,49	111,79
Aves	80,00	113,70	33,76
Suínos	103,40	146,80	43,60
Bovinos	63,50	90,40	26,30
<b>Café</b>	7,72	9,40	1,68
<b>Fibras</b>	28,50	36,37	7,87
<b>Madeiras<sup>2</sup></b>	3.401,90	4.148,40	746,50

<sup>1</sup> Todas as carnes consumidas - <sup>2</sup> em m<sup>3</sup>

Fonte: Scolari (2006)

A capacidade de expansão da agricultura e as possibilidades de crescimento do agronegócio no comércio internacional estão limitadas pela ocorrência de barreiras logísticas significativas, relacionadas à malha viária terrestre (rodovias e ferrovias), ao transporte marítimo e fluvial subutilizado, à limitada capacidade de armazenagem, à reduzida capacidade de escoamento dos portos, à limitada oferta futura de energia e à falta de capacidade de transporte ferroviário e hidroviário de carga. Este conjunto de dificuldades impõe aos exportadores brasileiros custos adicionais e reduzem a competitividade. Os custos médios de transporte nos Estados Unidos (maior uso de ferrovias e hidrovias) e na Argentina (menores distâncias rodoviárias), nossos maiores concorrentes, são menores em US\$ 24 por tonelada de soja e derivados exportados. Em 2003, como as exportações do complexo soja alcançaram 35.978 mil t, isto significou custos adicionais de US\$ 860 milhões.

As principais rodovias de escoamento da produção estão em estado precário de conservação e muitos trechos rodoviários são quase intransitáveis na época das chuvas. Os maiores gargalos ocorrem na região Centro-Oeste, principalmente nas rodovias secundárias de acesso às zonas de produção em que quase todos os trechos não são pavimentados. As estradas federais administradas pela União são, na sua maioria, consideradas deficientes, existe insegurança no transporte rodoviário, com elevado número de acidentes, a frota já está ficando obsoleta, a regulação é deficiente, as regras de acesso à atividade são limitadas e a fiscalização rodoviária é precária.

A malha ferroviária de transporte de carga agrícola (grãos principalmente) é velha, obsoleta, mal conservada e extremamente limitada. Existem poucos trechos ferroviários operacionais, não existem ramais secundários nem infra-estrutura de transbordo de carga seca nas principais zonas produtoras. Existem elevados pontos críticos nas linhas, principalmente nos centros urbanos, e interligação deficiente com zonas portuárias, resultando em tempo de trânsito muito elevado e baixa capacidade operacional. Não existe disponibilidade nem de

locomotivas nem de vagões ferroviários adicionais, devido à demanda de outros setores como siderurgia, cimento, celulose e papel, ferro gusa e químicos derivados do petróleo. A regulação é deficiente e indefinida quanto a novos investimentos e direito dos usuários. Como resultado, o escoamento ferroviário é responsável por uma pequena parcela da produção agrícola brasileira.

As hidrovias, embora sejam o meio de transporte mais barato, são pouco utilizadas e quase inexistentes. Existem pelo menos dois casos de eficiência, no Rio Madeira (soja e fertilizantes) e no trecho Tietê-Paraná. Falta uma clara definição política sobre a importância e prioridades de investimentos em hidrovias, uma vez que decisões judiciais embargaram novos trechos (com são os casos de Pires-Tapajós e Araguaia-Tocantins). A navegação de cabotagem não é significativa, embora o potencial de utilização possa alcançar uma demanda acima de três milhões de toneladas, principalmente para transporte de fertilizantes, milho e arroz. Não existe uma política nacional de cabotagem nem um plano para o futuro próximo.

Os portos brasileiros na modalidade "cais de uso público" são antigos, mal dimensionados, mal equipados, obsoletos, mal localizados, de difícil acesso, pouco operacionais e caros. No caso de terminais privados, principalmente aqueles especializados em grãos, podem ser considerados relativamente modernos e eficientes, tanto com relação aos equipamentos quanto com relação à movimentação das cargas. Mas, a gestão portuária como um todo no Brasil, delegada a estados e municípios, nem sempre pode ser considerada eficiente, uma vez que muitas vezes atende a interesses políticos em detrimento da eficácia e da eficiência. Em alguns casos, como em Paranaguá, o custo de "demurrage" (sobrestadia) para um navio graneleiro pode chegar a US\$ 50 mil por dia. Se atrasar 20 dias, o custo adicional pode ser de US\$ 1 milhão. Além disso, a construção de novos portos ou de novos terminais marítimos muitas vezes esbarra na barreira ambiental construída e administrada por autoridades ambientais brasileiras que tornam o licenciamento ambiental um

processo custoso e demorado. Um estudo detalhado sobre a problemática relacionada aos desafios do transporte para o crescimento do agronegócio foi elaborado pela Associação Nacional dos Usuários do Transporte de Carga (ANUT), com o apoio de várias entidades do agronegócio. A capacidade brasileira de armazenagem de grãos é de 106,36 milhões de toneladas, distribuídas por 14.857 armazéns. Deste total, 80 milhões (7.540 armazéns) são de armazenagem a granel e 26,36 milhões (7.317 armazéns) de armazenagem convencional, com 47,554 milhões de t (7.897 armazéns) localizadas na região Sul e 33,511 milhões de t (3.023 armazéns) localizadas na região Centro-Oeste. A grande maioria dos armazéns e da capacidade de armazenagem está localizada fora da porteira da fazenda e existe uma parcela significativa de armazéns antigos, mal conservados e sem condições de armazenar grãos diferenciados (SCOLARI, 2006).

#### 4. Perspectivas para o desenvolvimento da agricultura no Brasil segundo os princípios de sustentabilidade

Na seção 3.1, em que se aborda a caracterização do universo da agricultura familiar no Brasil, foi citada uma afirmação de Buainain *et al.* (2002) de grande relevância, quando diz que temos que:

*“(...) assumir, em profundidade, as conseqüências da reconhecida diferenciação dos agricultores familiares, e tratá-los como de fato são: diferentes entre si, não redutíveis a uma simples categoria por utilizarem predominantemente o trabalho familiar”.*

Essa afirmação é muito importante para fazer uma ponte com o argumento utilizado por Caporal e Ramos (2006), quando cita que:

*“(...) à extensão rural brasileira pede-se que contribua para o enfrentamento da crise socioambiental resultante dos modelos de desenvolvimento e de agricultura convencionais, implementados nas últimas décadas e que é preciso contribuir para promover mudanças e superar uma inércia que faz com que os serviços de extensão Rural sigam reproduzindo velhos modelo”.*

E cita que é necessário:

*“(...) opor-se à prática histórica da extensão Rural que, desde longa data esteve baseada na teoria da difusão de inovações, o que levou os extensionistas a voltar sua atenção para a transferência de tecnologia, tendo como objetivo a ‘modernização conservadora’ da agricultura. Nesse processo os agricultores eram vistos como meros depositários de conhecimentos e de pacotes gerados pela pesquisa, na maioria das vezes inadequadas para as condições específicas de suas explorações e dos agroecossistemas por ele manejados”.*

A extensão rural no Brasil foi norteadada durante longas décadas pelo modelo de desenvolvimento urbano industrial, cuja viabilização necessitava que a agricultura cumprisse funções, entre as quais, a de fornecedora de mão-de-obra e de consumidora de serviços e produtos industrializados, como as máquinas, equipamentos, sementes melhoradas, agrotóxicos e fertilizantes químicos e sintéticos, além da importância da contribuição para o superávit da balança comercial. Foi então imposto aos agricultores um “modelo”, que também contribuiu, entre outros aspectos, para a concentração de terra, êxodo rural, baixa escolaridade no campo, redução da biodiversidade, poluição, contaminação dos alimentos, exclusão social, desvalorização do trabalho na agricultura e também para o empobrecimento no meio rural, entre outros.

Todos esses problemas resultaram do modelo de modernização conservadora adotado pela extensão rural no Brasil e foram alvos de estudos, avaliações, principalmente pela academia, pelos grupos de resistência que se formaram dentro das organizações de extensão, sociedade civil organizada, igreja e organizações representantes dos agricultores. Caporal e Ramos (2006) e Santana (2005) citam o educador Paulo Freire como um dos principais críticos do processo educacional e da extensão convencional, que propõe o estabelecimento de uma relação dialética entre o agricultor e o extensionista para a construção de conhecimentos apropriados a cada realidade, além da troca de saberes como uma forma de (re)valorização da cultura local.

O meio rural, ao longo das décadas, sofreu muitas modificações e chegou a uma tal complexidade, que aquele modelo de extensão rural não atende mais às demandas da sociedade. Como citam Caporal e Ramos, (*op. cit.*):

*“A Extensão Rural deve contribuir para a promoção do desenvolvimento rural sustentável, com ênfase em processos de desenvolvimento endógeno, adotando-se uma abordagem sistêmica e multidisciplinar, mediante a utilização de métodos participativos e de um paradigma tecnológico baseado nos princípios da agroecologia.”*

Afinal, o que é agroecologia? A agroecologia tem sido assumida como uma ciência ou disciplina científica, um campo de conhecimentos de caráter multidisciplinar, com princípios, conceitos e metodologias que permitem estudar, analisar, construir e avaliar os agroecossistemas. Os agroecossistemas são considerados unidades fundamentais desse tipo de estudo: os ciclos minerais, as transformações energéticas, os processos biológicos e as relações socioeconômicas e culturais são vistos e analisados em conjunto. Os objetivos da pesquisa agroecológica não são a maximização da produção de uma atividade particular, mas a otimização do agroecossistema como um todo, o que implica uma maior ênfase no conhecimento, na interpretação e na análise das complexas relações existentes entre as pessoas, os cultivos, o solo, a água e os animais. Portanto, a agroecologia é o campo do conhecimento que proporciona as bases científicas do processo de transição do modelo de agricultura convencional para estilos de agricultura ecológica ou sustentável (CAPORAL e RAMOS, 2006).

A essência do enfoque ecológico consiste na aplicação de conceitos e princípios da ecologia no manejo e no desenho de agroecossistemas sustentáveis, uma orientação cujas contribuições vão além de aspectos meramente tecnológicos ou agrônômicos da produção. A agroecologia incorpora dimensões mais amplas e complexas que incluem tanto as variáveis econômicas, sociais e ambientais, como as variáveis culturais, políticas e éticas da sustentabilidade.

Uma extensão rural moldada nos princípios da agroecologia é um processo de intervenção, de caráter educativo e transformador, baseado em metodologias participativas. Estas metodologias permitem o desenvolvimento de uma prática social mediante a qual os sujeitos do processo buscam a construção e sistematização de conhecimentos que levem a atuar conscientemente sobre a realidade. O objetivo deste processo é alcançar um modelo de desenvolvimento socialmente equitativo e ambientalmente sustentável, adotando os princípios teóricos da agroecologia como critério para o desenvolvimento e a seleção de soluções mais adequadas e compatíveis com as condições específicas de cada agroecossistema e do sistema cultural das pessoas implicadas em seu manejo.

O Ministério do Desenvolvimento Agrário, no âmbito da Secretaria de Agricultura Familiar, vem trabalhando para mudar a perspectiva linear e cartesiana, que se mostrou insuficiente e equivocada para uma outra totalmente distinta, multidirecional e sistêmica, através da Política Nacional de Assistência Técnica e Extensão Rural (PNATER). Esta estabelece que é papel da extensão rural:

*“(...) estimular, animar e apoiar iniciativas de desenvolvimento rural sustentável que envolvam atividades agrícolas e não agrícolas, pesqueiras, de extrativismo, e outras, tendo como centro o fortalecimento da agricultura familiar, visando a melhoria da qualidade de vida e adotando os princípios da agroecologia como eixo orientador das ações” (BRASIL, 2004).*

Essa nova perspectiva exige que o técnico extensionista seja um mediador de saberes e conhecimentos, um agente impulsor do desenvolvimento das comunidades rurais. Para isso, é necessário que a formação de níveis médio e superior de profissionais que irão atuar diretamente com o agricultor seja repensada e que não continue reproduzindo o modelo de transferência de tecnologia pautado pelos pacotes da Revolução Verde. Já é possível identificar o esforço de algumas escolas técnicas e universidades de incluir em seus cursos temas relacionados à agroecologia. As

instituições de ensino deveriam repensar o processo de formação, as grades curriculares e as metodologias de ensino, de modo que os profissionais sejam capazes de enfrentar os desafios da nova realidade.

O conceito de desenvolvimento rural sustentável deve ser sempre enfatizado e a adoção dos princípios da agroecologia recomendada. Para que isso se efetive, o técnico extensionista precisa fazer uso de tecnologias e de formas de manejo que levem à construção de uma agricultura de base ecológica e, ao mesmo tempo, seja capaz de fortalecer as relações sociais mais eqüitativas, entre os agricultores familiares e os atores envolvidos.

O assunto relacionado à educação do agricultor e sua aceitação em adotar o novo modelo não é simples de ser realizado. Muitas vezes os agricultores são resistentes à adoção de tecnologias e isso deriva da forma como as metodologias convencionais foram colocadas, mostrando-se limitadas e ineficientes. A adoção de tecnologias é influenciada pela forma como cada agricultor maneja sua unidade produtiva, pelo tipo de agricultura que pratica, pela sua confiança no técnico, pela dimensão histórico-cultural por ele vivenciada e pela sua condição socioeconômica, entre outros fatores.

Os conhecimentos históricos, culturais, individuais ou coletivos precisam ser valorizados e incorporados como elementos fundamentais de uma estratégia de desenvolvimento rural. Como citam Caporal e Ramos (2006), é:

*“(...) quase impossível conseguir utilizando-se os métodos persuasivos da tradição extensionista. É preciso capacitar-se para o uso de ferramentas e técnicas participativas que permitam a reflexão, a compreensão da realidade e a busca de soluções compatíveis com o universo dos diferentes grupos de agricultores familiares e dos agroecossistemas que estão sendo por eles manejados”.*

Uma nova extensão rural deve basear-se:

*“(...) na metodologia teórico-pedagógica construtivista, cujo ponto central é a premissa de que o homem-agricultor possui um acúmulo de conhecimentos históricos, culturais, individuais e coletivos que*

*fazem com que ele seja inserido no mundo do saber”.*

Pesquisa realizada por Freitas *et al.* (2007) analisou o processo de desenvolvimento econômico do setor agropecuário no Brasil, no período de 1970 a 2000, destacando a sua desigualdade entre os Estados da Federação. Procurou-se ressaltar a influência do estoque de capital físico (medido pela potência dos tratores) e do capital humano sobre o desenvolvimento agropecuário dos estados brasileiros. Com relação ao capital humano, verificou-se que, de um modo geral, o nível de qualificação dos agricultores brasileiros é muito baixo, mesmo nos estados brasileiros mais desenvolvidos, como São Paulo e Rio Grande do Sul, por exemplo. O menor nível de educação está nos estados nordestinos. Isso explica, em parte, o relativo atraso da agropecuária dessa região em relação à agropecuária dos demais estados. A principal contribuição do trabalho foi apresentar os dados que evidenciaram o desenvolvimento desigual da agropecuária entre os estados brasileiros e demonstrar como o estoque de capital humano explica essa diferenciação ao longo do período analisado.

A pesquisa revelou que o nível educacional na agropecuária ainda é baixo e muito desigual entre os estados brasileiros. A diminuição das diferenças regionais do desenvolvimento da agropecuária suscita a discussão acerca dos mecanismos que podem ser adotados para diminuir-las. O nível de desenvolvimento da agropecuária nos estados está, em grande medida, relacionado às habilidades e conhecimento médio dos seus trabalhadores e dos seus empresários. Dessa forma, o caminho inicial da diminuição das desigualdades passa por reduzir as diferenças regionais em termos de capital humano.

Conforme citado nos parágrafos acima, há a necessidade de mudanças nas políticas de treinamento da mão-de-obra rural, do modelo de modernização conservadora, para o modelo baseado na agroecologia, como ferramenta fundamental para atingir o desenvolvimento sustentável no campo. Admite-se que esse é um momento ímpar, pois já

existe conhecimento científico disponível em bases agroecológicas, mais de quatro milhões de estabelecimentos agrícolas de categoria familiar distribuídos por todo o País e uma Política Nacional de Assistência Técnica e Extensão Rural moldada no novo paradigma. O que mais é preciso para que o salto se efetive?

## 5. Uso de calcário agrícola: ganhos econômicos, sociais e ambientais

Uma pesquisa feita pelo DNPM/FUNPAR (2003) com aos estados e sindicatos representantes dos produtores de calcário agrícola indicou que um dos aspectos relacionados ao baixo consumo do calcário agrícola é o desconhecimento dos benefícios decorrentes de seu uso por parte dos pequenos agricultores do País. Pode-se afirmar que, além da necessidade de crédito disponível para compra de calcário agrícola, a extensão rural desempenha importante papel. Também é preciso destacar que o uso do insumo calcário agrícola vai ao encontro dos princípios da agroecologia e que a correção da acidez dos solos é uma das técnicas essenciais para a transformação do modelo de desenvolvimento da agricultura.

Existe uma ampla concordância de que a condição necessária para o crescimento econômico da maioria dos países em desenvolvimento seja o desenvolvimento de uma agricultura produtiva. Vimos no item anterior que a utilização do calcário agrícola pode trazer ganhos sociais para a agricultura como um todo, seja ela patronal ou familiar, mas sobretudo para a agricultura familiar, que é foco deste capítulo, pode constituir-se em elemento essencial para a sua sustentabilidade.

Nos anos 50, a ênfase na política desenvolvimentista foi direcionada para o desenvolvimento industrial urbano, com o setor agrícola sendo considerado uma fonte de recursos e serviços, principalmente mão-de-obra, para o setor de manufaturados. A partir dos anos 60, a agricultura passou a ser aceita como um instrumento de desenvolvimento. Nas décadas de 70 e 80, foi reforçada a necessidade de se dar uma maior atenção às políticas de desenvolvimento agrícola. Mas ainda hoje, alguns

países em desenvolvimento não dão a devida importância ao desenvolvimento agrícola.

Se existe a necessidade de ampliação da produtividade agrícola para viabilizar o crescimento econômico, é evidente que a racionalização do uso de insumos e a gestão dos solos são elementos fundamentais para isso. Segundo IFA e UNEP (2003), um estudo do *International Food Policy Research Institute* (IFPRI), de 1996, em relação à América Latina, confirmou como o desenvolvimento agrícola auxilia toda a economia. Quando a renda dos produtores aumenta, eles gastam dinheiro em itens não relacionados à agricultura, criando empregos para outros segmentos de toda a economia. Esse estudo mostra que para cada US\$1,00 de aumento na produção agrícola nos países em desenvolvimento, a economia geral cresce US\$2,30.

Além de ser importante para a economia nacional, a agricultura produtiva ajuda a aliviar a pobreza rural. A maior parte das populações pobres do mundo encontra-se no meio rural e, mesmo que eles não estejam engajados em suas próprias atividades agrícolas, contam com empregos e renda fora do campo, que dependem direta ou indiretamente da agricultura.

O crescimento econômico está fortemente ligado à diminuição da pobreza, a qual é, por si mesma, uma forma de poluição. Além disso, o pobre é freqüentemente forçado a usar em excesso ou de maneira errônea os recursos naturais, seja por falta de conhecimento ou renda. A utilização de calcário como corretivo de solos e o uso racional de insumos agrícolas podem contribuir para a sustentabilidade da agricultura familiar. É obvio que essa racionalização também traz ganhos ambientais e sociais.

A ABRACAL, por meio de seu Presidente, o engenheiro agrônomo Oscar Raabe, encaminhou ao Governador do Rio Grande do Sul, em janeiro de 2007, uma carta de apelo, antes da definição do plano de trabalho estadual da Secretaria de Agricultura, para que aquele Estado tomasse ciência e buscasse solucionar os problemas provocados pelo subconsumo do calcário agrícola e pelo desperdício

cio anual de adubo colocado nas propriedades, estimado em 30%. Segundo esta entidade, em 2006, o estado do Rio Grande do Sul consumiu apenas 27% de suas necessidades reais de calcário e estimou um desperdício de R\$600 milhões em adubos, que não conseguiram ser incorporados ao solo devido à acidez. A necessidade de calcário para correção da acidez dos solos do estado foi estimada pela realização de diversos levantamentos de solos feitos em diferentes épocas do ano e em diversos anos pela Universidade Federal de Santa Maria e pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Vale lembrar que o Rio Grande do Sul é um importante estado em número de propriedades agrícolas familiares. De acordo com o Censo Agropecuário do IBGE de 1996, demonstrado na Tabela 3.13, o estado possui um total de 430 mil propriedades agrícolas, sendo que apenas 141.000 utilizam calcário. O número de propriedades que utilizam adubo é de 352.000, correspondendo a 82% das propriedades. O número de propriedades com área menor que 100 ha é de 395.000. Analisando, se os 82% das propriedades que utilizam adubo fizessem a prévia correção dos solos, os ganhos econômicos seriam muito potencializados e não ocasionaria no montante de desperdício indicado pela ABRACAL.

Os dados do trabalho desenvolvido pelo MDA, em 2000, indicam que as regiões de propriedade familiar com menor índice de uso de calcário agrícola são Norte (9,0%) e Nordeste (16,8%). As duas regiões, juntas, correspondem a 56 milhões de ha, ou seja, 52,3% do total dos 107 milhões de ha ocupados com agricultura familiar no Brasil.

Nas regiões de agricultura mais desenvolvida, Sul, Sudeste e Centro-Oeste estão localizados os estados que mais produzem e consomem calcário agrícola, correspondendo a 80% do consumo nacional atual. Mesmo nessas regiões, ainda é insuficiente diante das necessidades reais de correção.

Os dados da Tabela 3.12 indicam que apenas 868 mil propriedades no País utilizam calcário, dentre os 4,8 milhões de estabelecimentos agrícolas

existentes. Considerando que 70% dos solos agricultáveis do País são considerados ácidos, que nem todo esse volume de solo agricultável está sendo utilizado no momento e, também, que o manejo adequado dos solos é capaz de aumentar sua produtividade, o que possibilita poupar terras e florestas para uso futuro, pode-se, mais uma vez, confirmar a necessidade de construção de uma política que viabilize a correção dos solos. Essa política poderá contribuir para o crescimento da produtividade agrícola de todos os tipos de agricultores do País, pois, como afirma SOUZA (2006): *"a agricultura brasileira representa uma combinação de muitas agriculturas, todas imprescindíveis para nossa sociedade"*.

Segundo a ANDA, o País consumiu, em 2006, o total de 21 milhões de toneladas de adubo. Considerando o dado de Pereira e Martins (2005), de que 40% do total de adubo colocado anualmente nas lavouras do País é perdido por falta de calagem, a quantidade chega a R\$ 8,4 milhões de toneladas anuais. Em reais, esse valor situa-se em R\$8,4 bilhões.

A produção agrícola constitui um sistema. Nesse sistema são alocados recursos (também denominados fatores de produção), que, combinados de maneira eficiente, objetivam a otimização dos resultados. Até algumas décadas atrás, o sistema de produção agrícola era visto pela simples equação:

Produção = terra + trabalho + capital

Segundo Goedert e Lobato (1988), este conceito mudou, face a dois aspectos, quais sejam: necessidade de aumentar a produtividade do sistema e expansão da agricultura para áreas ou regiões com maiores limitações para a atividade agrícola. Os autores afirmam que:

"(...) na agricultura moderna, considera-se que a tecnologia é também um fator de produção e que o sistema de produção agrícola envolve a interação entre a terra, o capital, o trabalho e a tecnologia. Através da aplicação da tecnologia, pode-se aumentar a eficiência dos demais fatores, especialmente do fator terra. A geração de conhecimento nesse

sentido tem causado uma extraordinária revolução na agricultura moderna”.

A Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS), escolheu como tema central para o XXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, realizado no ano de 1988, “A Responsabilidade Social da Ciência do Solo”. Naquele momento, a preocupação dominante era a reflexão e análise críticas da ação institucional que envolve o tripé: ensino, pesquisa e extensão. Foi abordado num dos trabalhos apresentados naquele Congresso que, pelo lado da produção agrícola, pode-se afirmar que a principal responsabilidade da Ciência do Solo é gerar conhecimento e tecnologia para que o solo se constitua, em termos permanentes, base dos sistemas de produção de alimentos e de matérias-primas.

A tecnologia deve influir positivamente (no sentido de melhorar, transformar, otimizar, conservar) no componente solo, dentro do sistema de produção agrícola, principalmente nos solos com limitações naturais, como é o caso da acidez (que afeta 70% dos solos do País), baixa fertilidade, susceptibilidade à erosão, má drenagem, salinidade, textura excessivamente arenosa.

De acordo com o Relatório da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD, 1991, p.62):

“(...) as pressões que a lavoura e a pecuária exercem sobre a terra agricultável podem ser em parte aliviadas se a produtividade aumentar. Mas melhorar a produtividade de modo imprevisto e a curto prazo podem provocar diversas formas de desgaste ecológico, como a perda da diversidade genética dos cultivos permanentes, salinização e alcalinização das terras irrigadas, a poluição por nitratos das águas subterrâneas e os resíduos de praguicidas nos alimentos. Existem opções mais benignas do ponto de vista ecológico. Os futuros aumentos de produtividade, tanto nos países em desenvolvimento como nos desenvolvidos deveriam basear-se num uso mais bem controlado de água e agroquímicos, e também no uso mais extensivo de adubos orgânicos e praguicidas não químicos. Essas alternativas só podem ser estimuladas

por uma política agrícola que se baseie nas realidades ecológicas”.

Portanto, podemos afirmar que a responsabilidade social citada no parágrafo acima deve ser entendida não simplesmente como uma responsabilidade da ciência no desenvolvimento de técnicas para otimização da produção agrícola, sob a óptica do lucro capitalista, única e exclusivamente. Deve ser buscada a sustentabilidade do sistema produtivo agrícola, de forma a garantir que os princípios do desenvolvimento sustentável sejam respeitados, principalmente no que diz respeito à busca de um tipo de desenvolvimento que atenda às necessidades presentes, sem comprometer a possibilidade das gerações futuras atenderem às suas próprias necessidades.

A responsabilidade social da ciência, em geral, deve ser a de produzir bens sociais. A maior parte das pesquisas tecnológicas feitas por organizações comerciais dedica-se a criar e processar inovações que tenham valor de mercado. Para atender às necessidades numa base sustentável, a base de recursos naturais da Terra precisa ser conservada e melhorada. A conservação da natureza não deve ser vista apenas como um dos objetivos do desenvolvimento. Ela é parte da nossa obrigação moral para com os demais seres vivos e as futuras gerações.

A história da agricultura brasileira se caracteriza pela existência de ciclos de monocultura (café, cacau, cana-de-açúcar etc), até o advento da policultura e, atualmente, o “boom” da produção de soja no País. Outro aspecto que caracteriza a nossa história agrícola é a predominância do extrativismo, face à abundância de recursos naturais. O fato mais evidente disso é que, apenas recentemente (últimas quatro décadas), iniciou-se o consumo de fertilizantes químicos e corretivos de solo no Brasil, ou seja, até recentemente houve apenas extração de nutrientes de nossos solos, resultando na exaustão dos mesmos. Ainda hoje, o consumo de calcário agrícola e fertilizantes é muito inferior à real necessidade dos solos do País. Essa situação se agrava, à medida que a agricultura se expande para áreas onde o solo tem baixa

fertilidade natural, como é o caso do cerrado e o trópico úmido (GOEDERT e LOBATO, 1988).

A conservação dos recursos agrícolas é tarefa urgente, porque em muitas partes do mundo os cultivos já se estenderam às terras marginais. Tais recursos devem ser conservados e melhorados para atender às necessidades de populações cada vez maiores. O uso da terra na agricultura e na silvicultura deve basear-se numa avaliação científica da capacidade da terra, e o esgotamento anual do solo não deve ultrapassar o índice de regeneração (CMMAD, *op. cit.*).

Nesse sentido, o uso do calcário agrícola contribui com a conservação dos solos e o melhoramento das condições de produção. Seu uso e manejo adequados devem ser algumas das principais preocupações na administração do empreendimento rural, assim como na definição da política agrícola do País. A maioria dos países com expressiva produção agrícola tem embutido em seus planos de agricultura, estratégias de uso e conservação dos solos.

O Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), em cooperação com a Secretaria de Recursos Hídricos (SRH), do Ministério do Meio Ambiente (MMA), desenvolveu um estudo, coordenado pela Fundação da Universidade do Paraná para o Desenvolvimento da Ciência, da Tecnologia e da Cultura (FUNPAR), que evidencia o benefício ambiental que o uso do calcário agrícola pode proporcionar. O estudo foi denominado "Calcário – Recurso Mineral na Sustentabilidade Agropecuária e Melhoria dos Recursos Hídricos".

Para o DNPM, o objetivo do estudo foi promover um insumo que, embora estratégico, é pouco valorizado como recurso mineral e, para o MMA, eleger um elemento âncora capaz de promover e motivar o manejo dos recursos naturais em nível de microbacia. O estudo chamou a atenção pelo fato de a atividade agrícola demandar 70% da água doce disponível, sendo a qualidade e quantidade da água decorrente da qualidade do manejo que se faz na agricultura. Obviamente, o Ministério da Agricultura e outros segmentos públicos e privados já tinham chamado a atenção para isso. A ação do DNPM foi no sentido de: somar-se aos esforços

já desenvolvidos, considerar e avaliar aspectos do calcário no contexto dos recursos hídricos a fim de que a expansão do seu uso seja vista como uma vantajosa relação benefício/custo, não só aos olhos dos agricultores, mas aos de toda a sociedade (CETEM, 2003).

Os resultados desse estudo levaram o DNPM a assinar um convênio com a FUNPAR (Convênio /DNPM/ N°49/2002, de 13/12/2002), com o objetivo de elaborar um programa de trabalho com ações em todos os estados brasileiros, para a intensificação do uso de calcário agrícola, considerando que esse insumo é fator essencial à sustentabilidade e melhoria, além de ser um componente básico para a multifuncionalidade da agricultura brasileira.

O estudo identificou diversos problemas e apontou possíveis soluções para promover o aumento do consumo de calcário agrícola no País, mas, até o presente momento, todo esse volume de informações gerado pela pesquisa está parado em Brasília. Felizmente tivemos acesso aos resultados desta pesquisa e alguns dados, que consideramos de grande importância e estão sendo citados ao longo deste capítulo.

Nielson *et al.* (2005) apontam alguns benefícios ambientais decorrentes das adubações balanceadas. Esse balanceamento sugere que, além do uso do adubo, o solo esteja com a acidez corrigida. Afirma que as culturas, quando nutridas de forma balanceada, podem produzir mais com a mesma quantidade de água. Estas plantas serão mais saudáveis e vigorosas, com maior produção de biomassa e, conseqüentemente, com melhor cobertura da superfície do solo, levando à redução das perdas de solo e nutrientes por lixiviação e escoamento superficial. De acordo com os autores, o processo esquematiza-se da seguinte forma:

Melhor condição química > CTC > produção de biomassa > população microbiana > decomposição > agregação do solo > maior armazenamento de água > disponibilidade de nutrientes para as plantas.

Quando os níveis de nutrientes no solo são adequados, podem aumentar significativamente o

potencial de seqüestro de carbono. As culturas mais produtivas tendem a aumentar os níveis de carbono orgânico dos solos e o seqüestro de CO<sub>2</sub> atmosférico.

O uso de adubações balanceadas pode reduzir o potencial de desflorestamento e aumentar a preservação ambiental, pois, com a utilização balanceada de nutriente e corretivo de solo, é possível aumentar a produção agrícola (produtividade), evitando, dessa forma, que haja incorporação de novas áreas para aumentar o volume de produção.

A agricultura moderna precisa ser sustentável e essa sustentabilidade depende da criação e da manutenção da produtividade dos solos no longo prazo, garantindo que as futuras gerações possam usufruir de solos em quantidade e qualidade suficientes para satisfazer suas necessidades. O uso de nutrientes e calcário agrícola em doses adequadas contribui para o desenvolvimento sustentável da agricultura.

Como afirma Sachs (2007), os países do Sul:

*“(...) devem resistir à tentação das vantagens econômicas e sociais de curto prazo, obtidas mediante a incorporação predatória e descuidada do estoque de capital natural ao fluxo de receitas atuais e da obtenção de divisas. A superação do duplo nó da pobreza e da destruição do meio ambiente exige um período razoavelmente longo de mais crescimento econômico, pelo menos nos países do Sul e do Leste, para sustentar as estratégias de transição. O crescimento econômico não deve, entretanto, ser aquele que conhecemos há décadas, que externaliza livremente os custos sociais e ambientais e que amplia a desigualdade social e econômica”.*

A produção e a disseminação de uma nova geração de técnicas agrícolas eficientes e ambientalmente adequadas, adaptadas às diversas necessidades dos pequenos agricultores por todo o mundo, exigirão um grande e demorado esforço.

Os países que dispõem de solos cultiváveis em abundância e climas favoráveis terão uma vantagem comparativa, contanto que saibam associá-los com a produção de conhecimentos voltados para a valorização dessas vantagens naturais.

Como bem afirma Sachs (2007):

*“(...) a civilização moderna da biomassa deve concentrar-se, simultaneamente, nas biomassas florestais, agrícolas e aquáticas. Mas seu futuro estará ligado sobretudo a uma retomada do desenvolvimento agrícola. O Brasil aparece como um dos países excepcionalmente dotados para progredir nesse campo: a disponibilidade de solos cultiváveis, calculados em dezenas de milhões de hectares, sem contar a Floresta Amazônica; a diversidade de climas (tropical, úmido e semi-árido, climas subtropicais e mesmo mediterrâneos – e, conseqüentemente, a possibilidade de criar complementaridades inter-regionais muitamente vantajosas e, enfim, uma população de camponeses sem-terra avaliada em alguns milhões de famílias” e ainda que “o futuro do país passa, assim, pelo desenvolvimento em grande escala de uma agricultura familiar devidamente modernizada, complementada pelas agroindústrias diversificadas e gerando um grande número de empregos rurais não-agrícolas. O principal bloqueio a ser transposto é a estrutura fundiária anacrônica que cria o paradoxo da superabundância de terras potencialmente cultiváveis e da massa de camponeses privados do acesso à terra.”*

## 6. Considerações finais

Este capítulo objetivou abordar os aspectos de sustentabilidade que envolvem a utilização do recurso mineral calcário agrícola, além da caracterização dos universos da agricultura familiar e do agronegócio no Brasil. Foi dada especial atenção aos três aspectos relacionados a ganhos sociais, econômicos e ambientais da utilização do calcário agrícola.

Foram definidos e conceituados os termos, crescimento econômico, desenvolvimento, desenvolvimento sustentável, sustentabilidade e multifuncionalidade da agricultura.

Também foram abordadas brevemente quais as perspectivas para o desenvolvimento da agricultura no Brasil, segundo os princípios da sustentabilidade, e viu-se que são muito favoráveis.

Foi dado destaque à existência de um grande número de agricultores familiares (mais de 4 milhões) distribuídos por todo o País e à sua grande diversidade no que tange ao grau de conhecimento, à utilização de técnicas produtivas e à capacidade econômica, além das diferenças regionais existentes. Ressalta-se que, mesmo nos estados de São Paulo e Rio Grande do Sul, onde a agricultura é mais desenvolvida, ainda é precário o nível de conhecimento.

Também foi abordado o aspecto da assistência técnica e extensão rural no Brasil. O País encontra-se em um momento favorável, uma vez que já está definida uma Política Nacional de Assistência Técnica e Extensão Rural (PNATER), no Ministério de Desenvolvimento Agrário, no âmbito da Secretaria de Agricultura Familiar, moldada pelos princípios da agroecologia e visando o desenvolvimento sustentável da agricultura brasileira. Seu objetivo principal é promover o desenvolvimento prioritário da agricultura familiar e romper com os paradigmas do modelo extensionista fundamentados nos princípios da Revolução Verde ou, na teoria de difusão de inovações, com prevalectimento do padrão produtivista da agricultura. É necessário, a partir de agora, que o PNATER se efetive no molde agroecológico e distribua seus benefícios por todo o País.

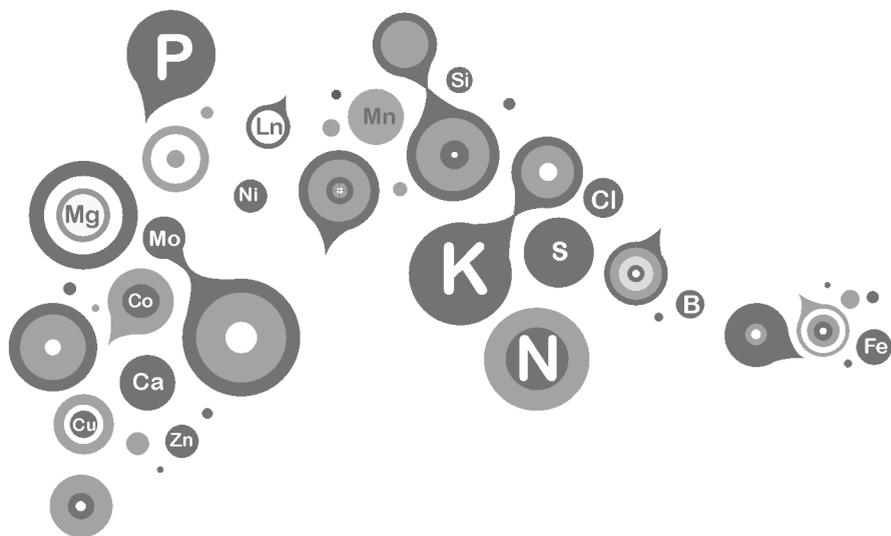
Dos 4,8 milhões de propriedades agropecuárias existentes no Brasil (familiar + empresarial), apenas 868 mil (18%) utilizam calcário agrícola para correção da acidez dos solos, mas, como foi visto neste capítulo, o uso do calcário traduz-se em ganhos triplamente vantajosos: sociais, econômicos e ambientais.

### Referências Bibliográficas

- ALCARDE, J. C.; LOPES, A. S. Calagem e eficiência dos fertilizantes minerais. In: **Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, 21, 1988, Campinas, Anais... Campinas: SBCS, 1988, p.93-100.
- ALVES, E. Quem ganhou e quem perdeu com a modernização da agricultura brasileira. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v.39, n. 3, p. 9-39, jul/set, 2001.
- ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO CRÉDITO RURAL. Brasília: BACEN, 2001 a 2005. Disponível em: <http://www.bcb.gov.br>.
- ARAUJO, N. B. *et al.* **Complexo agroindustrial: o agribusiness brasileiro**. São Paulo: Agroceres. (Cap. 1 e 2), 238p. 1990.
- BARBIERI, J.C. **Desenvolvimento e meio ambiente: as estratégias de mudanças da Agenda 21**. Petrópolis: Ed. Vozes, 1998, 157p.
- BRASIL – MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO. FAO/INCRA Brasília, “Análise diagnóstica de sistemas agrários”. 1999. Disponível em: [www.desenvolvimentoagrario.gov.br/incra/fao](http://www.desenvolvimentoagrario.gov.br/incra/fao)
- BRASIL - MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO. **Novo retrato da agricultura familiar - o Brasil redescoberto**. Brasília: INCRA/FAO, 2000 74p. (Convênio de Cooperação Técnica).
- BRASIL - MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO. Secretaria de Agricultura Familiar. Departamento de Assistência Técnica e extensão Rural. **Política Nacional de Assistência Técnica e Extensão Rural**. Brasília: maio de 2004. Disponível em: [www.mda.gov.br/saf/dater](http://www.mda.gov.br/saf/dater). Acesso em: 11 abr.2007.
- BRASIL - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. DNPM/FUNPAR. **Calcário: recurso mineral na sustentabilidade agropecuária e melhoria dos recursos hídricos**. Brasília: DNPM/FUNPAR, 2003. 12 vol (mimeografado).
- BUAINAIN, A. M. **Trajetória recente da política agrícola brasileira**. Brasília: FAO/INCRA,1997, (Projeto Cooperação Técnica)
- BUAINAIN *et al.* Inovação tecnológica na agricultura e a agricultura familiar In: LIMA, D.M.A.; WILKINSON, J (Org.) **Inovação nas tradições da agricultura familiar**. Brasília: CNPq, 2002. P.47-81.
- CAPORAL, F. R. **Bases para uma nova ATER pública**. Brasília, 2003 Disponível em: [www.mda.gov.br/saf/dater](http://www.mda.gov.br/saf/dater). Acesso em 21 jun/2007.
- CAPORAL, F. R; RAMOS, L. F. **Da extensão rural convencional à extensão rural para o desenvolvimento sustentável: enfrentar desafios para romper a inér-**

- cia. Brasília, 2006. Disponível em: [www.mda.gov.br/saf/dater](http://www.mda.gov.br/saf/dater). Acesso em 14 abr/2007.
- CAPRA, F *et al.* **Alfabetização ecológica: a educação das crianças para um mundo sustentável.** São Paulo: Ed. Cultrix, 2007, 312p.
- CAVALCANTI, R. N. *Desarrollo Sustentable.* In: **II Curso Internacional de Aspectos Geológicos de Protección Ambiental.** Campinas: UNICAMP, jun. 2000. 355p.
- COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO (CMMAD) **Nosso futuro comum.** Rio de Janeiro: Editora da FGV, 1991. 430p.
- DAVIS, J. H.; GOLDBERG, R. A. A. **A concept of agribusiness.** Boston: Harvard University, 1957, 135p.
- DIEGUES, A. C. S. **Desenvolvimento sustentável ou sociedades sustentáveis: da crítica dos modelos aos novos paradigmas.** São Paulo em Perspectiva, vol 6 n.1-2, p.22-29, jan./jun. 1992.
- FAVERET FILHO, P. **Evolução do crédito rural e tributação sobre alimentos na década de 1990: implicações sobre as cadeias de aves, suínos e leite.** BNDES, 2002. Disponível em: [www.bndes.gov.br/conhecimento/bnset/set1602.pdf](http://www.bndes.gov.br/conhecimento/bnset/set1602.pdf). Acesso em 25 out/2005.
- FREITAS, C. A. *et al.* **Avaliação do desenvolvimento do setor agropecuário no Brasil: período de 1970 a 2000.** Campinas, **Revista Economia e Sociedade** v.16, n.1, p.111-124, abr. 2007.
- FURTADO, C. **Desenvolvimento e subdesenvolvimento.** Rio de Janeiro: Ed. Fundo de Cultura, 1961. 247p.
- GASQUES, J.G. *et al.* **Transformações da agricultura e políticas públicas.** Brasília, IPEA, 2001. 539 p.
- \_\_\_\_\_. (a). **Gastos públicos na agricultura.** Brasília, IPEA 2001, 35p, (Textos para Discussão, 782).
- GOEDERT, W.J.; LOBATO, E. **O solo como base dos sistemas de produção agrícola.** In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 21, 1988, Campinas, Anais...Campinas, SBCS, 1988, p.101-108.
- GOULET, D. **Desenvolvimento autêntico: fazendo-o sustentável.** In: CAVALCANTI, Clovis (org). **Meio ambiente, desenvolvimento sustentável e políticas públicas.** São Paulo: Ed.Cortez, 1997, p.72-82.
- GRAZIANO DA SILVA, J. **A Modernização Dolorosa.** Rio de Janeiro: Zahar ,1982, 192p.
- \_\_\_\_\_. **A nova dinâmica da agricultura brasileira.** Campinas: UNICAMP/IE, 1998. 211p.
- \_\_\_\_\_. **O novo rural brasileiro.** Campinas: UNICAMP/IE, 2002. 151p.
- GUIMARÃES, R.P. **A ética da sustentabilidade e a formulação de políticas de desenvolvimento.** In: **O desafio da sustentabilidade.** Brasília, 2004. Ed.Fund. Perseu Abramo p. 43-71.
- HELFAND, S.; REZENDE, G. C. **A agricultura brasileira nos anos 90: o impacto das reformas e políticas.** In: GASQUES, J; CONCEIÇÃO, J. (org.) **Transformações da Agricultura e Políticas Públicas.** Brasília: IPEA, 2001, p.247-301.
- HOGAN, D, J. **Crescimento populacional e desenvolvimento sustentável.** 1993. *Lua Nova*, N° 31 p.57-77
- IBGE. **Censo Agropecuário de 1995/96.** Número 1. Brasil. Rio de Janeiro/RJ.
- INFORME SETORIAL-AGROINDÚSTRIA. Brasília: BNDES, 2001. Gerência Setorial, n. 19, março, Disponível em: [www.bndes.gov.br/conhecimento/setorial](http://www.bndes.gov.br/conhecimento/setorial). Acesso em 25/10/2005.
- \_\_\_\_\_. Brasília: BNDES, 2002. Gerência Setorial I, n. 21, março. Disponível em: [www.bndes.gov.br/conhecimento/setorial](http://www.bndes.gov.br/conhecimento/setorial). Acesso em 25/10/2005.
- INTERNATIONAL FERTILIZER INDUSTRY ASSOCIATION: UNEP. **O uso de fertilizantes minerais e o meio ambiente.** Paris: Tradução: ANDA Associação Nacional para Difusão de Adubos, 2003. 63p.
- KAGEYAMA, A. **Desenvolvimento rural: conceito e medida.** Brasília: **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 21, n. 3, p. 379-408, set./dez. 2004.

- LEONTIEF, W. **A economia do insumo-produto**. São Paulo: Abril Cultural, 1983, 226p, (Coleção "Os Economistas").
- LIMA, D. M. A. *et al.* **Inovações nas tradições da agricultura familiar**. Brasília: CNPq, 2002, 400p.
- MALUF, R. S. O enfoque da multifuncionalidade da agricultura: aspectos analíticos e questões de pesquisa. In: LIMA, D.M. A.; WILKINSON, J. (orgs.) **Inovação nas tradições da agricultura familiar**. Brasília: CNPq. 2002. p.301-328.
- NIELSON, H.; SARUDIANSKY, R. (Coord). **Minerales para la agricultura en latinoamérica**. Buenos Aires: CYTED/UNSAN/OLM, 2005. 574p.
- PEREIRA, C.M. **Política de uso de calcário agrícola e a sustentabilidade da agricultura no Brasil**. 2007. 316p. Tese (Doutorado em Administração e Política de Recursos Minerais) Instituto de Geociências. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2007.
- PEREIRA, C. M. e MARTINS, L. A. Calcário corretivo. Goiânia, GO. **Safra, Revista do Agronegócio**. Ano 6, n.69, agosto 2005 p.54.
- PEREIRA, C. M.; CAVALCANTI, R.N. Calcário Agrícola – caracterização da produção e consumo em São Paulo, **Revista Brasil Mineral**, ano 19, n.212, dez./jan. 2003.
- PEREIRA, C. M. **Caracterização da produção e consumo de calcário agrícola no Estado de São Paulo**. 2002. 187p. Dissertação (Mestrado em Administração e Política de Recursos Minerais) Instituto de Geociências. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.
- RIBEIRO, D.G.M. A multifuncionalidade da agricultura e o aproveitamento dos recursos naturais: preocupação legítima ou protecionismo disfarçado. **Anais. CONPEDI**, jun 2006, 21p. Disponível em: [www.conpedi.org/manaus/arquivos](http://www.conpedi.org/manaus/arquivos).
- SACHS, I. **Estratégias de transição para o século XXI: desenvolvimento e meio ambiente**. São Paulo: Studio Nobel / FUNDAP, 1993.
- \_\_\_\_\_. **Rumo à ecossocioeconomia: Teoria e prática do desenvolvimento**. São Paulo: Ed. Cortez, 2007, 472p.
- SANTANA, E. P. **Extensão rural no Estado de Goiás: acesso da produção familiar à modernidade (1975-1999)**. 2005. 215p. Dissertação. (Mestrado em Sociologia) Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2005.
- SCOLARI, D. G. **Produção agrícola mundial: o potencial do Brasil**. Brasília: **Revista da Fundação Milton Campos**, n. 25, mar/2006.
- SILVA, C.L. e GRASSI, J.D. Desenvolvimento sustentável: um conceito multidisciplinar. In: **Reflexões sobre o desenvolvimento sustentável. Agentes e interações sob a ótica multidisciplinar**. Petrópolis, Ed. Vozes, 2005.
- SOARES, A. C. A multifuncionalidade da agricultura familiar. **Revista Proposta** nº 87, dez./fev. 2000/2001, p.40-49.
- SOUZA, I. S. F. **Agricultura familiar na dinâmica da pesquisa agropecuária**. Brasília: EMBRAPA, 2006. 434p. (Informação tecnológica).



## 2 Nutrientes: fontes, produção e sua importância na agroindústria

<b>Capítulo 7</b> O nitrogênio na agricultura brasileira	<b>211</b>
<b>Capítulo 8</b> O fósforo na agroindústria brasileira	<b>257</b>
<b>Capítulo 9</b> O potássio na agricultura brasileira: fontes e rotas alternativas	<b>305</b>
<b>Capítulo 10</b> Macronutrientes Secundários – Ca, Mg, S	<b>337</b>
<b>Capítulo 11</b> Micronutrientes na agricultura brasileira: disponibilidade, utilização e perspectivas	<b>369</b>

## “Entre Aspas”

*Quer os homens queiram ou não, se dobrarem a quantidade de trabalho sobre a mesma unidade de terra, não dobrarão a produção, a não ser que introduzam aperfeiçoamentos na técnica de produção. (John Stuart Mill - Princípios de Economia Política, 1848).*

*!...! criativo é aquele que consegue ver conexões e estabelecer pontes entre assuntos que, para a maioria, são completamente independentes (Marcelo Gleiser).*

*It has been known for some time that soil quality, food quality, is a complex subject. !...! the use of pesticides, biocides on soil reduces the ability of the soil to hold water! From the study of volcanic areas we know how long it takes to form good soil as with Hawaii and we also know that some soil is best for food and some for forests and today, for bio fuels such as ethanol. !...! It is always necessary to monitor water chemistry in all agricultural regions, soil water and river water (e.g. the Mississippi compared to the Amazon and*

*Rio Negro). Rivers in laterite regions are low in nutrient, which show the differences in agricultural productivity. !...! It is interesting to contemplate that water can be mineralized with appropriate rocks and pumped to the land using wind power (zero pollution) (FYFE, 2004).*

*More recently, integrated nutrient management (INM) systems have been promoted as part of broad-based, practical farm management strategies that aim at improving soil fertility and reducing the excessive use of soluble nutrient inputs. These strategies take account of the complex mineral-organic interactions in soils and include rocks and minerals as part of the system. INM is based on the 'judicious' manipulation of nutrient stocks and flows in an agricultural system that aims at reaching a 'sustainable' level of agricultural production. In the scheme of low external input agriculture (LEIA) practices the use of natural, rock- and mineral-based fertilizers plays a considerable role for more sustainable soil fertility management practice (Peter van Straaten, 2007).*

# Capítulo 7 - O nitrogênio na agricultura brasileira

## Os autores

### Eurípedes Malavolta

Engenheiro Agrônomo. D.Sc. Livre Docente, Professor Catedrático, Pesquisador Permissionário, CENA/USP. Bolsista CNPq.

### Milton Ferreira de Moraes

Engenheiro Agrônomo (UFG), M.Sc. (IAC). Bolsista FAPESP.  
E-mail: moraesmf@yahoo.com.br

## 1. Introdução

O nitrogênio, N, também chamado azoto, (número atômico 7, peso atômico 14,01), teve sua essencialidade para as plantas demonstrada por Sausure, em 1804, como informam Mills e Jones Jr. (1996).

É absorvido pelas raízes das plantas superiores nas formas nítrica ( $\text{NO}_3^-$ ), amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ), amídica [ $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ], gasosa ( $\text{N}_2$ ). A primeira é a predominante nas condições naturais e a última é privilégio das leguminosas, como feijões, soja e adubos verdes nos seus nódulos radiculares. As folhas absorvem as três primeiras formas, bem como o  $\text{NH}_3$  e  $\text{N}_2\text{O}$ , estas em proporção muito pequena.

O N participa da estrutura de todos os aminoácidos e, por isso, está presente na estrutura das proteínas, das enzimas inclusive. Faz parte das bases purínicas e pirimidínicas e, por isso, está nos ácidos nucléicos (DNA e RNA). Faz parte do núcleo tetrapirrólico de clorofila, de coenzimas, de vitaminas, da leghemoglobina, de auxinas. Nas células vacuoladas aparece N nítrico, o mesmo acontecendo nos vasos que levam o elemento da raiz para a parte aérea.

A vida da planta depende da manutenção de uma concentração adequada do N – e de outros elementos – nos seus tecidos. E a vida do homem depende da vida da planta, já que come planta ou planta transformada. Estes e outros aspectos foram detalhados recentemente por Malavolta e Moraes (2006).

O Decreto Nº 4954, de 14 de janeiro de 2004, através do seu Anexo, Art. 2º, define:

*“XIV – nutriente: elemento essencial ou benéfico para o crescimento e produção dos vegetais, assim subdividido:*

*a) macronutrientes primários: Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), expressos nas formas de Nitrogênio (N), Pentóxido de Fósforo ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) e Óxido de Potássio ( $\text{K}_2\text{O}$ );”*

Em Nutrição Mineral de Plantas como na legislação, a classificação macronutriente significa a mesma coisa: elemento exigido pela planta em maior proporção – kg/ha. A exigência de micronutrientes é em geral medida em g/ha.

## 2. Origem

O solo foi definido, no livro clássico de Jenny (1941), como resultado da interação de vários fatores:

Solo = f (rocha, clima, organismos, topografia, tempo)

Schroeder (1984) dá a composição elementar da litosfera, que está na Tabela 2.1. O N está conspicuamente ausente, já que não faz parte dos minerais primários e nem dos acessórios. Entretanto, o N está presente em todos os solos. Servem de exemplo os solos do cerrado, cuja composição está na Tabela 2.2. Procede, pois, a pergunta: de onde vem o nitrogênio, nutriente de plantas, nas condições naturais?

**Tabela 2.1** - Composição elementar média da litosfera.

Elemento	Teor g kg <sup>-1</sup>
O	467
Si	277
Al	81
Fe*	51
Ca*	31
Na	78
K*	26
Mg*	21
Vários	12

\*Nutrientes

**Tabela 2.2** - Teor de nitrogênio total em solos do cerrado.

Solo	N g kg <sup>-1</sup>
Latossolo Vermelho Amarelo, distrófico	0,6
Latossolo Roxo, distrófico	1,2
Latossolo Vermelho Escuro, distrófico	1,5
Areia Quartzosa, distrófica	0,5
Cambissolo, distrófico	1,1
Concrecionário, distrófico	1,9
Solos litólicos, distróficos	0,4
Laterita hidromórfica distrófica	0,6
Média	0,9

Fonte: Freitas e Silveira (1977).

Descargas elétricas na atmosfera fornecem a energia para converter o N gasoso, N<sub>2</sub>, em NO, e reações fotoquímicas transformam em N<sub>2</sub>O e NO. Este, por sua vez, é convertido em NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, que a chuva traz ao solo, de onde é absorvido e incorporado em compostos orgânicos por microrganismos e plantas superiores. Medições feitas em São Paulo (J.L. FOBÉ, comunicação particular, 1962) mostraram uma adição nos meses chuvosos entre 7 e 14 kg por ha, dependendo do local. Entretanto, a fixação biológica do nitrogênio (FBN) é a maior responsável pela entrada do elemento no solo. Bactérias e uma ampla variedade de microrganismos de vida livre (clostrida, bacilos, várias algas, alguns liquens) fixam N<sub>2</sub> (DELWICHE, 1965). As quantidades fixadas variam de 18-23 kg ha<sup>-1</sup>, em regiões temperadas e até 100 kg ha<sup>-1</sup>, nas tropicais. A fixação simbiótica é a que tem lugar nos nódulos das raízes das leguminosas por bactérias do gênero *Rhizobium*: o hospedeiro fornece carboidrato, fonte de energia, e o microrganismo, em troca, fixa N<sub>2</sub> e o entrega como NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e ureídeo.

Na rizosfera de gramíneas, aproveitando de exsudados, pode haver fixação por bactérias de vários gêneros, como as do gênero *Azospirillum*, em quantidades que variam de 10-80 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Um último tipo de FBN, a endofítica, que ocorre nos vasos de cana-de-açúcar e de arroz é devida à *Acetobacter diazotrophicus* e *Methylobacterium spp*, respectivamente. A FBN na soja é capaz de fornecer, com o suplemento pelo solo, todo o N de que a cultura necessita. Estima-se que, com esse feito, tem-se no Brasil uma economia, em termos de adubo nitrogenado, da ordem de um bilhão de dólares (MOREIRA, 2005). Em plantações estabelecidas de dendê, seringueira e coqueiro, a FBN da leguminosa *Pueraria sp* fornece todo o nitrogênio de que a cultura necessita.

A FBN é devida a enzima nitrogenase (Nase), que é composta de duas unidades básicas: uma ferropoteína e uma ferromolibdica. A reação catalisada é simplificada a seguinte:

O processo se dá em duas etapas principais: na primeira, endergônica, há gasto de energia do trifosfato de adenosina (ATP) para ativar o N<sub>2</sub>; na segunda, este é reduzido de 0 a -3 na forma de NH<sub>3</sub>. A fixação do N<sub>2</sub> depende da disponibilidade de H<sub>2</sub> produzido por outra enzima, a hidrogenase, uma Ni-Fe proteína. O processo Harber-Bosch para a síntese industrial da amônia, fundamental para a produção de fertilizantes e para a segurança alimentar, faz a mesma tarefa em condições de pressão e temperatura elevadas. Mais detalhes sobre a FBN são encontrados em Moreira e Siqueira (2006).

Os fertilizantes minerais e orgânicos representam outra fonte de N para o solo: imobilizados temporariamente na biomassa da microflora; absorvidos pela planta e devolvidos em parte como restos de colheita, passando pelo processo de neobiosíntese de compostos orgânicos na humificação. No caso dos fertilizantes orgânicos, a fração não mineralizada no solo vai contribuir para o reservatório de nitrogênio, pelo menos temporariamente.

### 3. Fertilizantes Orgânicos

#### 3.1. Conceito e legislação

O Anexo ao Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004, apresenta as seguintes definições:

*Art. 2º I) fertilizante orgânico simples: produto natural de origem vegetal ou animal, contendo um ou mais nutrientes de plantas;*

*m) fertilizante orgânico misto: produto de natureza orgânica, resultante da mistura de dois ou mais fertilizantes orgânicos simples; contendo um ou mais nutrientes de plantas;*

*n) fertilizante orgânico composto: produto obtido por processo físico, químico, físico-químico ou bioquímico, natural ou controlado, a partir de matéria-prima de origem industrial, urbana ou rural, animal ou vegetal, isolados ou misturados, podendo ser enriquecido de nutrientes minerais, princípio ativo ou agente capaz de melhorar suas características físicas, químicas ou biológicas;*

*o) fertilizante organomineral: produto resultante da mistura física ou combinação de fertilizantes minerais e orgânicos.*

**Tabela 3.1** - Principais fertilizantes orgânicos.

Origem	Fertilizante
Vegetal	Restos de culturas
	Aubos verdes
	Tortas de oleaginosas
	Turfa
	Torta de filtro
	Vinhaça ou restilo
Animal	Sangue dessecado
	Farinha de carne
	Tancage
	Couro moído
	Farinha de cascos e chifres
	Guano
Mista <sup>(1)</sup>	Restos de peixe
	Estercos
	Composto
	Lixo
	Lodo de esgoto

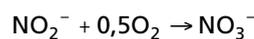
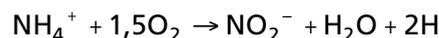
(1) Fertilizante orgânico composto de acordo com a legislação.

Este item tratará somente dos fertilizantes orgânicos simples com o entendimento de que os mesmos, dada a sua origem, terão sempre mais de um nutriente das plantas. A legislação não estabelece garantias mínimas, não descreve as características e não indica os processos de obtenção. O resumo que se segue é baseado largamente em Malavolta (1981) e Kiehl (1985), com atualização quando indicado.

A Tabela 3.1 apresenta uma classificação dos principais fertilizantes orgânicos os quais serão tratados nos subitens seguintes.

#### 3.2. Restos de cultura

As necessidades minerais das culturas se distribuem em duas partes: parte colhida e resto da cultura. A segunda, que permanece no terreno, bem como as raízes, quando estas não são o produto de interesse, é fonte de macro e micronutrientes. O N está entre eles. No tecido vegetal está quase exclusivamente em formas orgânicas, proteínas principalmente. Microrganismos do solo convertem-nas em  $N-NO_3^-$ , que as raízes absorvem:



A Tabela 3.2 mostra a composição dos restos de algumas culturas representativas (RAIJ *et al.*, 1996).

**Tabela 3.2** - Macronutrientes primários nos restos de algumas culturas (kg/t de produto colhido).

Cultura	N	P	K
Arroz (palha + casca)	10	1	22
Milho (restos)	11	1	13
Trigo (palha)	6	1	18
Algodão (restos)	36	6	34
Soja (ramos)	7	1	21
Batata (restos)	2,0	0,2	3,0
Mandioca (ramos)	2,0	0,3	2,0
Cana-de-açúcar (palha)	0,6	0,1	0,5
Café (casca)	18,0	1,3	37,0

### 3.3. Adubos verdes

Os adubos verdes são plantas da família das leguminosas, portanto capazes da FBN, cultivadas de modos diversos: antes da cultura principal; em rotação de culturas; como cultura intercalar; na renovação dos canaviais. Incorporadas ao solo contribuem com matéria orgânica e nutrientes, particularmente N. A Tabela 3.3 dá alguns exemplos mostrando as quantidades fixadas.

**Tabela 3.3** - Estimativa das quantidades de N fixadas por alguns adubos verdes.

Leguminosa	kg N ha <sup>-1</sup>
Soja ( <i>Glycine max</i> )	40 – 206
Feijão ( <i>Phaseolus vulgaris</i> )	30 – 60
Amendoim ( <i>Arachys hypogea</i> )	49
Guandu ( <i>Cajanus cajan</i> )	90 – 150
Feijão macassar ( <i>Vigna sinensis</i> )	90 – 354
Grão-de-bico ( <i>Cicer arietinum</i> )	41 – 270
<i>Phaseolus aureus</i>	224
Mucuna preta	119 – 130
<i>Crotolaria juncea</i>	147 – 163

### 3.4. Tortas de oleaginosas

As tortas de oleaginosas são subprodutos de fabricação de óleos ou gorduras. Costumam ter alto teor de proteína, motivo pelo qual algumas delas, como as de algodão e amendoim são usadas na fabricação de rações. A composição de algumas tortas é dada na Tabela 3.4.

**Tabela 3.4** - Composição porcentual de algumas tortas.

Torta	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Algodão	2,5 – 6,5	0,8 – 2,6	1,5 – 2,0
Amendoim	6,0 – 8,0	1,5 – 2,0	1,0 – 1,5
Babaçu	3,4	1,7	1,0
Cacau	1,5 – 3,0	1,0 – 2,5	0,5 – 1,6
Coco	3,8	1,6	2,8
Gergelim	5,0 – 7,0	2,0 – 2,5	1,0 – 1,5
Mamona	4,0 – 6,0	1,5 – 2,0	1,0 – 2,0

### 3.5. Turfa

Trata-se do produto de decomposição anaeróbica de resíduos vegetais em baixadas ou pântanos. Tem alto teor de carbono, 1,5 a 3,0% de N, 0,25 a 0,50% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 0,5 a 1,0% de K<sub>2</sub>O. Não é

comumente usada como fertilizante. É empregada às vezes, depois de corrigida a acidez, como substrato para mudas.

### 3.6. Torta de filtro rotativo

A torta de filtro constitui um resíduo de fabricação do açúcar obtido depois que as borras resultantes da clarificação do caldo têm a sua sacarose residual extraída naquele equipamento. De acordo com Orlando Filho (1994), duas situações podem ocorrer: (i) quando o produto principal da usina é o açúcar, 1 t de cana gera 100 kg de sacarose, 35 kg de torta, 40 kg de melado ou 12 litros de álcool e 156 L de vinhaça (ver item 3.7); (ii) quando somente álcool é produzido, 1 t de cana gera 80 L de etanol e 1.040 L de vinhaça. A Tabela 3.5 dá a composição da torta.

**Tabela 3.5** - Composição de torta de filtro.

Componente	% Matéria Seca
N	0,90 – 2,20
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,45 – 1,92
K <sub>2</sub> O	0,30 – 1,30
Matéria orgânica	72 – 88

### 3.7. Vinhaça ou restilo

No processo de fabricação do açúcar, o melaço correspondente de álcool etílico forma-se por fermentação. Depois da destilação sobre um resíduo particularmente rico em potássio, pode ser usado o próprio caldo na fermentação ou a mistura deste com o melaço. A Tabela 3.6 dá a composição da vinhaça, também chamada restilo, garapão ou vinhoto, de acordo com Gloria *et al.* (1973). Tanto no caso da torta de filtro quanto no da vinhaça, o teor relativamente baixo de N e de outros elementos é compensado pelas doses médias empregadas: 10 t de matéria fresca e 100 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>.

**Tabela 3.6** - Composição de vinhaça de diferentes substratos.

Componente	Melaço	Mistura	Caldo
	kg m <sup>-3</sup>		
N	1,2	0,7	0,3
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,21	0,21	0,21
K <sub>2</sub> O	7,80	4,56	1,20
Matéria Orgânica	19,2	11,50	5,90

### 3.8. Fertilizantes orgânicos de origem animal

A Tabela 3.7 resume a composição dos principais adubos orgânicos. O sangue dessecado e a farinha de carne são usados em rações. O alto custo não permite o seu uso como fertilizante. Couro moído e farinha de cascos e chifres apresentam pouca disponibilidade do N e dos demais componentes. Os guanos, dos quais os mais conhecidos são os do Peru, resultam da decomposição dos excrementos, cadáveres de pássaros marinhos e restos de peixes acumulados durante séculos em costas marinhas e em certas ilhas, particularmente. Os restos de peixes ou “farinha de peixes” são resíduos de industrialização dos mesmos.

**Tabela 3.7** - Composição dos principais fertilizantes de origem animal.

Fertilizante	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
	----- % da matéria seca -----		
Sangue dessecado	8 – 14	1,5 – 3,0	0,5 – 0,8
Farinha de carne	9 – 11	0,1 – 3,5	–
Couro moído	7,0	0,2	0,4
Farinha de cascos e chifres	9 – 15	1 – 3	–
Guanos	16,0	9,3	2,5
Restos de peixes	4 – 10	4 – 11	0,4 – 0,6

### 3.9. Estercos

Os esterco são os produtos da fermentação do conjunto das fezes e urina dos animais e das camas usadas. A Tabela 3.8 mostra as quantidades de dejeções e urina produzidas por animais domésticos. As camas, geralmente feitas de palha de cereais ou capins, representam 1/8 do peso final do esterco fresco. Uma tonelada deste é, pois, constituída de 875 kg de dejeções/urina e 125 kg de camas.

**Tabela 3.8** - Dejeções sólidas e líquidas produzidas por 1000 kg de peso vivo.

Animal	kg sólido dia <sup>-1</sup>	kg líquido dia <sup>-1</sup>	kg total dia <sup>-1</sup>	t ano <sup>-1</sup>
Cavalo	20	5	25	9,1
Vaca leiteira	25	10	35	12,7
Bezerro em engorda	15	6	21	7,5
Suínos	24	17	41	15,0
Ovinos	11	6	17	6,0
Aves	-	-	12	4,3

A composição de vários esterco é dada na Tabela 3.9 devida a Raij *et al.* (1996).

**Tabela 3.9** - Composição típica de vários esterco (sem secar).

Esterco	C/N	Unid.	C	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
	----- % -----					
Bovino Fresco	20	62	10	0,5	0,6	0,7
Bovino Fermentado	21	34	32	1,5	0,5	2,5
Galinha	10	10	14	1,4	1,8	0,8
Porco	9	9	6	0,7	0,5	0,6

Como acontece com os fertilizantes orgânicos em geral, o seu N tem que ser mineralizado para ser tornar disponível, o que depende de vários fatores. Um deles é a relação C/N. Quando próxima de 10, é facilitada a mineralização. Se, entretanto, for maior, ocorre a imobilização na biomassa dos microrganismos. A mineralização do N segue uma série de decaimento (PRATT e POMARES-GARCIA, sem data) 0,30; 0,10; 0,05. Isto quer dizer que, no primeiro ano, 30% (0,3) do nitrogênio presente é mineralizado; no segundo ano, é mineralizado 10% (0,1) do restante; no terceiro, por sua vez, é mineralizado 5%.

### 3.10. Composto

Talvez a definição mais completa de composto, que indica a variação esperada na sua composição, seja aquela devida a Dafert (1888-1893, p.155): “é uma mistura de todos os resíduos, restos e mais substâncias sem valor para fim de estrumação”. Comumente, porém, o composto é preparado a partir de restos vegetais inoculados com esterco de curral para que haja fermentação. Um composto preparado na Luiz de Queiroz, em Piracicaba, apresentou os seguintes teores porcentuais na matéria seca: N – 0,82; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 0,22; K<sub>2</sub>O – 0,13.

### 3.11. Lixo

A produção de lixo nas cidades varia, em média, entre 500 e 700 gramas por dia, por pessoa. O aproveitamento pode ser feito por vários processos - desde a produção de composto ao ar livre, até a fermentação em ambiente fechado.

Algumas análises revelaram os seguintes teores percentuais: N – 0,4 a 0,8; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 0,2 a 0,5; K<sub>2</sub>O – 0,8 a 1,5.

### 3.12. Lodo de esgoto

O lodo de esgoto das cidades é obtido nas estações de tratamento a partir do resíduo líquido urbano que provém de áreas domiciliares e industriais. Os últimos podem levar metais pesados tóxicos, o que limita o seu uso. Um exemplo da composição porcentual do lodo é o seguinte: C/N – 11; umidade – 50; C – 17; N – 1,6; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 1,0; K<sub>2</sub>O – 0,24.

### 3.13. Disponibilidade parcial de N P K

A Tabela 3.10, devida a Costa (1985), contém uma estimativa de disponibilidade de adubos orgânicos em São Paulo, no ano de 1982-3. Se todo o lixo e o esgoto “produzidos” pelos paulistas fossem reciclados, o total de nutrientes seria, em 1.000 t: N – 33.972; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 4.662; K<sub>2</sub>O – 23.408. Esses números são maiores que os correspondentes ao consumo de adubos minerais.

**Tabela 3.10** - Disponibilidade de vários fertilizantes orgânicos no estado de São Paulo<sup>(1)</sup>.

Fonte	Volume 1000 t/ano	Quantidade de nutrientes (1.000 t)		
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Animais	63.221	1.247	812	1.043
Vegetais	30.918	404	81	499
Adubos verdes	41	1	0,24	0,7
Agroindustriais	81.536	239	113	163
Urbanos <sup>(2)</sup>	118	2	0,7	2
<b>Total</b>	<b>175.036</b>	<b>1.897</b>	<b>1.008</b>	<b>1.709</b>

(1) Resíduos animais – esterco. Resíduos vegetais – restos de culturas. Resíduos agroindustriais – tortas de oleaginosas, resíduos de frigoríficos, resíduos de beneficiamento. Resíduos urbanos – esgoto e lixo.

(2) Quantidades recicladas equivalentes a 5% do lixo produzido e a 0,01% do esgoto.

## 4. Fertilizantes minerais

### 4.1. Legislação

A Instrução Normativa Nº 10 (SARC), de 28 de outubro de 2004, no seu Anexo II, dá as especificações

dos fertilizantes minerais simples, conforme se pode ver na Tabela 4.1.

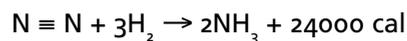
Entre todos os fertilizantes definidos na legislação, são empregados no Brasil os seguintes: sulfato de amônio, uréia, nitrato de amônio, nitrato de cálcio, fosfato de monoamônio (MAP), fosfato de diamônio (DAP), salitre potássico e nitrato de potássio, soluções nitrogenadas. A origem dos mesmos será vista no item 4.4.

### 4.2. Obtenção

#### 4.2.1. Amônia

A amônia, NH<sub>3</sub>, é composto-chave de produção de quase todos os adubos nitrogenados do comércio mundial. A síntese direta da amônia a partir de seus elementos foi conseguida comercialmente pela primeira vez em 1913, às vésperas da I Grande Guerra. Cerca de 750 t foram produzidas pela firma alemã *Badische Aniline und Soda Fabrik* (BASF), em Oppau, graças ao processo usado até hoje – Haber-Bosch. A guerra deu grande ímpeto à produção. Nos Estados Unidos, a produção começou em 1921 (SHARP, 1960, p.10). No Brasil, a primeira fábrica começou operar em Cubatão, SP, em 1963, propriedade da ULTRAFERTIL.

A molécula do N<sub>2</sub> contém uma ligação tríplice muito estável, sendo necessário 2,2 x 10<sup>5</sup> kcal/kmol para quebrá-la ou para ativar o nitrogênio. A reação de síntese de amônia, propriamente dita, é isotérmica.



As matérias-primas para a produção são: o N<sub>2</sub> do ar, que tem 10<sup>15</sup> t, e o hidrogênio de diferentes fontes (nafta, carburantes de óleos pesados, hulha e linhito, gás liquefeito de petróleo, eletrolítico e, principalmente, gás natural) (GRUNDT, 1977-a).

A Figura 4.1 mostra o papel central da amônia para a fabricação dos fertilizantes nitrogenados mais usados. Por sua vez, a Figura 4.2, simplificada de Sharp (1960) e Naciones Unidas (1969), mostra um fluxograma para a produção do H<sub>2</sub>.

**Tabela 4.1** - Especificações dos fertilizantes nitrogenados.

Fertilizante	Garantia Mínima	Características	Obtenção	Observação
Amônia Anidra	82% de N	O Nitrogênio deverá estar totalmente na forma amoniacal.	Síntese catalítica entre o Nitrogênio do ar atmosférico e o Hidrogênio proveniente do craqueamento de hidrocarboneto.	
Aquamônia	10% de N	O Nitrogênio deverá estar totalmente na forma amoniacal.	Reação da Amônia Anidra com água.	
Cianamida de Cálcio	18% de N 26% de Ca	Nitrogênio na forma cianamídica podendo conter até 3% de Nitrogênio, como Nitrato de Cálcio.	Ação de Nitrogênio sobre o Carboneto de Cálcio com adição de Nitrato.	Apresenta também características de corretivo de acidez.
Cloreto de Amônio	25% de N	O Nitrogênio deverá estar na forma Amoniacal (NH <sub>4</sub> Cl).	Neutralização do Ácido Clorídrico por Amônia. Reação entre Carbonato de Amônio e Cloreto de Sódio.	Mínimo de 62% de Cloro (Cl).
Fosfato Diamônico (DAP)	17% de N 45% de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fósforo determinado como P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> solúvel em CNA + H <sub>2</sub> O e mínimo de 38% solúvel em água. Nitrogênio na forma amoniacal.	Reação do Ácido Fosfórico com Amônia.	
Fosfato Diamônico cristal DAP cristal	19% de N 50% de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Nitrogênio na forma amoniacal e Fósforo determinado como P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> solúvel em H <sub>2</sub> O	Reação do Ácido Fosfórico de alta pureza com Amônia ou purificação do DAP.	
Fosfato Monoamônico (MAP)	9% de N 48% de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fósforo determinado em P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> solúvel em citrato neutro de amônio mais água, e mínimo de 44% solúvel em água. Nitrogênio na forma amoniacal.	Reação do Ácido Fosfórico com Amônia.	
Fosfato Monoamônico Cristal – MAP Cristal	11% de N 60% de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Nitrogênio na forma amoniacal e Fósforo determinado como P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> solúvel em H <sub>2</sub> O.	Reação do Ácido Fosfórico de alta pureza com amônia ou purificação do MAP.	
Fosfossulfato de Amônio	13% de N 20% de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 12% de S	Fósforo determinado como P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> solúvel em Citrato Neutro de Amônio mais água. Nitrogênio na forma amoniacal.	Reação entre Amônia Anidra e uma mistura de Ácido Fosfórico e Sulfúrico.	

Tabela 4.1 - (continuação) Especificações dos fertilizantes nitrogenados.

Fertilizante	Garantia Mínima	Características	Obtenção	Observação
Nitrato de Amônio	32% de N	O Nitrogênio deverá estar 50% na forma amoniacal e 50% na forma nítrica.	Neutralização do Ácido Nítrico pela Amônia Anidra.	
Nitrato de Amônio e Cálcio	20% de N 2% de Ca	O Nitrogênio deverá estar 50% na forma amoniacal e 50% na forma nítrica.	1) Adição de calcário ou dolomita sobre Amoníaco e Ácido Nítrico. 2) Mistura de Nitrato de Cálcio com o Carbonato de Amônio.	
Nitrato de Cálcio	14% de N 16% de Ca	Nitrogênio na forma nítrica, podendo ter até 1,5% na forma amoniacal.	Reação de Ácido Nítrico com Óxido ou Carbonato de Cálcio.	
Nitrato de Magnésio	8% de Mg 10% de N	Magnésio solúvel em água na forma de $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ .	A partir da reação de MgO com Ácido Nítrico.	
Nitrato de Manganês	16% de Mn 8% de N	Manganês solúvel em água na forma de $Mn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ .	A partir da reação de MnO com Ácido Nítrico.	
Nitrato de Potássio	44% de $K_2O$ 12% de N	Potássio determinado como $K_2O$ solúvel em água. Nitrogênio na forma nítrica.	1) Recuperação do caliche por cristalização das águas de lavagem. 2) Reação do Cloreto de Potássio com Ácido Nítrico. 3) A partir do Cloreto de Potássio e Nitrato de Sódio por dissoluções seletivas.	
Nitrato de Sódio	16% de N	O Nitrogênio deverá estar na forma nítrica.	1) Purificação e concentração do caliche. 2) Ação de óxido de Nitrogênio sobre o Hidróxido de Sódio ou lixívia. 3) Ação de Ácido Nítrico sobre Hidróxido de Sódio ou lixívia.	O teor de Perclorato não poderá ser maior que 1% expresso em Perclorato de Sódio.
Nitrato Duplo de Sódio e Potássio	15% de N 14% de $K_2O$	Nitrogênio na forma nítrica.	Refinação do caliche.	
Nitrofosfato	14% de N 6% de Ca 18% de $P_2O_5$	Fósforo determinado em $P_2O_5$ solúvel em Citrato Neutro de Amônio mais água; mínimo de 14% de $P_2O_5$ solúvel em água. Nitrogênio na forma nítrica.	Reação entre rocha fosfata moída com o Ácido Nítrico ou mistura de ácidos.	

**Tabela 4.1 - (continuação) Especificações dos fertilizantes nitrogenados.**

Fertilizante	Garantia Mínima	Características	Obtenção	Observação
Nitrossulfocálcio	25% de N 3% de S 3% de Ca	O Nitrogênio deve estar metade na forma amoniacal e metade na forma nítrica.	Reação do Sulfato de Cálcio com Nitrato de Amônio.	
Solução Nitrogenada	20% de N	Nitrogênio total.	A partir da dissolução em água de soluções aquosas de amônia e/ou Nitrato de Amônio e/ou Uréia ou outros compostos de Nitrogênio.	
Sulfato de Amônio	20% de N 22% de S	O Nitrogênio deve estar na forma amoniacal.	1) Neutralização do ácido sulfúrico pelo amoníaco. 2) Reação do carbonato de Amônio com o gesso. 3) A partir de gases de coqueria ou de gases provenientes de unidades de Ácido Sulfúrico.	O teor de Tiocianato não poderá exceder 1%, expresso em tiocianato de amônio.
Sulfo Nitrato de Amônio	25% de N 12% de S	O Nitrogênio deverá estar 75% na forma Amoniacal e 25% na forma nítrica.	1) Ação do Sulfato de amônio sobre o Nitrato de Amônio fundido. 2) Neutralização de mistura de Ácido Sulfúrico e Ácido Nítrico pelo Amoníaco.	
Sulfo Nitrato de Amônio e Magnésio	19% de N 3,5% de Mg 10% de S	O Nitrogênio deverá estar 67% na forma amoniacal e 33% na forma nítrica.	Neutralização da mistura de Ácido Sulfúrico e Nítrico pelo Amoníaco com adição de composto de Magnésio.	
Uréia	45% de N	O Nitrogênio deverá estar totalmente na forma amídica.	Reação do Amoníaco e Gás Carbônico sob pressão.	O teor de Biureto não pode ser maior que 1,5% para aplicação direta no solo e 0,3% para aplicação foliar.
Uréia Formaldeído	35% de N	Nitrogênio na forma amídica.	Reação entre Uréia e Formaldeído	Pelo menos 60% do N deve ser insolúvel em água.
Uréia Sulfato de Amônio	40% de N	O Nitrogênio deverá estar 88% na forma amídica e 12% na forma amoniacal.	Amoniação parcial do Ácido Sulfúrico com posterior adição de solução concentrada de Uréia e Amônia.	O teor de Biureto não poderá ser maior que 1,5 para aplicação direta no solo e 0,3% para aplicação foliar 4% a 6% de Enxofre (S).

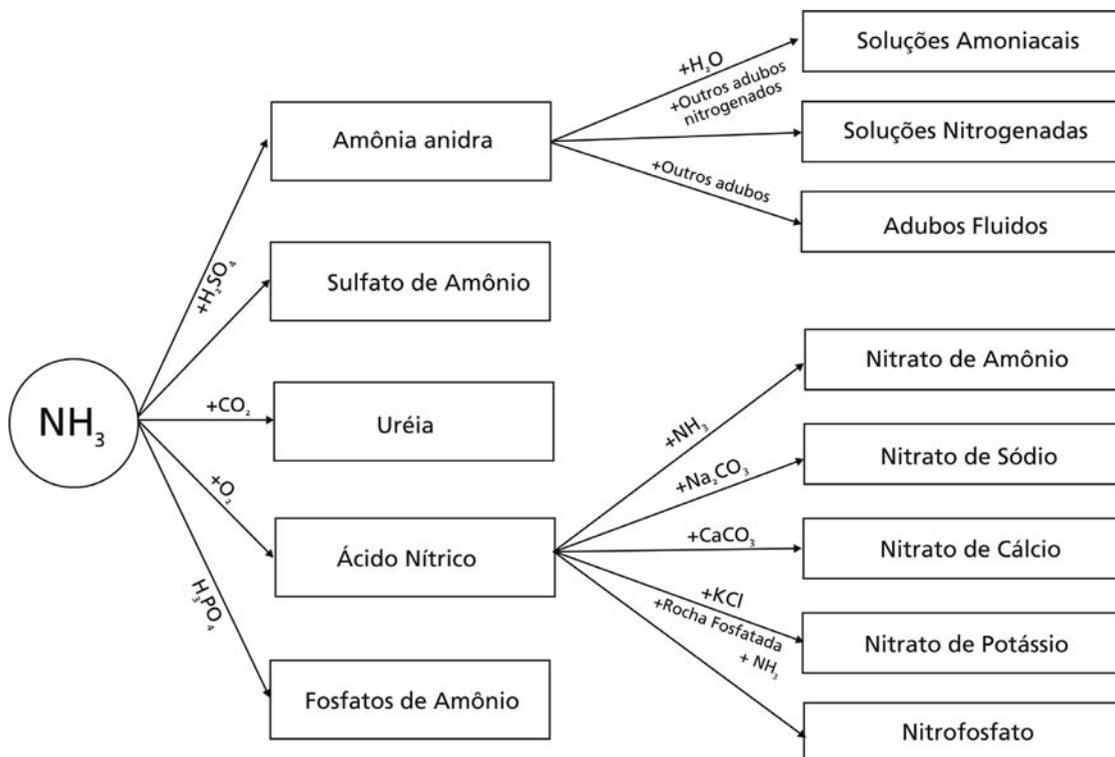


Figura 4.1 - Amônia como chave para a produção de adubos.

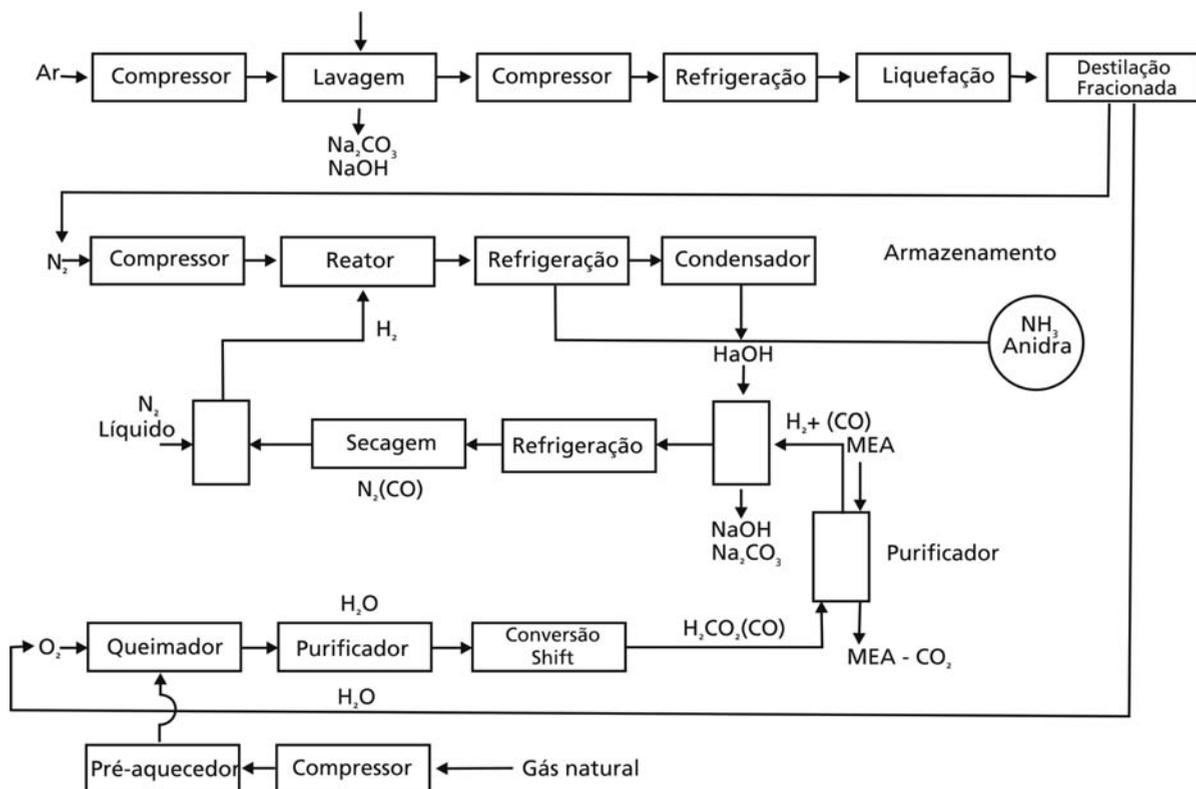


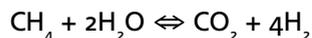
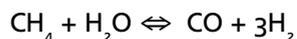
Figura 4.2 - Fluxograma para a produção de amônia.

As etapas principais na fabricação da amônia são as seguintes:

- (1) preparação do gás de síntese;
- (2) conversão do monóxido de carbono;
- (3) purificação do gás;
- (4) síntese.

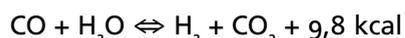
#### 4.2.1.1. Preparação do gás

A decomposição do gás natural (a fonte de H mais usada) em uma atmosfera de vapor se faz em dois passos mediante o uso de um pirrolisador primário e de outro secundário na presença de um catalisador de níquel:



Compostos de enxofre que provocariam a inativação de catalisadores são separados por óxido de ferro, que extrai o  $\text{H}_2\text{S}$ , e pelo carvão ativo, que separa os produtos orgânicos.

A conversão do CO se faz com água na presença de catalisadores (ferro e crômio) em temperaturas relativamente baixas:



A eliminação de  $\text{CO}_2$  se faz com monoetanolamina ou por uma solução de carbonato de potássio.

A purificação final do gás de síntese, que ainda contém CO e  $\text{CO}_2$  em proporções suficientes para envenenar os catalisadores, pode ser feita por metanação a 287-400°C, na presença de catalisador de níquel, ou por absorção em uma solução de acetato de cobre ou ainda por lavagem em  $\text{N}_2$  líquido, processo este pouco usado porque é muito caro.

#### 4.2.1.2. Obtenção do $\text{N}_2$

O  $\text{N}_2$  do ar é separado por liquidação através das operações de: purificação, compressão e destilação fracionada.

#### 4.2.1.3. Síntese

A síntese da amônia consiste numa reação isotérmica entre N e H, sob pressão elevada e temperatura moderadamente alta em presença de catalisadores.

O gás comprimido entra nos reatores que possuem o leito do catalisador. O calor gerado pela reação é aproveitado para esquentar os gases que saem dos reatores. A amônia condensada é separada dos gases que não reagiram, os quais são reciclados.

A Tabela 4.2 dá as condições e o rendimento dos principais processos empregados na fabricação da amônia.

Tabela 4.2 - Condições e rendimento na síntese da amônia.

Processo	Pressão atm	Temp. °C	% de Conversão por passagem
Fauser - Montecatini	300	500	30
Lummus	250	500	15
Claude	600	600	50
Casale	600	500	25

#### 4.2.1.4. Características

A Tabela 4.3 contém as principais características de  $\text{NH}_3$ .

Tabela 4.3 - Principais características da amônia.

Características	Valor
% de N (em peso)	82
Peso molecular	17,03
Temperatura crítica	132,4°C
Pressão crítica	115,5 atm
Calor de vaporização (-33,33°C)	1061 cal/g
Densidade do líquido (0°C)	637,5 g/L
Densidade do vapor (1 atm., 0°C)	0,77 g/L
Temperatura de ebulição	- 33,3°C
Temperatura de congelamento (1atm.)	- 77,7°C

#### 4.2.2. Sulfato de amônio

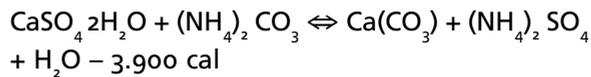
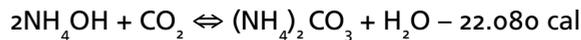
A maior parte do  $\text{NH}_3$  usado na produção do sulfato de amônio (SA) é obtida como subproduto das formas de coque e da manufatura de caprolactama. O SA pode também ser feito sinteticamente.



O teor de N é, usualmente, de 21% e o de S, de 24%.

O processo tem lugar em um reator onde o ácido sulfúrico e a amônia superaquecida são pulverizados sobre uma solução supersaturada de SA. Os cristais mantidos em suspensão são drenados, separados por filtração, secos com ar quente, resfriados e revestidos.

O SA pode ser obtido, também, pelo processo de Merseburg, em que o  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , subproduto da fabricação do  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , é tratado com amônia e  $\text{CO}_2$ .



O  $\text{CaCO}_3$  é removido por filtração e o sulfato de amônio é concentrado a vácuo. O processo tem interesse para países como o Brasil, onde há grandes sobras de fosfogesso.

Características: peso molecular 132, densidade 1,77, ponto de fusão  $235^\circ \text{C}$  (decomposição), solubilidade em água (g/100g):  $0^\circ \text{C}$  0;  $100^\circ \text{C}$  103,8.

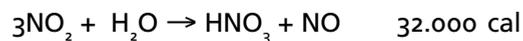
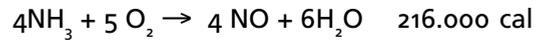
#### 4.2.3. Cloreto de amônio

É geralmente obtido como subproduto do Processo Solvey para produção de soda cáustica. Uma solução de cloreto de sódio é amoniada e depois carbonatada. Formam-se  $\text{NaHCO}_3$  e  $\text{NH}_4\text{Cl}$ . Aquele é separado por filtração e convertido em soda por aquecimento.

Características: peso molecular 53, densidade 1,53, ponto de fusão  $340^\circ \text{C}$  (decompõe-se), ponto de ebulição  $520^\circ$  (sublima), solubilidade em água (g/100g):  $0^\circ \text{C}$  29,7;  $100^\circ \text{C}$  75,8.

#### 4.2.4. Ácido nítrico

O ácido nítrico é produzido oxidando-se a amônia com ar a uma temperatura de  $950^\circ \text{C}$  na presença de um catalisador de platina. O gás resultante é absorvido em água para formar  $\text{HNO}_3$ . As reações essenciais são:



O processo se dá em duas etapas, a saber:

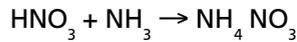
- (1) **Oxidação** - A amônia é vaporizada a cerca de  $120^\circ \text{C}$ ; o vapor quente é misturado com o ar filtrado, comprimido e aquecido. A mistura de gás passa sobre o "sanduíche" de malhas de fios que é o catalisador. A reação exotérmica é auto sustentada entre  $\text{NH}_3$  e  $\text{O}_2$ , iniciada com ajuda de um aquecedor elétrico ou uma tocha de hidrogênio. Cerca de 95% do  $\text{NH}_3$  é convertido em óxidos de nitrogênio, que passam por um trocador de calor.
- (2) **Absorção** - O gás flui para um condensador resfriado à água, em que o ácido é condensado a 20-25%. Como as reações de oxidação são exotérmicas, o abaixamento da temperatura e a elevação da pressão deslocam o equilíbrio no sentido da formação do  $\text{HNO}_3$ , e reações desfavoráveis são evitadas.

Características: peso molecular - 63,02; ponto de fusão -  $41,6^\circ \text{C}$ ; ponto de ebulição (08% de  $\text{HNO}_3$  a 760 mm)  $120,5^\circ \text{C}$ ; densidade ( $\text{HNO}_3$  a 68%,  $20^\circ \text{C}$ ) - 1,41.

#### 4.2.5. Nitrato de amônio

Além do seu uso como fertilizante, grande parte do Nitrato de Amônio (NA) é usada na produção de dinamite, explosivos, combustível para foguetes e é misturada com 6% de óleo combustível como substituto de dinamite. No Brasil sua venda é controlada pelo Exército, sendo o produto misturado com pequena proporção de KCl.

A reação entre amônia e ácido nítrico para produzir NA é uma simples reação ácido – base de neutralização:



A amônia vaporizada e superaquecida e o ácido nítrico são borrifados ou injetados abaixo do nível do neutralizador. O calor desenvolvido na reação é suficiente para concentrar a solução neutralizada até cerca de 83%. Segue-se concentração a 95-96% e bombeamento para o topo da torre de perolação. Caindo para o fundo da torre através de uma contracorrente de ar, as gotas da solução esfriam e solidificam. Os grânulos sólidos são coletados, peneirados para eliminar os demasiadamente grandes e levados para o secador, onde a umidade é reduzida a 0,5% ou menos. O NA seco e resfriado é revestido com cerca de 3% da argila ou outro agente antiempedante (PESEK *et al.*, 1971). A granulação do NA pode também ser feita em tacho, como descreve Skauli (1977). O NA tem 33,5 a 34,0% de N, metade na forma nítrica e metade na amoniacal.

Características físicas principais: peso molecular – 80; densidade – 1,73; ponto de fusão – 170° C; ponto de ebulição – 210° C, solubilidade em água (g/100g): 0° C 118,3; 100° C 87,1.

#### 4.2.6. Sulfonitrato de amônio

Obtido granulando-se NA em núcleo de SA e depois revestindo o produto com um agente condicionador. Pode também ser produzido como sal duplo de SA e NA. Contém 26% de N.

#### 4.2.7. Nitrato de cálcio

É o produto da reação entre ácido nítrico e calcário ou cal moída.

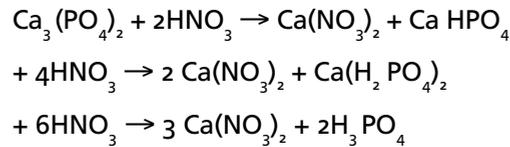


É também obtido como subproduto da fabricação de nitrofosfatos (GRUNDT, 1977-b).

A reação, no primeiro caso, é conduzida em tanques revestidos de tijolos a prova de ácido, e a solução é neutralizada com mais amônia e cal.

Depois da remoção de borras, a solução é concentrada a vácuo e adiciona-se NA para elevar o teor de N a 15,5%. Segue-se evaporação e perolação, secagem e resfriamento.

No segundo caso tem-se:



O líquido que sai do reator é resfriado, o que pode precipitar o nitrato de cálcio, que é então separado por centrifugação ou filtração a vácuo.

Características físicas principais: peso molecular – 164, densidade – 2,50; ponto de fusão – 561° C, solubilidade em água (g/100g): 0° C 102; 100° C 364.

#### 4.2.8. Nitrato de sódio

O nitrato de sódio “natural” é o salitre do Chile. É obtido por beneficiamento dos “caliches”, que contêm, além do  $\text{NaNO}_3$ :  $\text{NaCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , sais de Ca, Mg e K, sais de B e de I. Alguns detalhes da obtenção são resumidos por Malavolta (1981).

O  $\text{NaNO}_3$  sintético resulta das reações:



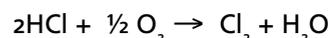
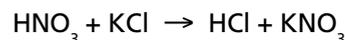
Os gases são oxidados por  $\text{HNO}_3$  e eliminados. As principais características do nitrato de sódio, que tem 15,5% de N, são as seguintes: peso molecular – 85; densidade 2,26; ponto de fusão 307° C; ponto de ebulição 380° C (decompõe-se); solubilidade em água (g/100g): 0° C 73; 100° C 180.

#### 4.2.9. Nitrato de potássio

O nitrato existe em pequenas minas na Índia, Egito, China e no caliche na proporção de 2-3%, o que permite seu aproveitamento.

Há pelo menos duas vias para obtenção do  $\text{KNO}_3$  sintético:

O processo usado nos EUA segue as reações:



O oxidante, na segunda reação, pode ser o próprio  $\text{HNO}_3$  ou  $\text{MnO}_2$  (YUFERA e DORRIEN, 1973, p.115-116).

Em Israel, segundo Slack (1968, p.328-330), a obtenção se baseia na mesma reação, sendo o HCl removido por um solvente orgânico parcialmente miscível com  $\text{H}_2\text{O}$ , em temperatura de 0-10° C. O  $\text{KNO}_3$  é cristalizado e separado. O HCl é separado do solvente, ambos sendo reciclados.

O  $\text{KNO}_3$  tem 14% de N e 46% de  $\text{K}_2\text{O}$ .

Características físicas: solubilidade em água a 0°C 14 g/100g; a 30°C 44 g/100; ponto de fusão 332°C.

#### 4.2.10. Nitrocálcio, nitrocal, canitro, nitro-cal-amonion

Resulta da adição à solução de NA, antes da perolação, de carbonato de cálcio em pó ou calcário calcítico ou dolomítico moído para melhorar as propriedades físicas durante o armazenamento. No Brasil, foram produzidos dois tipos: um com 20,5% de N total (10,2% nítrico e 10,3% amoniacal), 9-10% de CaO e 6-8% de MgO; outro com 27,0% de N total (13,5% em cada forma), 4-5% de CaO e 2-3% de MgO.

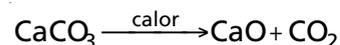
#### 4.2.11. Nitrosulfocálcico

É obtido granulando-se NA e fosfogesso ou o segundo sobre núcleos do primeiro. O produto tem 27% de N, 5% de Ca e 4% de S.

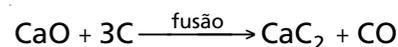
#### 4.2.12. Calciocianamida

Um dos processos mais antigos para a fixação do  $\text{N}_2$  desdobra-se nas seguintes etapas:

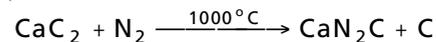
(1) obtenção de cal virgem



(2) produção de carboneto de cálcio



(3) nitrogenação



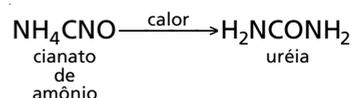
O produto fortemente cáustico pode ser granulado ou em pó. Tem 60-65% de calciocianamida, 15-20% de  $\text{Ca(OH)}_2$  e 10-21% de C livre. Possui 21-22% de N solúvel em água.

#### 4.2.13. Fosfatos de amônio

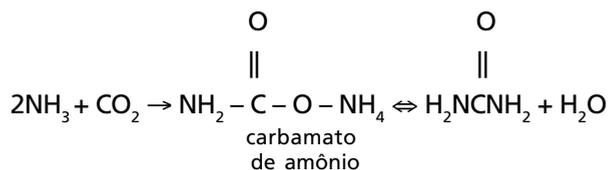
Fosfato de monoamônio, fosfatos de metal e amônio, polifosfatos de amônio são considerados fontes de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , pois o teor de fósforo excede sempre o de N.

#### 4.2.14. Uréia

Wohler foi o primeiro a obter a uréia por síntese em 1828 – através da isomerização do isocianato de amônio, o que marcou o início da Química Orgânica, abalando a teoria da “força vital”, segundo a qual compostos contendo carbono somente poderiam ser produzidos no organismo vivo, estando a uréia entre eles.

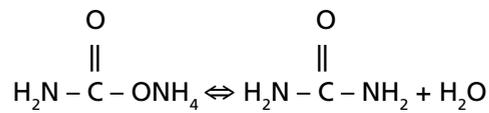


Do mesmo modo que acontece com o nitrato de amônio, a uréia é usualmente obtida nas fábricas de  $\text{NH}_3$  aproveitando as grandes quantidades de  $\text{CO}_2$  disponíveis como subproduto da obtenção de  $\text{H}_2$  (ver 4.2.1.1.) (YUFERA e DORRIEN, 1973, p.119-124). Na reação entre  $\text{NH}_3$  e  $\text{CO}_2$  forma-se carbamato de amônio como intermediário



A primeira parte do processo, em que se forma o carbamato de amônio, tem lugar em fase gasosa, as pressões parciais dos reagentes sendo maiores que os valores encontrados quando da dissociação desse produto, está em equilíbrio. Há libertação de calor e a dissociação do carbamato de amônio, mantida constantemente à pressão, aumenta com a temperatura. Em geral nos reatores e temperatura varia entre 180° e 200°C e a pressão é de 170-400 atm a qual se opõe à dissociação. Devido a

essas condições de transformação deste em uréia se dá na fase líquida aquecida:



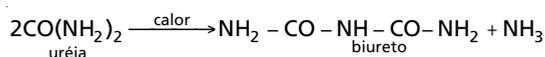
A reação de desdobramento do carbamato em CO<sub>2</sub> e NH<sub>3</sub> corresponde a um equilíbrio entre as fases líquida e gasosa, sendo facilitada quando cai a pressão e aumenta a temperatura. A solução pode conter 75-90% de uréia.

Dependendo do grau de recuperação da NH<sub>3</sub> e do CO<sub>2</sub> que deixaram de reagir, os processos de fabricação de uréia se classificam em três grupos:

- ciclo único;
- reciclagem parcial;
- reciclagem total.

De acordo com Naciones Unidas (1969, p.124-125), os principais problemas na fabricação da uréia são os seguintes:

- (1) *corrosão* – controlada em parte pelo material empregado no revestimento dos reatores (titânio, por exemplo) e pelas condições de fabricação (introdução de pequenas quantidades de O<sub>2</sub>);
- (2) *formação de biureto* – o biureto, também chamado alofanamida, se forma por aquecimento da uréia a 150-160°C, em certas fases da fabricação, como nos granuladores por evaporação; nas instalações para cristalização apenas formam-se quantidades menores desse produto; evita-se a formação excessiva de biureto diminuindo-se a temperatura e o tempo de residência; em geral, os limites garantidos de teor de biureto são de 0,3%, no produto cristalino, e 1%, nos obtidos por evaporação e granulados; a legislação brasileira condena a uréia com mais de 0,3% para aplicação foliar e mais de 1,5% para uso no solo:



- (3) *aproveitamento da NH<sub>3</sub> e do CO<sub>2</sub> que não reagiram* – é, dentro de limites, inversamente proporcional ao custo das instalações; a maioria das fábricas usa reciclagem total, o que não

deixa praticamente sobras das suas matérias-primas, sendo, porém, as que exigem maiores inversões de capital por sua complexidade.

#### 4.2.14.1. Obtenção

As unidades de produção de uréia diferem fundamentalmente no destino que é dado aos gases que saem do reator; umas utilizam-nos na preparação de outros adubos nitrogenados (nitrato e sulfato de amônio, fosfatos de amônio) ou de ácido nítrico; outras fazem-no parcialmente; outras, ainda, como se viu, reciclam-nos totalmente.

- (1) *Ciclo único - Vantagem: menor inversão.* A viabilidade econômica, entretanto, depende do aproveitamento da NH<sub>3</sub> no preparo de outros produtos e do baixo custo do CO<sub>2</sub>. O processo está esquematizado na Figura 4.3.
- (2) *Reciclagem parcial - O CO<sub>2</sub> não convertido em uréia é absorvido em mono ou em trietanolamina; o NH<sub>3</sub> volta ao reator (ver Figura 4.4).*
- (3) *Reciclagem total - O NH<sub>3</sub> e o CO<sub>2</sub> residuais podem ser aproveitados de diversos modos:*
  - a – são absorvidos por água sob pressão, voltando ao reator como uma solução de carbamato de amônio;
  - b – os dois gases são recolhidos em óleo leve de parafina e, misturados com este, são reciclados na forma de carbamato, depois de passar por um depurador;
  - c – o NH<sub>3</sub> e o CO<sub>2</sub> são separados por absorventes seletivos e depois reciclados. A Figura 4.5 ilustra o processo de reciclagem total.
- (4) *Cristalização, perolação e granulação - A cristalização se faz a vácuo, seguindo-se separação da uréia por centrifugação e secagem.*

A perolação se processa em vários passos: concentração; evaporação como película descendente dando um produto com 98-99% de uréia; bombeamento da uréia fundida para o alto da torre de perolação de onde, ao cair, formam-se as pérolas por resfriamento de aglutinação; secagem e embalagem do produto.

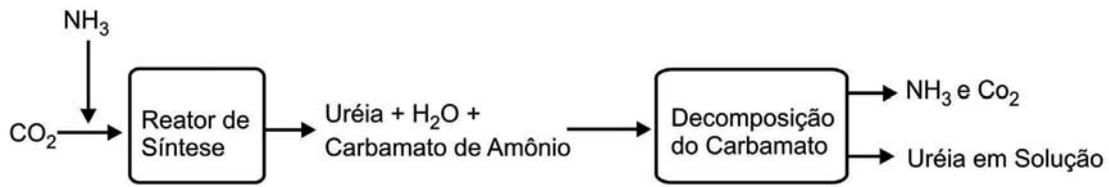


Figura 4.3 - Esquema de fabricação de uréia por ciclo único.

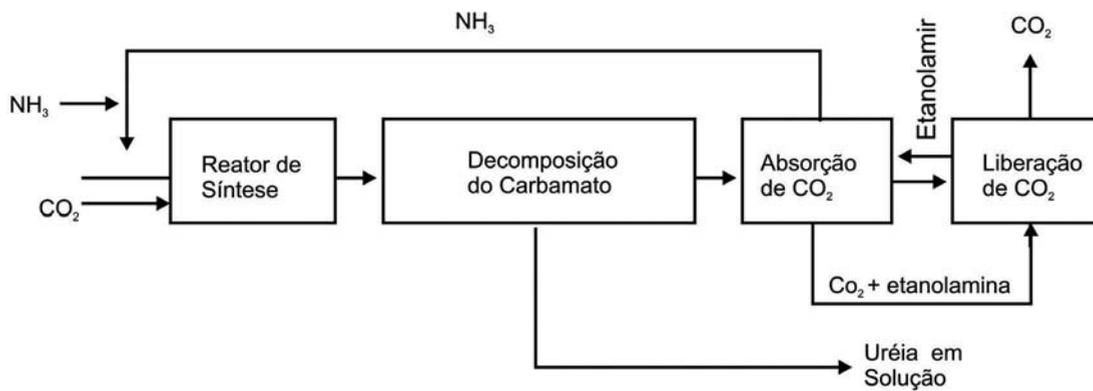


Figura 4.4 - Esquema de fabricação de uréia por reciclagem parcial.

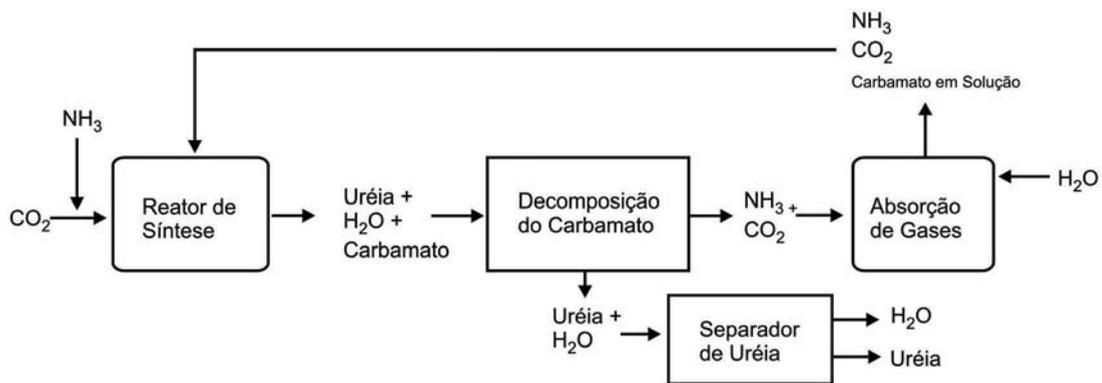


Figura 4.5 - Esquema de fabricação de uréia por reciclagem total.

A granulação pode ser feita em tachos (ou patos) que recebem a uréia fundida. No processo desenvolvido pela *Norsk Hydro*, obtêm-se grânulos de 2-4 mm ou ainda maiores (SKAULI, 1977); em fábrica piloto, o aumento no teor de biureto do produto final foi consistentemente menor que 0,1%.

#### 4.2.14.2. Características

As principais características da uréia aparecem na Tabela 4.4. A uréia é o adubo nitrogenado sólido de maior concentração que se conhece. Trata-se de um produto orgânico não ionizável, por isso, tem menor tendência do que os sais amoniacais e os nitratos para aumentar a pressão osmótica da solução do solo.

Tabela 4.4 - Principais características da uréia.

Item	Valor
Cor	Branco cristalino
Teor de N %	45
Ponto de fusão	132,7°C
Densidade (g/ml)	1,335
Solubilidade (g/100 ml d'água) a 25°C	119
Ponto higroscópico (umidade crítica) a 30°C	72

#### 4.2.15. Fertilizantes de liberação lenta

Os fertilizantes nitrogenados minerais estão sujeitos a perdas diversas, como lixiviação e volatilização. O mesmo acontece com os orgânicos depois da mineralização. No caso dos primeiros, é possível, através de práticas melhoradas de manejo (PMM), aumentar o aproveitamento do nitrogênio. É possível, em princípio, fazê-lo também mediante o uso de fertilizantes de liberação lenta, quase todos derivados da uréia (POWELL, 1968; HAUCK e KOSHINO, 1971). Os principais são descritos em seguida.

##### 4.2.15.1. Uréia revestida de enxofre

A uréia granulada ou perolada é recoberta de S elementar e de cera. O produto contém 35% de N

(76% de uréia) e 19% de enxofre (S). O enxofre fundido é pulverizado sobre a uréia pré-aquecida.

##### 4.2.15.2. Produtos da condensação de uréia e aldeído

São vários os produtos da condensação de uréia e aldeído, cuja estrutura é dada na Figura 4.6: uréia formaldeído, uréia-Z (uréia acetaldeído), crotonilidene diuréia, isobutileno diuréia, condensação da uréia com glioxal. Tais produtos têm seu uso limitado pelo custo.

#### 4.2.16. Soluções nitrogenadas<sup>2</sup>

##### 4.2.16.1. Aquamônias

Resulta da mistura de amônia anidra com água, o que pode ser feito na indústria ou no campo. A mais usada possui 25% de amônia, o que dá 20% de N.

##### 4.2.16.2. Nitrato de amônio

Produto da dissolução do NA em água, geralmente acompanhado de fontes solúveis de outros fertilizantes. A solução mais comum tem 85% de NA.

##### 4.2.16.3. Nitrato de amônio – uréia – amônia

Podem ser misturados em proporções diversas. Têm a vantagem de apresentar menor pressão de vapor que a aquamônia e teor mais alto de N (37 – 49%).

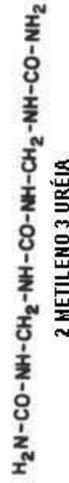
##### 4.2.16.4. Solução de uréia e nitrato de amônio (URAN)

A solução não pressurizada com 32% de N é uma das soluções nitrogenadas mais usadas, inclusive no Brasil. Normalmente contém 33-35% de uréia e 45-47% de NA.

##### 4.2.16.5. Amônia enxofre

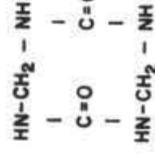
O enxofre em pó ou fundido se dissolve na amônia anidra. Possui 70-74% de N e 20-24% de S. A pressão de vapor é pouco diferente daquela da amônia, motivo pelo qual o armazenamento, o transporte e a aplicação se fazem praticamente do mesmo modo.

**URÉIA FORM - MISTURA DE METILENE URÉIAS**



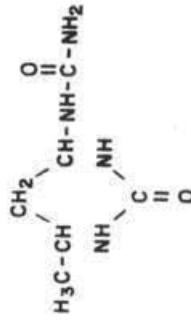
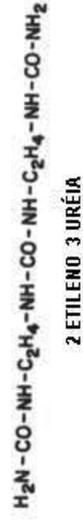
POSÍVEIS

3 METILENO 4 URÉIA  
4 METILENO 5 URÉIA

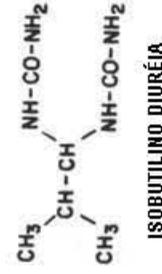


POSSÍVEL POLÍMERO  
COM LIGAÇÃO CRUZADA

**URÉIA Z - MISTURA DE ETILENO URÉIAS**



CROTONILIDENE DIURÉIA



ISOBUTILINO DIURÉIA

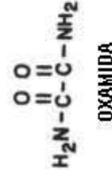
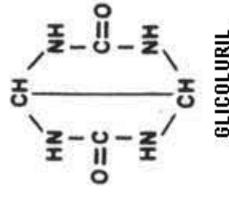
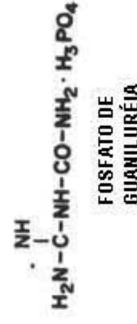
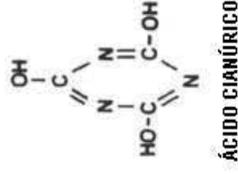
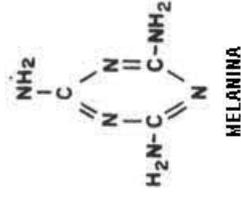


Figura 4.6 - Fórmulas estruturais de fertilizantes de liberação lenta.

### 4.3. Brasil: situação dos fertilizantes nitrogenados

Em 1950 a produção nacional de fertilizantes correspondeu a 100 t de N e 6.000 t de  $P_2O_5$ . Em pouco mais de meio século, os números mudaram, como se pode ver na Tabela 4.5. Em 2005 foram produzidas cerca de 701 mil t de N, um crescimento de 1.000 vezes. A produção nacional corresponde a apenas 34,7% do total.

As empresas produtoras, sua capacidade instalada e localização estão na Tabela 4.6. A fonte de hidrogênio é o gás natural. O total da capacidade instalada está perto de 1 milhão de t de N (959 mil t).

**Tabela 4.5** - Produção nacional e importações brasileiras de nitrogenados (2005).

Fertilizante	Produção	Importação	Total
	— 1.000 t de produto —		
Sulfato de amônio	217	1.371	1.588
Uréia	982	1.597	2.579
Nitrato de amônio	366	545	911
Fosfato monoamônio	914	1.204	2.118
Nitrato de cálcio	-	34	34
Salitre potássico	-	147	147

Fonte: Daher (2006)

**Tabela 4.6** - Capacidade instalada de produção.

Fertilizante	Produção	Importação	Total
	— 1.000 t de produto —		
Sulfato de amônio	217	1.371	1.588
Uréia	982	1.597	2.579
Nitrato de amônio	366	545	911
Fosfato monoamônio	914	1.204	2.118
Nitrato de cálcio	-	34	34
Salitre potássico	-	147	147

Fonte: ANDA, 2004.

**Tabela 4.7** - Consumo aparente (1000 t) e razão N:P:K.

Ano	N	$P_2O_5$	$K_2O$	N:P:K
1950	10	50	25	1: 5:2,5
1977	730	1454	899	1: 1,99: 1,23
2005	1933	2834	3222	1: 0,46: 1,66

O aumento no consumo total foi acompanhado dos aumentos por unidade de área e por habitante. A variação na proporção dos três macronutrientes primários favoreceu, inicialmente (1950-77), o  $P_2O_5$ , consequência provável da abertura de novas áreas, particularmente nas terras pobres e ácidas do cerrado. Mais recentemente, porém, é o consumo de  $K_2O$  que vem aumentando com mais rapidez. Causas prováveis: expansão das culturas de soja, cana-de-açúcar e café, mais exigentes em potássio. A proporção atual, 1,00: 0,68: 0,60, mostra que o País ainda não atingiu o patamar que define agricultura desenvolvida ou estável, na qual o consumo de N e  $K_2O$  são próximos e o de  $P_2O_5$  se faz em menor proporção. O consumo mundial, em 2003, mostra a participação significativamente maior do nitrogênio (dados da IFA reproduzidos pela ANDA, 2004):

N - 85.668 mil t

$P_2O_5$  - 34.651 mil t

$K_2O$  - 24.686 mil t

Proporção - 1,0 : 0,40 : 0,28. Considerando-se o consumo total, o Brasil em 2003 ocupou o quarto lugar no conjunto de todos os países, como se vê na Tabela 4-8. Notar a participação relativamente.

**Tabela 4.8** - Posição do Brasil no consumo mundial.

País	N		$P_2O_5$		$K_2O$	
	mil t	% do total	mil t	% do total	mil t	% do total
China	24.400	28	9.700	28	4.800	19
EUA	11.000	13	4.000	11	4.650	18
Índia	11.076	13	4.124	11	1.598	6
Brasil	2.295	2.6	3.320	9.6	3.770	15
França	2.331	2.7	721	2.0	930	4

Fonte: dados da IFA, citados pela ANDA (2004).

Indicam-se as quantidades de N, P e K aplicadas (fertilizantes) exportadas pelas principais culturas no ano de 2004. Tendo em conta que o consumo e as quantidades exportadas são as seguintes, verificou-se que um déficit considerável de N, que seria ainda maior se as perdas na erosão e volatilização fossem consideradas. Há, por outro lado, saldo positivo de fósforo e de potássio.

$$\begin{aligned}
 N &\rightarrow 2.295.000 - 5.666.400 = - 3.371.400 \\
 P_2O_5 &\rightarrow 3.320.000 - 1.445.088 = + 1.874.912 \\
 K_2O &\rightarrow 3.770.000 - 2.812.209 = + 957.792
 \end{aligned}$$

#### 4.4. Uso

##### 4.4.1. Solo

A Figura 4.7 mostra o nitrogênio no sistema solo-planta-atmosfera.

O papel do N no sistema é aumentar a concentração do elemento, principalmente como  $NO_3^-$  na solução do solo (9 milimoles  $L^{-1}$  é a média). Nitrogênio amoniacal, em proporção muito menor, e aminoácidos resultantes da reação 1 também podem ser absorvidos. Fertilizantes, como a uréia e o nitrato de potássio, podem ser aplicados diretamente nas folhas, que são capazes também de absorver nitrogênio gasoso como dióxido,  $NO_2$  (SPARKS *et al.*, 2001). Por outro lado, as folhas podem perder N como  $NH_3$  (WETSELAAR e FARQUHAR, 1980).

O uso do N, como o de qualquer outro macronutriente, obedece à equação geral de adubação.

$$N(\text{fertilizante}) = [N(\text{exigência}) - N(\text{fornecimento})] \times f,$$

em que:

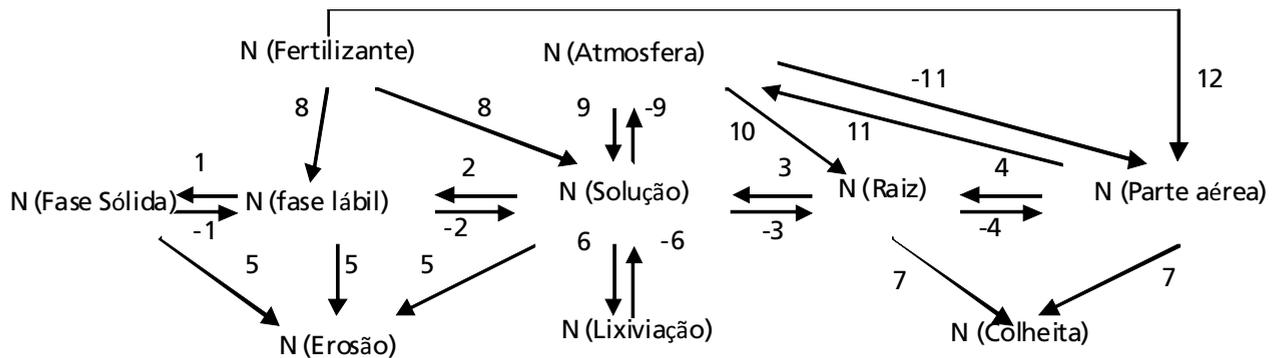
$N(\text{fertilizante})$  = dose de N a ser aplicada;

$N(\text{exigência})$  = quantidade total necessária para a formação de colheita;

$N(\text{fornecimento})$  = quantidade que o solo é capaz de fornecer no ciclo da cultura ou no ano através da mineralização da matéria orgânica ou dos restos da cultura anterior.

Extração é sinônimo de exigência, refere-se ao conteúdo de N na planta inteira; exportação (Tabela 4.9) é parte do todo. A absorção que reflete a necessidade não é uniforme durante o ciclo de vida, no caso de cultura temporária, ou no ano, quando se trata de cultura perene.

A contribuição da mineralização pode ser avaliada no laboratório mediante ensaio de incubação fechada ou aberta no solo. Tal método, entretanto, não pode ser usado, na prática, para se fazer recomendação de adubação nitrogenada. Há métodos expeditos, empregados em outros países, em que a contribuição do solo é avaliada mediante análise de frações nitrogenadas relacionadas com a disponibilidade do elemento ou através da determinação de  $NO_3^-$  em condições fixas de tempo e localização.



a) Compartimentos – fase sólida (matéria orgânica); fase lábil (complexo de troca para  $NH_4^+$ ); solução do solo; planta – raiz e parte aérea (extração) e atmosfera. b) Reações de transferência: 1, 2 – mineralização; -1, -2 imobilização; 3 absorção, -3 excreção; 4 transporte, -4 redistribuição; 5 perda por erosão; 6 lixiviação, -6 ascensão; 7 exportação; 8 adubação; 9 fixação (descarga), -9 volatilização; 10 fixação simbiótica; 11 absorção pela folha, -11 excreção; 12 N (fertilizante) • N (parte aérea)

Figura 4.7 - O sistema N solo-planta-atmosfera.

**Tabela 4.9 - Exportação de N, P e K pelas principais culturas**

Cultura	Produção Toneladas	N	P	K	N	P	K
		Kg/t			Total Toneladas		
Algodão	2.840.463	22,30	3,00	18,40	63.342	8.521	52.265
Amendoim	256.373	34,00	2,00	9,00	8.717	513	2.307
Arroz em casa	11.139.642	12,40	2,20	4,40	138.132	24.507	49.014
Aveia	554.613	20,00	3,00	7,00	11.092	1.664	3.882
Batata	3.033.610	3,60	0,22	3,30	10.921	667	10.011
Cacau	234.730	33,00	2,00	8,00	7.746	469	1.878
Café beneficiado	2.521.982	16,66	0,99	16,66	42.016	2.497	42.016
Cana-de-açúcar	444.932.352	1,30	0,08	1,10	578.412	35.595	489.426
Cebola	1.134.966	1,80	0,50	2,80	2.043	567	3.178
Cevada	358.092	20,00	3,00	7,00	7.162	1.074	2.507
Feijão	3.487.807	35,40	4,00	15,30	123.468	13.951	53.363
Fumo	526.000	30,00	6,00	50,00	15.780	3.156	26.300
Laranja	18.173.231	2,00	0,20	1,50	36.346	3.635	27.260
Mamona	109.333	18,66	6,00	6,00	2.040	656	656
Mandioca	27.633.757	2,00	0,20	1,95	55.268	5.527	53.886
Milho	42.198.375	22,60	4,70	6,50	953.683	198.332	274.289
Soja	55.443.812	60,60	5,20	18,70	3.359.895	288.308	1.036.799
Sorgo	1.464.549	17,00	4,00	5,00	24.897	5.858	7.323
Tomate	2.590.000	2,40	3,60	2,70	6.216	9.324	6.993
Trigo	4.511.313	25,00	5,00	4,00	112.783	22.557	18.045
Triticale	306.655	21,00	3,00	6,00	6.440	920	1.840
Total	-	-	-	-	5.566.400	628.299	2.163.238

No Brasil são usadas duas opções para recomendar a dose de N.

A Comissão de Fertilidade do Solo RS/SC (1999) recomenda a dose de N em função do teor de matéria orgânica. Um exemplo é dado na Tabela 4.10.

**Tabela 4.10** - Recomendação de adubação para o milho - RS/SC.

Teor de matéria orgânica no solo — % —	Expectativa de rendimento		
	< 3 t/ha	3 – 6 t/ha	> 6 t
	kg N/ha		
< 2,5	80	130	160
2,6 – 3,5	70	110	140
3,6 – 4,5	60	90	120
4,6 – 5,5	50	80	100
> 5,5	≤ 40	≤ 65	≤ 80

A EMBRAPA Cerrados (SOUSA e LOBATO, 2002) recomenda a dose de N com base no fornecimento pelo solo (Tabela 4.11) e a exigência da cultura para um dado nível de produção. Considera  $f = 1,33$  (eficiência de 75%). Em um solo com 3% de matéria orgânica, a produção de 7 t de milho por ha é assim calculada:

$RNC = exigência = 7 \times 20 = 140$  kg (exigência de 20 kg de N por tonelada de grãos)

$SNS = capacidade de fornecimento pelo solo$  (1% de matéria orgânica fornece 30 kg de N)

$Dose\ de\ N\ (kg/ha) = (RNC - SNS) \times f$

Para a produção de 7 t por ha tem-se:

$dose\ de\ N = (140 - 3 \times 30) 1,33 = 66 \approx 70$  kg N/ha

De um modo geral, porém, as doses de N no Brasil são recomendadas com base nos resultados de um número limitado de experimentos de campo. As doses calculadas, devido ao fato mencionado, segundo o qual a exigência de N não é uniforme no ciclo ou no ano, e mais o comportamento do fertilizante no solo, fazem com que o total seja parcelado em duas ou mais aplicações nos períodos de maior demanda.

**Tabela 4.11** - Potencial de mineralização de nitrogênio e produtividade de milho obtida no cerrado com diferentes teores de matéria orgânica.

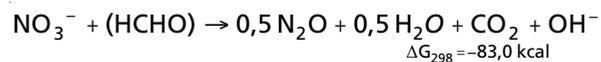
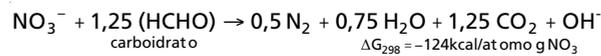
Teor médio de matéria orgânica — % —	Poder de Nitrogênio mineralizado <sup>(1)</sup> — kg/ha —	Produtividade de milho Observada ou estimada <sup>(2)</sup> — t/ha —
1	30 – 50	1,5
2	60 – 100	3,0 – 4,5
3	90 – 150	4,0 – 6,0
4	120 – 200	5,0 – 7,0

<sup>(1)</sup> Estimou-se uma taxa de mineralização anual de matéria orgânica de 3% e 5% e uma relação C/N de 11,5.

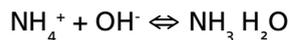
<sup>(2)</sup> Eficiência do uso de 75% para um perfil de solo explorado de, no mínimo, 60 cm.

As perdas de N do fertilizante, bem como daquele que vem da mineralização, ocorrem de diversas maneiras indicadas na Figura 4.7, números 5, 6, 9 e 11. Notar que somente o processo referente à erosão não tem volta. O nitrogênio lixiviado, desde que não atinja o lençol freático, pode subir por capilaridade, com a água que chega à camada arável do solo. As perdas por lixiviação dependem da fonte e das condições de aplicação, do solo e da queda pluviométrica. Essas variáveis podem explicar os diferentes resultados obtidos no Brasil, no caso da cana-de-açúcar. Salcedo *et al.* (1988) mediram perdas de cerca de 25 kg ha<sup>-1</sup>. Reichardt *et al.* (1982) verificaram perda de cerca de 6 kg por há, quando aplicaram 90 kg por ha e a chuva oscilou em torno de 1.500 mm por ano. Oliveira *et al.* (2002), empregando diversas doses de uréia marcada com <sup>15</sup>N, não detectaram lixiviação do fertilizante; houve, porém, no período experimental de 11 meses, lixiviação de 4,5 kg N ha<sup>-1</sup> proveniente da palha da cana-de-açúcar. Costa (1985) apresentou uma estimativa das perdas por erosão em cada uma das principais culturas. Os dados foram extrapolados por Malavolta (1992) para obter uma idéia, ainda que grosseira e temerária, do montante de tais perdas; chegou ao número 863 mil t de N.

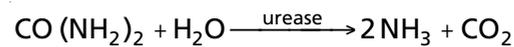
O  $\text{N-NO}_3^-$ , qualquer que seja a sua origem, em condições anaeróbicas, como ocorre nos campos de arroz inundados ou quando há encharcamento, pode servir como aceitador de elétrons para a oxidação de compostos orgânicos (e às vezes de inorgânicos) por bactérias principalmente, com a liberação de energia e de  $\text{N}_2$  ou  $\text{N}_2\text{O}$  que vão para a atmosfera (DELWICHE, 1981). Em solos arejados ocorre também a desnitrificação, pois há micro sítios onde a tensão de  $\text{O}_2$  é baixa, mas suficiente para que as reações se processem:



De acordo com Moreira e Siqueira (2006, p.361), a quantidade de N perdida pela desnitrificação varia de 5 a 15 kg de N por hectare e por ano, podendo corresponder a uns 20% do elemento aplicado como fertilizante. O N amoniacal, por sua vez, pode sofrer perda por volatilização da  $\text{NH}_3$ , quando o pH do solo está acima de 7,0:



A uréia pode perder N por volatilização devido à ação da enzima urease ativada pelo níquel e que é de distribuição universal no solo, plantas, animais e muitos microrganismos:



A amônia volatilizada pode, em parte, pelo menos, ser reabsorvida pelas folhas como se demonstrou, por exemplo, no caso do cafeeiro, usando-se uréia marcada com  $^{15}\text{N}$  (K. Reichardt, 2006, comunicação particular).

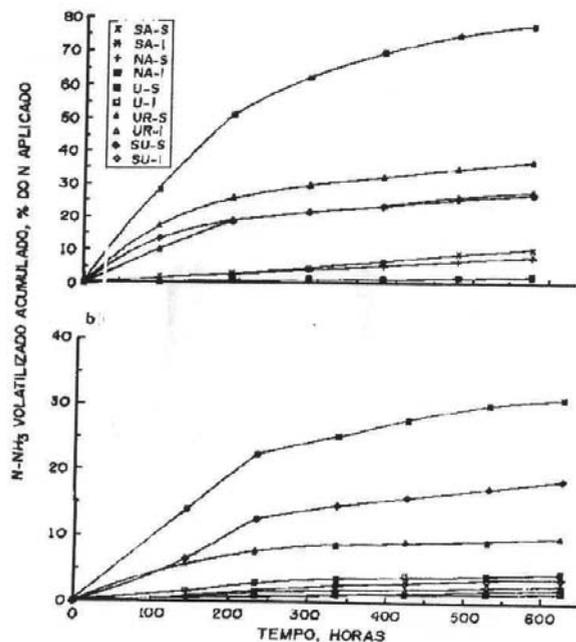
A aplicação de doses pesadas dos fertilizantes nitrogenados solúveis pode aumentar demasiadamente a pressão osmótica da solução do solo, danificando as raízes ou prejudicando a germinação das sementes. Tendo presente a necessidade não uniforme de N das culturas, o comportamento dos nitrogenados no solo e as possibilidades

de perdas, segue-se que, para fazer  $f \rightarrow 1$  na equação geral da adubação, é necessário um manejo adequado dos produtos. Manejo adequado quer dizer: usar a fonte certa, na época ou épocas de necessidade maior e com a localização indicada, localização essa que depende do fertilizante e da distribuição do sistema radicular.

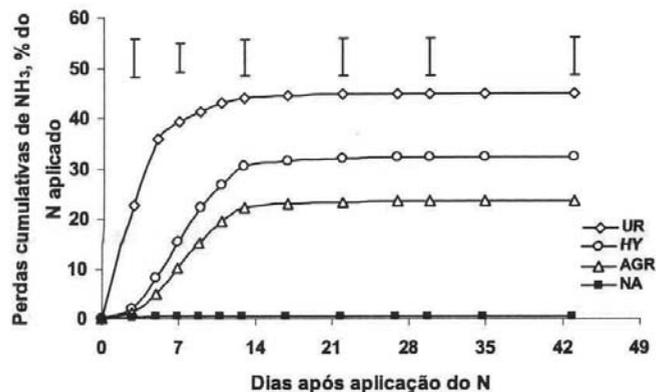
Nas culturas temporárias coloca-se pouco ou nenhum N no plantio. A maior proporção ou a totalidade é aplicada em uma ou mais coberturas próximas das raízes, incorporando-se quando possível. As culturas permanentes não recebem, como regra, N mineral no plantio, podendo receber fertilizante orgânico no sulco ou cova. Depois, durante o ano, aplica-se o fertilizante nitrogenado em cobertura embaixo da copa ou em área total, dependendo da densidade de plantio.

A aplicação da uréia em cobertura sobre o solo ou sobre restos da cultura anterior pode contribuir para as perdas por volatilização, diminuindo a eficiência da adubação, como se pode ver na Figura 4.8 e Tabela 4.12. Dependendo da cultura, pode-se evitar a perda mediante incorporação: o  $\text{NH}_4^+$  resultante do  $\text{NH}_3$  é adsorvido ao complexo de troca passando temporariamente a fazer parte da fase lábil. Uma alternativa para evitar a perda é o emprego de inibidores de urease em mistura ou impregnado na uréia.

Há muitos produtos desse tipo. Entre eles tem sido usado o NBPT, N-(n-butil) tiofosfórico triamida, o qual pode ser adicionado durante o processo de fabricação do fertilizante. A Figura 4.9 e a Tabela 4.13, reproduzidas de Cantarella *et al.* (2004), mostram o efeito do NBPT na volatilização e na produção do milho. Entretanto, embora a maioria dos experimentos conduzidos no Brasil e no exterior (CABEZAS *et al.* 1997) mostrem perdas por vezes consideráveis de N da uréia aplicados na superfície do solo. No ensaio conduzido por Oliveira e Caires (2003), não houve diferença significativa entre a produção obtida com uréia na superfície, uréia incorporada e o sulfato de amônio (Tabela 4.14).



**Figura 4.8** - Perdas acumuladas de N-NH<sub>3</sub> ao longo do tempo, provenientes da aplicação superficial (S) e incorporada (I) de uréia (U), nitrato de amônio (NA), sulfato de amônio (SA), uran (UR) e sulfuran (SU) na cobertura nitrogenada de milho. a: SPD; b: SPC.



**Figura 4.9**. Perdas de N por volatilização de NH<sub>3</sub> de fertilizantes aplicados na superfície de solos. NA: nitrato de amônio; UR: uréia; AGR: uréia tratada com NBPT antes da adubação; HY: uréia tratada com NBPT durante o processo de fabricação do fertilizante. Ensaio de Mococa. Barras verticais se referem à diferença mínima significativa (Tukey, P ≤ 0,05).

**Tabela 4.12** - Massa de mil grãos e produtividade do milho em SPD e SPC.

Fonte nitrogenada	Massa 1.000 grãos		N exportado		Produtividade	
	Superficial	Incorporado	Superficial	Incorporado	Superficial	Incorporado
	g		kg ha <sup>-1</sup>			
----- Sistema de plantio direto -----						
Sulfato de amônio	350	337	128	134	10.042	9.256
Nitrato de amônio	356	343	131	140	9.536	9.860
Uréia	335	339	116	132	9.151	9.413
Uran	327	349	118	133	8.976	9.639
Sulfuran	321	354	123	132	8.776	10.460
Média	339	344	123	134	9.296	9.725
Entre fontes (DMS, Tukey, 0,05)	40 (ns)		37 (ns)		2.006 (ns)	
Entre modos de aplicação (DMS, Tukey, 0,05)	17 (ns)		16 (ns)		853 (ns)	
C.V. (%)	4,9		12,0		8,9	
----- Sistema de plantio direto -----						
Sulfato de amônio	380	396	129	124	9.428	9.644
Nitrato de amônio	385	369	144	121	9.818	9.470
Uréia	398	398	132	124	9.717	9.583
Uran	390	385	124	119	9.583	9.286
Sulfuran	394	383	131	130	9.812	8.947
Média	389	386	132	124	9.672	9.386
Entre fontes (DMS, Tukey, 0,05)	23 (ns)		29 (ns)		2.193 (ns)	
Entre modos de aplicação (DMS, Tukey, 0,05)	10 (ns)		12 (ns)		932 (ns)	
C.V. (%)	2,5		9,4		9,6	

**Tabela 4.13** - Resposta do milho à aplicação de adubos nitrogenados tratados ou não com inibidor de urease. Mococa.

Fonte de N	Produção de grãos		Perdas de NH <sub>3</sub>
	Média N s/ testemunha	Média 4 doses de N	
	kg/ha		% do N aplicado
Uréia	6960 a	6610 a	44,7
UR-HY	7440 ab	6950 ab	32,1
UR-AGR	7860 b	7460 b	23,5
NA	8164 b	7450 b	0,6

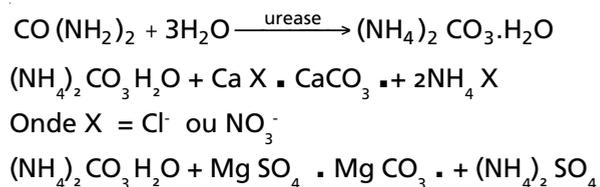
Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey (P = ≤ 0,05)

**Tabela 4.14** - Produção de grãos de milho em função de doses e modos de aplicação de fontes de nitrogênio em cobertura no sistema plantio direto.

Dose de N kg ha <sup>-1</sup>	Modos de aplicação de fontes de N				Média
	US <sup>(1)</sup>	UI <sup>(2)</sup>	SAS <sup>(3)</sup>	US+ SAS <sup>(4)</sup>	
	kg ha <sup>-1</sup>				
30	7011	7010	7098	6103	6805
60	7932	8019	7427	8405	7946
90	7588	8468	7812	7891	7940
120	8101	8571	8530	8264	8366
Média	7658	8017	7717	7666	
F dose	6,42*				
C.V. dose (%)	11,8		Y = 6595,00 + 15,59x		
F modo	0,64 <sup>ns</sup>		R <sup>2</sup> = 0,81**		
C.V. modo (%)	9,5				
F dose x modo	0,84 <sup>ns</sup>				

<sup>(1)</sup> Uréia em superfície na emissão da quarta folha. <sup>(2)</sup> Uréia incorporada ao solo na emissão da quarta folha. <sup>(3)</sup> Sulfato de amônio em superfície na emissão da quarta folha. <sup>(4)</sup> Metade da dose na forma de uréia em superfície na emissão da quarta folha e a outra metade na forma de sulfato de amônio em superfície na emissão da oitava folha. ns: não significativo, \* significativo p < 0,05 e \*\* significativo p < 0,01.

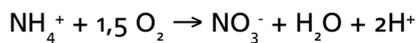
Como foi visto (item 4.2.14.), a uréia é o fertilizante mais produzido no Brasil e no mundo, também o que é justificado pelo custo de produção e alto teor de N. A redução de perdas por volatilização apresenta duas opções não mutuamente excludentes: incorporação de inibidor no processo de fabricação; manejo da uréia no campo. Convém lembrar que Fenn *et al.* (1981- a, b, c) demonstraram que a adição de sais solúveis de Ca e Mg reduzem consideravelmente as perdas de N da uréia por volatilização:



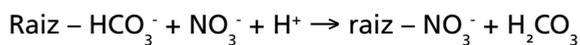
A possibilidade de diminuir a perda tanto por lixiviação quanto volatilização mediante revestimento já foi indicada no item 4.2.15. Entre as fontes usuais de N, exceção feita para a amônia anidra, cujo emprego é limitado, a uréia é aquela em que

o quilo de nitrogênio é mais barato. Por esse motivo, na avaliação das diversas fontes, é necessário considerar a eficiência econômica das mesmas.

Além das eventuais perdas por lixiviação e volatilização, que podem influenciar o aproveitamento dos diversos fertilizantes nitrogenados e o seu efeito na produção, há dois outros aspectos a considerar. O SA possui, além do N, enxofre na forma de sulfato na sua composição. Em solos deficientes em S, o SA ganha a competição com outras fontes. A deficiência de enxofre nos solos brasileiros é quase tão freqüente quanto à de fósforo, especialmente no cerrado. Os fertilizantes nitrogenados amoniacais ou uréia que produz  $NH_4^+$  acidificam o solo devido às reações da nitrificação:



As fontes nítricas, por outro lado, tendem a diminuir a acidez devido ao processo de absorção:



A acidificação aumenta a disponibilidade do alumínio tóxico e de micronutrientes catiônicos, principalmente a do manganês, como se pode ver na Tabela 4.15, preparada com dados de Moraes (1981). Entretanto, o teor do manganês pode atingir níveis tóxicos, como no caso presente, prejudicando a produção. Em solos deficientes, porém, o aumento na disponibilidade favorece a produção.

**Tabela 4.15** - Efeito do uso de adubos nitrogenados em características do solo e no teor foliar de Mn em cafeeiros no solo Podzolizado de Lins e Marília<sup>(1)</sup>.

Tratamento	----- Solo -----			--- Folha---
	pH	Al <sup>+3</sup> meq/100g	Mn <sup>+2</sup> ppm	Mn
Sem N	6,0	0,0	26	348
Nitrato de amônio	4,9	0,5	130	1683
Uréia	4,7	0,5	83	4131
Sulfato de amônio	4,7	0,5	108	2410

<sup>(1)</sup> Total aplicado: 450 kg N por ha

Malavolta e Neptune (1983) discutiram vários procedimentos destinados a avaliar a eficiência relativa das fontes de N. Duas fontes 1 e 2, aplicadas na

mesma dose causam os aumentos na produção  $Ay_1$  e  $Ay_2$ . A eficiência relativa será:

$$er = \frac{\Delta y_1}{\Delta y_2}$$

Tal comparação, freqüentemente usada na literatura, poderá não ser válida em duas situações: (1) se a dose x for muito pequena, a variação na produção também será muito pequena, abaixo do nível da significância estatística; (2) doses muito altas tendem a fazer desaparecer diferenças entre as fontes, daí a necessidade de se ter experimentos com pelo menos três doses de N de cada fonte. Nesse caso, a equação de Mitscheilich freqüentemente se ajusta aos dados:

$$y = A [1 - 10^{-c(x+b)}], \text{ onde:}$$

y = produção obtida com

x = dose de adubo

A = colheita máxima

b = constante da regressão = quantidade do elemento no solo

c = coeficiente de eficiência do fertilizante

Conhecidos os três parâmetros para cada um dos fertilizantes, pode-se calcular a dose de cada um deles que dá a colheita econômica máxima:

$$x^* = \frac{1}{2} x_\mu + \frac{1}{c} \log \frac{w_u}{tx_u}$$

$x^*$  = dose mais econômica

$x_\mu$  = dose do fertilizante que garante

u = aumento na produção em relação a testemunha não adubada

w = preço unitário do produto

t = preço unitário do elemento no fertilizante

Substituindo-se x, na equação de Mitscheilich, por  $x^*$  tem-se y, colheita econômica máxima. A eficiência econômica relativa (eer) é dada pela relação:

$$eer = \frac{ye^1/x^{*1}}{ye^2/x^{*2}}$$

onde 1 e 2 correspondem a dois fertilizantes. Um valor de eer menor que 1 significa que o fertilizante 1 é menos eficiente do ponto de vista econômico

que o fertilizante 2. O contrário corresponde ao caso em que 1 é mais eficiente. Ou, em outras palavras, a porcentagem de 2 que 1 representa.

A eficiência pode ser também medida empregando-se fertilizantes marcados com <sup>15</sup>N e determinando-se, na planta, a porcentagem do N derivado do mesmo (MALAVOLTA e NEPTUNE, 1983).

#### 4.4.2. Folha e fertirrigação

##### 4.4.2.1. Aplicação foliar

As folhas absorvem o N e outros elementos por mecanismos semelhantes aos que operam nas raízes. O N, no caso presente, é transportado pelos vasos do floema para outros órgãos da planta, inclusive até as raízes. O nitrogênio é transportado na forma em que foi absorvido ou como produto de sua assimilação, como são os aminoácidos. Na Figura 4.7 a aplicação de nitrogênio via foliar foi indicada como reação 12.

A adubação foliar não substitui o fornecimento de N via solo. As doses aplicadas, dezenas até centenas de quilos por ha, exigem um fracionamento tal que torna a prática não realizável por ser anti-econômica.

A aplicação do N via folha, em geral, se faz em três situações: para obter correção mais rápida da deficiência, para fornecer o elemento quando não é praticável via solo, para melhorar a qualidade do produto agrícola. Exemplo do primeiro caso é a cultura do algodoeiro no Centro-Oeste: quando há um veranico, falta de água para a mineralização de matéria orgânica e para que o fluxo de massa leve o N até às raízes. Nesse caso, tornou-se rotina a aplicação de nitrogênio nas folhas em intervalos de 7-10 dias, três a quatro vezes. A cana-de-açúcar “fecha” depois de 6 meses do plantio, aproximadamente. Para suprir N (e também K) no período de maior exigência são fornecidos uréia e o cloreto de potássio por meio de avião. Os fertilizantes que caem entre a bainha e o colmo são absorvidos prontamente. A laranja para o mercado de fruta, interno ou de exportação, tem sua qualidade melhorada mediante aplicações de nitrato de potássio nas folhas. Para detalhes, ver, res-

pectivamente: Laca-Buendia (1989), Coleti (1989) e Melare (1989). Ao que parece o primeiro trabalho sobre adubação foliar com N foi conduzido por Malavolta e Coury (1957), os quais corrigiram a deficiência em cafeeiro aplicando uréia nas folhas.

A preferência pela uréia como fonte na adubação foliar é devida ao seguinte: preço unitário do elemento; solubilidade em água e velocidade de absorção. Veja-se comparativamente a velocidade de absorção do N da uréia, do P e do K na Tabela 4.16, tirada de Wittwer *et al.* (1963).

**Tabela 4.16** - Velocidade de absorção de nutrientes aplicados nas folhas.

Nutriente	Planta	Tempo para 50% de absorção
Nitrogênio (uréia)	Citrus	1 – 2 h
	Macieira	1 – 4 h
	Abacaxi	1 – 4 h
	Cana-de-açúcar	24 h
	Fumo	24 – 36 h
	Café, cacau	1 – 6 h
	Banana	1 – 6 h
	Pepino, feijão, tomate, milho	1 – 6 h
	Aipo, batata	12 – 24 h
Fósforo	Macieira	7 – 11 d
	Feijão	6 d
	Cana-de-açúcar	15 d
Potássio	Feijão	1 – 4 d

##### 4.2.2.2. Fertirrigação

Vivancos (1993, p.9) define: “Entende-se por **fertirrigação** a aplicação dos fertilizantes e, mais concretamente, dos elementos nutritivos de que as culturas necessitam, junto com a água de irrigação”.

Os fertilizantes nitrogenados mais usados em fertirrigação, de acordo com Vivancos (1993), são: sulfato de amônio, nitrato de amônio, uréia, nitrato de cálcio, nitrato de potássio, soluções nitrogenadas não pressurizadas. Dependendo da cultura e da época do ciclo, o N é fornecido isoladamente ou associado ao P ou ao K. A solução-mãe, em geral na proporção de poucos litros por

m<sup>3</sup> de água, é introduzida no sistema por gravidade ou através de Venturi.

A aplicação do N e, eventualmente, a de outros elementos, dependendo da cultura, da extensão da mesma, da disponibilidade do recurso água, é feita pelos sistemas pressurizados ou localizados, cujos detalhes se encontram em Costa *et al.* (1994). Entre os primeiros estão a aspersão convencional e o pivô central. Ambos exigem abundância de água e quantidades maiores de nitrogênio, que cai parcialmente nas folhas (dependendo da condição da cultura). A aplicação do fertilizante em sulcos de irrigação, ao que parece, não se usa no Brasil. Nos sistemas localizados – microaspersão, gotejo – há economia de água e do fertilizante, que é colocado onde e quando a cultura necessita. Enquanto o sistema anterior é usado em culturas extensivas, como milho e algodão, o localizado é empregado em culturas perenes, como café e laranja, e em cultivos hortícolas. Vivancos (1994, p.138) dá o programa de aplicação de N nos citros: a dose total é fracionada em oito aplicações distribuídas nos períodos do ano em que a exigência é maior, algumas em conjunto com P e K, outras isoladamente.

Os sistemas de fertirrigação podem variar enormemente em sua complexidade, desde os mais simples baseados em um tanque com o fertilizante até os mais elaborados, em que há diversos mecanismos de controle mediante válvulas sensores, leitores de tensiômetros, etc. Com ajuda de programa de computador pode-se alcançar uma automação quase completa para a fertirrigação ou, dependendo da época, da irrigação apenas.

## 5. Aspectos ambientais

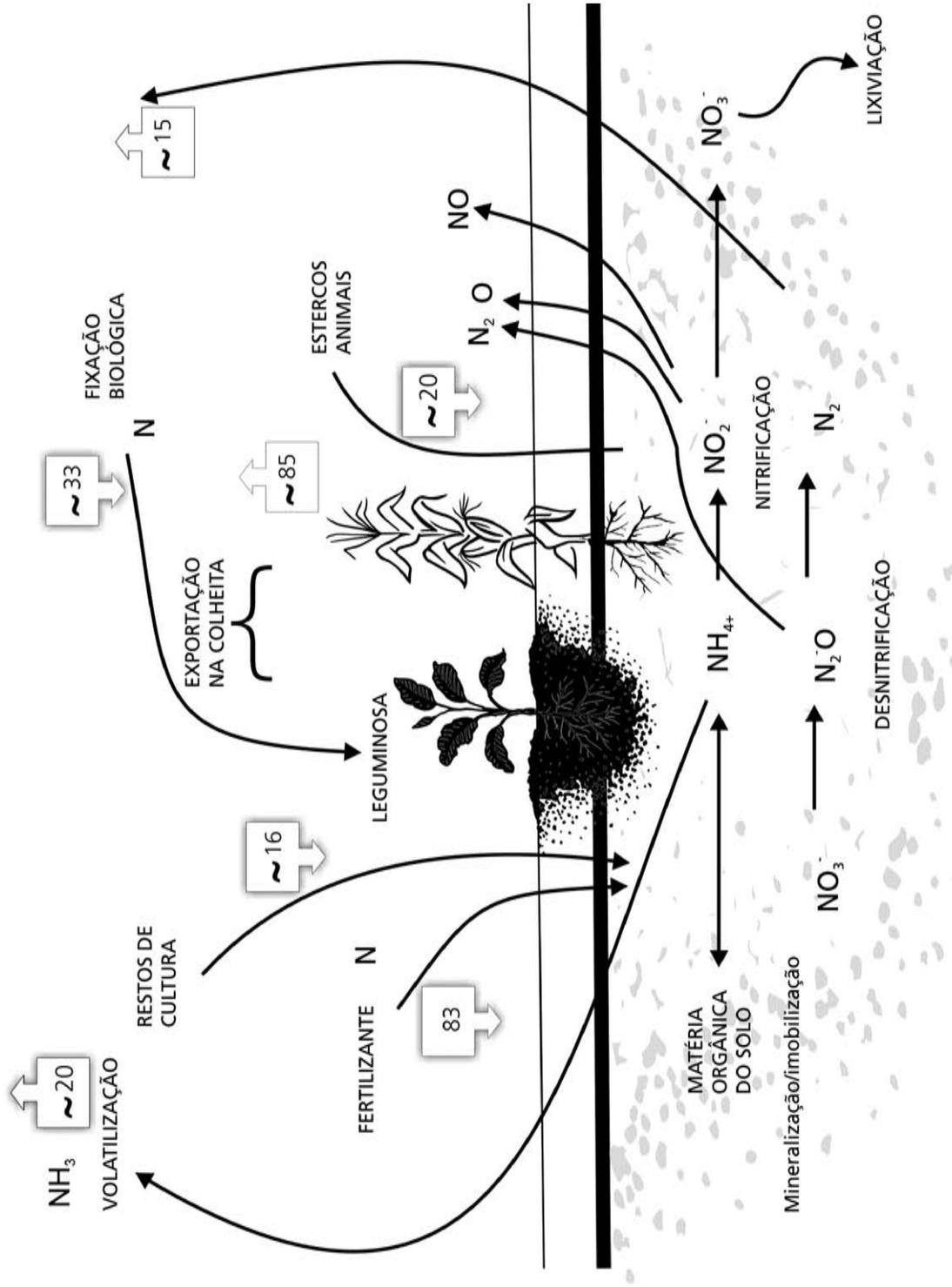
A fonte de N para os ecossistemas terrestres, marinhos e agrícolas é o N<sub>2</sub> da atmosfera, fixado no ar (descargas elétricas), no solo, na planta e na indústria. A Figura 4.7 representa o nitrogênio no sistema solo-planta-atmosfera, no qual as reações

reversíveis descrevem um ciclo o qual apresenta duas saídas – a colheita e a erosão.

Mosier *et al.* (2004) discutem o ciclo agrícola do N representado na Figura 5.1. Estima-se que o fertilizante contribua com 50% do N exigido para a produção global de alimento. Em 2002 essa entrada foi de 84,1 Tg. As outras entradas anuais para a produção das culturas fornecem 21-27 Tg adicionais, assim distribuídos: fixação biológica – 25-41 Tg; reciclagem de restos de culturas – 12-20 Tg; esterco – 12-22 Tg; disposição atmosférica e água de irrigação (não mostradas na Figura 5-1) – 21-27 Tg adicionais. Do total de 170 Tg adicionados, metade é removida como produto colhido (85 Tg). O restante do N tem os seguintes destinos: incorporado (imobilizado) na matéria orgânica ou perdido para outras partes do ambiente em proporções incertas. A lixiviação, escoamento superficial e erosão são responsáveis por 37 Tg das perdas anuais; a volatilização da amônia do solo e da vegetação contribui com 21 Tg. As perdas por desnitrificação, como N<sub>2</sub>, são de 14 Tg por ano, e N<sub>2</sub>O e NO da nitrificação e desnitrificação contribuem com 8 Tg. Estima-se que 60% do N usado na produção de alimento são aproveitados. O restante é a diferença entre entrada e saída e perdido para o ambiente ou incorporado no solo.

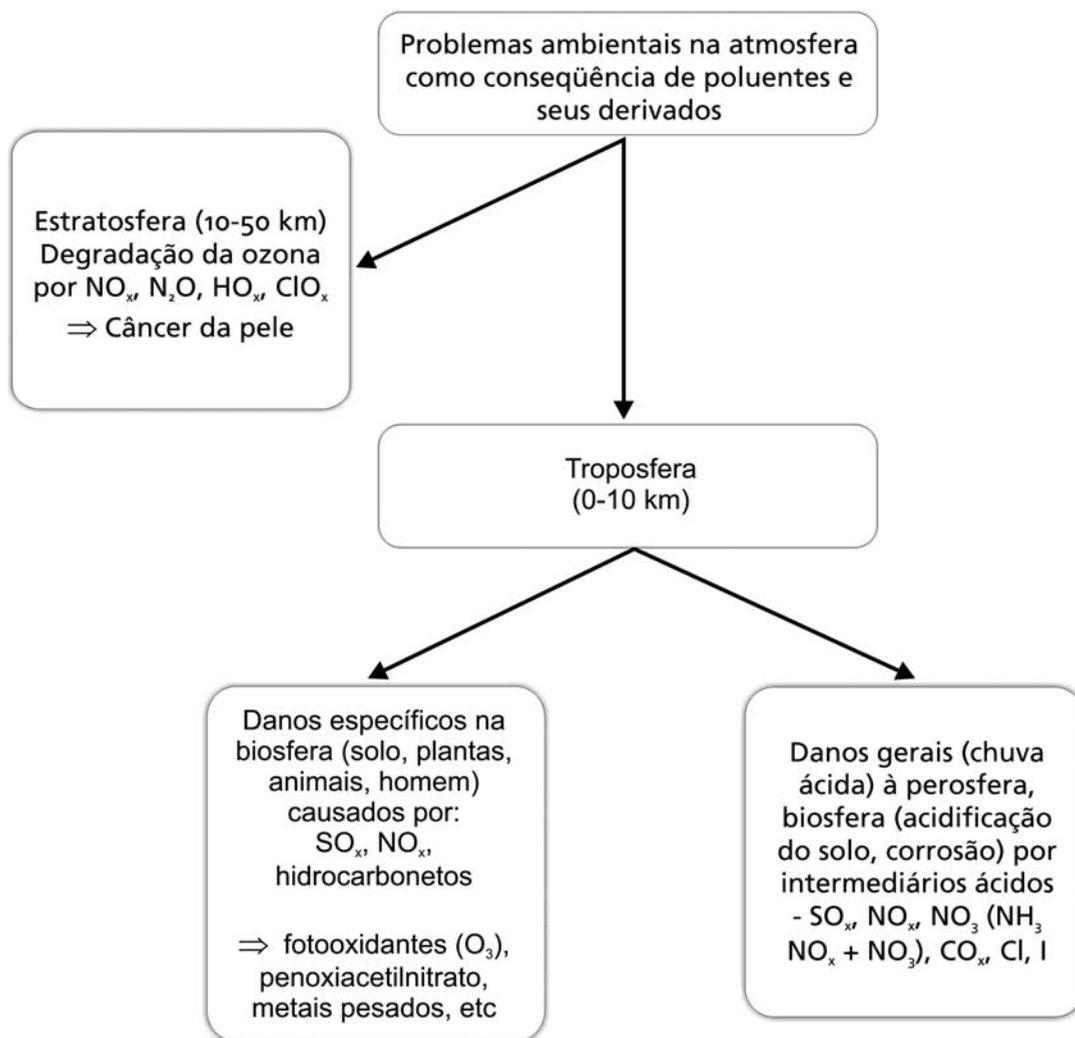
Além dos solos, o ar e a água recebem produtos das transformações do nitrogênio do próprio solo e do fertilizante.

O efeito estufa, consequência da poluição do ar, é um fenômeno que provoca o aumento na temperatura da terra. São considerados gases estufas: o CO<sub>2</sub>, o CH<sub>4</sub>, o N<sub>2</sub>O e os clorofluorcarbonos emitidos da superfície da terra vão para a parte superior da atmosfera onde são aquecidos pelo sol. A energia solar é absorvida, em parte, por esses gases e emitida para a superfície terrestre, cuja temperatura sobe (TAN, 1994, p.247). Os poluentes emitidos na atmosfera e os deles derivados podem causar problemas ambientais, como mostra a Figura 5.2.



Fonte: Modificada de Isermann, 1983.

Figura 5.1 - Ciclo agrícola do nitrogênio em escala global (entradas e saídas em Tg N ano<sup>-1</sup>)



Fonte: pouco modificada de Iserman, 1983.

**Figura 5.2:** Possíveis efeitos dos gases estufa e outros poluentes de diversas origens na atmosfera

As origens dos gases da estufa são discutidas por vários autores, como, por exemplo, Benckiser e Simarmata (1994), Duxbury (1994), Vitousek (1994). Conforme se lê em Duxbury (1994), os balanços do  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$  têm graus de incerteza variáveis (*varying degrees of uncertainty*). A Tabela 5.1, tendo em mente essa restrição, apresenta o orçamento anual de alguns dos gases. A agricultura e a abertura de novas áreas agrícolas são responsáveis por 25, 60 e 90% das emissões totais antropogênicas de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$ , respectivamente. A China, com a maior área do mundo de arroz

inundado (*paddy*), contribui com 16,2 Tg de  $\text{CH}_4$  por ano (CAO *et al.*, 1996). Acredita-se que contribua também com 55% do  $\text{NH}_3$  e 50% do monóxido de carbono (CO), principalmente vindo da combustão da biomassa. Provavelmente é responsável por parte do  $\text{N}_2\text{O}$  liberado na atmosfera. A queima de combustíveis fósseis e a conversão de terra para fins agrícolas são os maiores contribuintes antropogênicos de  $\text{CO}_2$ . O metano é gerado microbiologicamente em vários ambientes agrícolas anaeróbicos: fermentações intestinais em ruminantes, campos de arroz inundados (39%), quei-

ma de biomassa e dejeções animais. Os solos são considerados a fonte principal de  $N_2O$  e  $NO$ . O aumento na emissão desses gases está associado à adição de adubos, exploração da fixação biológica do  $N_2$  e incremento na mineralização da matéria orgânica. O  $NH_3$  vem dos esterco de animais e dos campos de arroz inundados. Numa base global, três quartos das emissões de  $N_2O$  se originam de fontes naturais, mas as antropogênicas dominam a geração de  $NO$  e  $NH_3$ . O solo e os adubos orgânicos, particularmente em condições anaeróbicas, produzem uma variedade de compostos de enxofre voláteis, como sulfeto de carbonilo ( $COS$ ), dissulfeto de carbono ( $CS_2$ ), metanotiol ( $CH_3SH$ ), dimetilsulfeto ( $CH_3SCH_3$ ) e metiltioacetato ( $CH_3COSCH_3$ ). Enquanto  $COS$  migra e permanece muito tempo na estratosfera, o  $SO_2$ , vindo da queima de biomassa e principalmente da indústria, é lavado rapidamente para a terra pela água de chuva.

**Tabela 5.1** - Estimativas do balanço anual de dióxido de carbono, metano e óxido nitroso<sup>(1)</sup>.

Entradas e Saídas	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
	Tg C		Tg N
Fontes Naturais			
Aquáticas	105.000	15	2,0
Terrestres	120.000	101	6,3
Antropogênicas			
Agrícolas	1.800	154	2,1
Não agrícolas	6.000	116	1,3
<b>Total</b>	<b>231.800</b>	<b>386</b>	<b>11,7</b>
Drenos (sinks)			
Absorção oceânica	106.700		
Fotossíntese terrestre	120.000		
Destruição atmosférica		375	
Aumento na atmosfera	3.000	24	10,0
<b>Total</b>	<b>229.700</b>	<b>399</b>	<b>13,7</b>
<b>Balanço</b>	<b>+ 2.100</b>	<b>- 13</b>	<b>- 2,0</b>

Fonte: Duxbury, 1994. 1 Tg (teragrama) = 10<sup>12</sup> g

A geração antropogênica de gases de estufa, representados pelo  $CO_2$  e  $CH_4$ , varia com os países considerados e com as fontes dos mesmos. Os EUA, por exemplo, geram cinco vezes mais que a Índia e sete vezes mais que o Brasil, para citar dois países em desenvolvimento como exemplos. Nestes, entretanto, a participação percentual do setor agrícola é maior que a da indústria, como mostra a Tabela 5.2. Não se deve, porém, deixar que esse fato obscureça o anterior: a contribuição maior

para a poluição de atmosfera é encontrada no país mais desenvolvido.

**Tabela 5.2** - Contribuição relativa da indústria e da agricultura para a emissão de  $CO_2 + CH_4$  <sup>(1)</sup>.

País	Agricultura	Energia
	%	
EUA	3	71
Brasil	8	3
Índia	6	9

<sup>(1)</sup>Emissão total nos EUA: 5 x Índia e 7 x Brasil.

As conseqüências potenciais do aquecimento global para a agricultura, em particular, e para a "cansada, vagabunda terra" de Miguel de Unamuno, são objeto de projeções, especulações, controvérsias e de algumas medições:

- (1) Bongaarts (1994) lembra que o aquecimento global poderia melhorar ou impedir a Agricultura: em presença de  $H_2O$  e luz suficiente, o aumento na contração de  $CO_2$  absorvido na fotossíntese atuaria como adubo, aumentando a produção; o aumento na temperatura poderia, por outro lado, em regiões de menos chuvas, aumentar a seca e os veranicos, diminuindo crescimento e produção;
- (2) a duplicação da concentração de  $CO_2$  pode aumentar a colheita de plantas  $C_3$ , tendo menor efeito nas que fazem fotossíntese via  $C_4$ , as quais são capazes de armazenar quantidades maiores do dióxido de carbono nos cloroplastos;
- (3) em condições de campo, o algodoeiro irrigado produziu 50% mais em presença de concentração mais alta de  $CO_2$ ; o aumento na produção de trigo de inverno foi de apenas 8%; mudas de acácia mantidas em casa de vegetação cresceram três vezes mais em presença de 700 mg/L de  $CO_2$  do que quando submetidas à concentração normal de 350; a água consumida não variou (SEFT e HAYS, 1995).

Esses resultados favoráveis não devem ser surpresa: no início do século, F.F. Blackman já demonstrara que o teor de  $CO_2$  na atmosfera era limitante para a fotossíntese quando havia bastante luz e calor. Outra confirmação: Reddy *et al.* (1995).

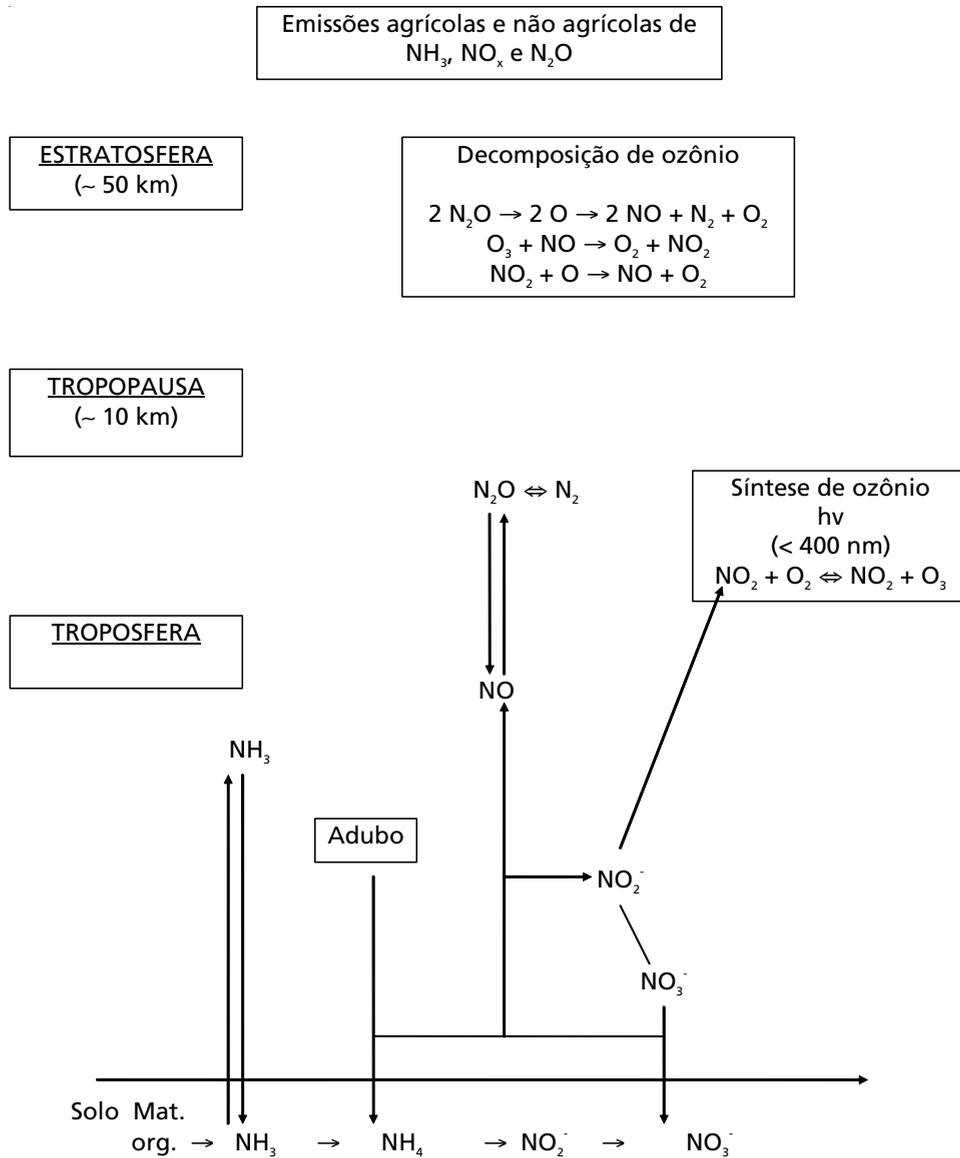
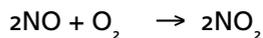
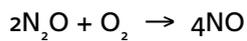
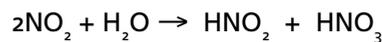


Figura 5.3 - Origens do NH<sub>3</sub> e óxidos de N.

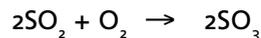
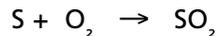
A chuva ácida é devida à poluição do ar com óxido de N e compostos de S emitidos pela indústria, pelas termoelétricas, aviões, carros e, em menor grau, pela agricultura. Na atmosfera, os ácidos nitroso e nítrico se formam pela reação do NO<sub>2</sub> com a umidade. No ar, o gás NO<sub>x</sub>, que veio da terra, é convertido em NO<sub>2</sub>.



O NO<sub>2</sub> se dissolve na água da chuva formando ácido nítrico e nitroso:



A emissão de partículas de S e de outros produtos conduz à formação de ácido sulfúrico:



A chuva ácida tem impacto direto sobre a folhagem e, além disso, afeta a vida da planta pela acidificação que causa no solo. Junto com os componentes ácidos, a chuva carrega também quanti-

dades variáveis de amônia que, dependendo da quantidade, é também tóxica às plantas: quantidades medidas na Europa variam entre 10 e 70 kg de N/ha por ano (HOGAN, 1992; PEARSON e STEWART, 1993).

A destruição do escudo de ozônio na estratosfera é outra questão ambiental resultante da emissão acelerada de gases poluentes. Entretanto, é devida muito mais ao efeito da poluição relacionada à indústria e ao transporte do que à agricultura. Os óxidos  $\text{NO}_x$  e  $\text{N}_2\text{O}$ , em adição a  $\text{HO}_x$  e  $\text{ClO}_x$ , ao que parece, desempenham um papel decisivo e, indevidamente, tem sido posta culpa nos adubos minerais. Entretanto, como mostra a Tabela 5.3, a participação da agricultura em geral e dos adubos em particular é muito pequena. O setor agrícola, através do adubo, representa 1,6% na emissão de  $\text{NO}_x$  e  $\text{N}_2\text{O}$ . A Figura 5.2, adaptada de Isermann (1983), mostra as transformações sofridas pelos óxidos de N - qualquer que seja a sua fonte - com respeito à destruição do escudo de  $\text{O}_3$ . A camada de ozona, a uns 24 km sobre a terra, protege-a contra componentes prejudiciais da radiação solar. Além dos óxidos de N indicados na Figura 5.2, outros compostos de C, como  $\text{CH}_3$ ,  $\text{CH}_4$ , e os clorofluorcarbonos (CFCs) usados na refrigeração e em aerossóis podem também decompor a ozona. Uma quantificação do tamanho dos compartimentos e da extensão das reações de transferência é dada por Wayne (1993).

O nitrato absorvido pela planta sofre a redução assimilatória não se acumulando no tecido vegetal, a menos que seja fornecido como adubo mineral ou orgânico, em doses excessivas. Parte do nitrato é lixiviado podendo chegar à água de beber. O nitrato absorvido em excesso pode dar origem a nitrosaminas causadoras de câncer e causar no sangue, particularmente no das crianças novas, a metemoglobinemia, combinação com a hemoglobina, cujo papel de transportador do  $\text{O}_2$  é prejudicado. É o que mostra simplificada a Figura 5.4 reproduzida em Isermann (1983). Normalmente cerca de 80% do nitrato ingerido pelo homem vem do alimento, 70% das hortaliças e somente 20% da água de beber. A participação da água na ingestão total de nitrato poderá crescer quando o seu teor exceder o padrão da Organização Mundial da Saúde, 45 mg/L. De acordo com O'Riordan e Bentham (1993), "there is little evidence of substantial risk from public water supplies in Britain, even when nitrate levels exceed the 50 mg l<sup>-1</sup> limit". Deve-se ter presente, por outro lado, que, mesmo quando se aplicam doses relativamente altas de N, a maior parte do lixiviado vem do próprio solo, sendo pequena a contribuição do adubo, como se vê na Tabela 5.4, com dados alemães. Dados ingleses de Vinten e Smith (1993) confirmam esses números e conclusões.

O P do solo e do adubo pode atingir as fontes de água - córregos, rios, lagos e lagoas - promovendo

**Tabela 5.3** - Participação da agricultura (adubos minerais) na emissão total e antropogênica de  $\text{NO}_x\text{-N}$  e  $\text{N}_2\text{O-N}$  (anual).

Emissor	$\text{NO}_x\text{-N}$	$\text{N}_2\text{O-N}$				
	10 <sup>6</sup> t	%	%	10 <sup>6</sup> t	%	%
Natureza	17	-	49	10	-	77
Homem		100	51	3,1	100	24
Setor não agrícola (combustão)	18	99	51	3	> 96	23
Setor agrícola (adubos nitrogenados minerais)	0,2	1	0,6	0,12	> 4	1
Total	35	-	100	13	-	100

Fonte: Isermann, 1983.

do o desenvolvimento de algas e de outras plantas indesejáveis no processo de eutroficação, detalhado em seguida.

A entrada intolerável de  $N-NO_3^-$  e de  $H_2PO_4^-$  na água somente deve ser esperada com a má utilização do adubo ou quando se empregam doses muito maiores do que as necessárias, como acontece, por exemplo, em fazendas leiteiras da Holanda. É o que mostra a Tabela 5.5 tirada de Mengel (1993): a diferença entre o N adicionado e o exportado como produto chega a quase meia tonelada, havendo excessos menores de P e de K. De um modo geral, entretanto, a concentração de  $NO_3^-$  é maior na água subterrânea das regiões rurais (HAMILTON e HELSEL, 1995).

**Tabela 5.4** - Proporção do N do solo e do adubo lixiviado na cultura do trigo de inverno<sup>(1)</sup>.

Fonte	Dose de N em kg/ha	
	80	180
Lixiviado total (kg N/ha)	14	21
Do solo (%)	93	83
Do adubo (%)	7	17

<sup>(1)</sup>Médias de 3 solos.

Fonte: Isermann, 1983.

**Tabela 5.5** - Excessos de N, P e K aplicados em fazendas leiteiras da Holanda.

Solo	kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>		
	N	P	K
Arenoso	486	32	125
Argiloso	466	33	78
Turfoso	462	30	94

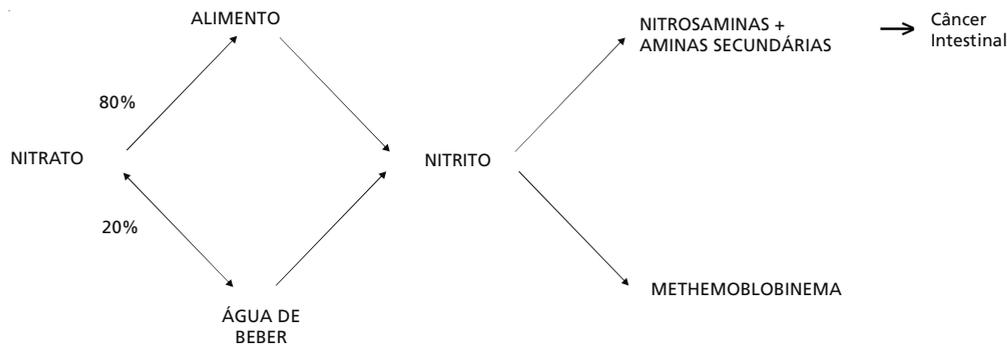
Eutroficação significa produção primária excessiva de algas e vegetação aquática em resposta ao aumento na disponibilidade de nutrientes (LAEGREID *et al.*, 1999). Conseqüências:

- (1) aumento na produtividade em todos os níveis da cadeia produtiva, inclusive produção de peixes, de modo que a entrada moderada de nutrientes pode ser benéfica, sendo prejudicial quando em excesso;
- (2) mudança na composição das espécies do ecossistema aquático de algas nocivas, o que pode resultar em mortandade de peixes;
- (3) maior produção de matéria orgânica que se deposita e, ao decompor-se, reduz o teor de  $O_2$  na água;
- (4) entupimento de canais pela vegetação aquática;
- (5) reservas de água menos adequadas para consumo animal e humano e para o lazer.

Os nutrientes que causam a eutroficação são mais comumente o P e o N, que favorecem o crescimento das algas. Eles são transferidos para rios, lagos e oceanos a partir de:

- (1) esgoto e enxurrada das cidades;
- (2) fontes agrícolas pontuais, como lixiviação de silagem, estábulos, esterqueiras, pocilgas;
- (3) fontes agrícolas difusas ou não pontuais – drenagem e enxurrada de terras de culturas contendo nutrientes oriundos de estercos, fertilizante e partículas de erosão.

Estima-se que, no mundo todo, os rios transportem, por ano, 22 Mt de P e 20 Mt de  $NH_4^+ + NO_3^-$ . O



**Figura 5.4** - Metabolismo simplificado do nitrato em animais de sangue quente.

total de N transportado, incluindo o orgânico, chega a 40-80 Mt. Parte do N, entretanto, é desnitrificada antes de chegar ao oceano, contribuindo para o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) da atmosfera. Os nutrientes levados pelos rios, quando não em excesso, alimentam reservas de peixe de estuários e da costa.

A eutroficação de reservas de água doce, como a dos lagos, estimula o crescimento de cianobactérias, algas azuis-verdes fixadoras de N<sub>2</sub>, utilizando-se do potencial representado pelo P, portanto:

- (1) produzem toxinas de odor desagradável;
- (2) não é utilizado pelo zooplâncton, o que aumenta o risco de diminuição no teor de O<sub>2</sub> quando se decompõem.

Como evitar eutroficação?

- (1) uso adequado da terra;
- (2) uso adequado dos fertilizantes minerais e orgânicos;
- (3) tecnologia industrial e agrícola disponíveis.

Metais pesados tóxicos usualmente são associados aos fertilizantes fosfatados, que os contêm em maior proporção (MALAVOLTA, 1994). Entretanto, os fertilizantes nitrogenados, dependendo de sua origem, também podem tê-los, como se vê na Tabela 5.6. A Tabela 5.7 apresenta os limites máximos de metais pesados admitidos em fertilizantes minerais e orgânicos.

**Tabela 5.6** - Teores de metais pesados tóxicos em fertilizantes nitrogenados.

Produto	Hg	Pb	Cd	Cr
	mg kg <sup>-1</sup>			
Cana de aves	-	128,4	8,2	52,7
Torta de mamona	-	122,4	7,7	65,5
Esterco de curral	-	144,6	7,4	75,5
Lodo de esgoto	2	700	20,0	500
Composto de lixo	0,7	115	0,4	105
Sulfato de amônio	-	10,0	0,8	-

Fontes: Berton, 1992, Nunez *et al.* (1999), Santos *et al.*, 2003.

**Tabela 5.7** - Limites máximos de metais pesados admitidos em fertilizantes minerais (com N, K, macronutrientes secundários) e fertilizantes orgânicos.

Elemento	Valor máximo admitido (mg/kg) na massa total	
	Fertilizantes minerais	Fertilizantes orgânicos
Arsênio (As)	10,00	20,00
Cádmio (Cd)	20,00	3,00
Chumbo (Pb)	100,00	150,00
Crômio (Cr)	200,00	200,00
Mercúrio (Hg)	0,20	1,00
Níquel (Ni)	-	70,00
Selênio (Se)	-	80,00

Fonte: Mapa, 2006.

A Tabela 5.8 resume os principais aspectos dos eventuais impactos dos fertilizantes nos ecossistemas.

**Tabela 5.8** - Fertilizantes – possíveis impactos no ambiente.

Ecosistema afetado	Fontes primárias/causas	Efeitos
Ambientes marinhos e costeiros	Nutrientes em enxurradas e lixiviadas.	Alimento para explosão de algas nas águas costeiras. A decomposição das algas exaure o oxigênio, matando outras espécies e reduzindo a biodiversidade. Podem estimular crescimento de algas tóxicas (marés vermelhas) libertando toxinas que matam peixes e envenenam o homem.
Corpos de água doce	Nitratos e fosfatos na enxurrada, erosão, lixiviado.	Eutroficação (N, P) síndrome do bebê azul (N), caneu no estômago (? N).
Atmosfera e estratosfera	Desnitrificação – produção de óxido nítrico.  Volatilização de amônia.	Aquecimento global e destruição do ozônio na estratosfera.  Conversão em ácido nítrico: a chuva ácida pode acidificar o solo e a água, danificar as folhas, liberar elementos tóxicos do solo e causar desequilíbrio entre os nutrientes.
Terrestre (solo)	Aumento no teor de nutrientes e desequilíbrio entre os mesmos.  Aumento no teor de metais pesados tóxicos.	Pode causar o declínio e a extinção de espécies de plantas e de microrganismos adaptados a baixos níveis de nutrientes. Intoxicação das culturas.

Fonte: pouco modificado de Ayoub, 1999.

## 6. Adubação, produtividade e sustentabilidade

A terra cultivada para grãos, o item dominante na dieta humana, cresceu com a taxa de 0,7% ao ano, no período 1950-81, e diminuiu com a taxa anual de 0,5, entre 1981 e 1992, conforme mostra a Tabela 6.1, tirada de Brown (1993). No mesmo período a população continuou a crescer 1,7% ao ano. A partir daí pode-se afirmar que terra cultivada/caput diminuiu, o que equivale a dizer que menos área foi usada para a produção de grãos. Com o crescimento da população, a tendência tem que ser no sentido de cair o quociente ha/caput. Na China, o mais populoso país do mundo, havia, em 1952, 0,188 ha de terra cultivada e 0,246 ha de área semeada por pessoa. Em 1990 os números caíram, respectivamente, para 0,086 e 0,129. Área semeada quer dizer toda a superfície cultivada em um ano com cultivo múltiplo (BISWAR, 1994). No Brasil, em 1970, havia uma relação de 0,6 ha/habitante, considerando-se as 11 principais culturas, a

qual desceu para quase a metade 20 anos depois (MALAVOLTA, 1992). Em resumo: o recurso terra é finito (LAL, 1993).

A necessidade de se compatibilizar demografia com comida leva sempre ao dilema lembrado por Alves (1983): produtividade ou expansão da área agricultável. Quando se considera o mundo como um todo, as duas suposições não são mutuamente excludentes; no nível de país ou região, entretanto, uma só pode ser realizável.

Kendall e Pimentel (1994) estimam, sem mencionar o tempo que isso demandaria, que a terra arável no mundo poderia ser expandida, no máximo, em 500 milhões de ha, ou seja, um terço da atual. Os países do Terceiro Mundo, África sub Saara, Oriente Próximo, África do Norte, Ásia (exceto China) e América Latina têm combinados uma disponibilidade física de terra adicional da ordem de 420, 20, 50 e 700 milhões de ha, respectivamente, ou seja, 1190 milhões. Esse número é, portanto, o dobro daquele da eventual expansão. Entretanto, colo-

cando resumidamente, a produção de alimento na terra adicional disponível somente poderá ser feita com água e adubo (BONGAARTS, 1994).

Esta situação leva a uma outra questão: é possível fazer agricultura sustentável no cerrado ou na Amazônia, para exemplificar, sem adubo e sem corretivo? Além da resposta certamente negativa para a pergunta, dadas às reconhecidas pobreza e acidez desses solos, há outras questões a se considerar quando se pensa em aumentar a produção com mais área, e isso é verdadeiro tanto no Brasil como em outros países em desenvolvimento onde terra há (HOMEM DE MELLO, 1994; PINSTRUP-ANDERSEN, 1993):

- (1) infra-estrutura rural, acesso à tecnologia de produção e aos insumos modernos (adubos, defensivos);
- (2) política agrícola governamental.

Embora esses dois itens se apliquem também à opção dos ganhos de produtividade, podem tornar-se estrangulamentos na alternativa de aumentar a produção mediante a expansão de área: no caso da infra-estrutura pense-se nos custos do transporte, interno e externo; em se tratando da política agrícola, pense-se nos dois instrumentos maiores, o crédito e os preços mínimos.

Parece claro, pois, que tanto quando a expansão de área é possível, como no caso dos ganhos da

produtividade, não se alcança o objetivo sem o uso de fertilizante.

A produção de comida em escala proporcional ao crescimento da população exigiria mantida a ingestão de 2500 calorias por dia, um aumento de produção de 112% até o ano de 2050. E a produção teria que aumentar em 430% se o nível de alimentação, em calorias, atingisse a do mundo desenvolvido. Na hipótese de uma dieta intermediária, a elevação na produção seria de 218%.

Qualquer que seja a hipótese, é obvio que a humanidade vai continuar a depender da agricultura para a produção de comida e, portanto, o setor agrícola, tem que manter-se produzindo. Logo o conceito de sustentabilidade é imanente. Mas o que é sustentabilidade?

O termo sustentabilidade agrícola tem muitas facetas: agrônômica, ecológica, econômica, social e ética (FARSHAD & ZINCK, 1993). A literatura contém muitas definições: veja, por exemplo, Greenland (1993), Ruttan (1993), Yonlong e Smit (1994). A definição dada pelo TAC/CGIAR em 1989 e citada por Ruttan (1993) é adequada ao presente trabalho:

*Sustentabilidade deve ser tratada como um conceito dinâmico, refletindo necessidades ambientais, especialmente aquelas duma população constantemente crescendo... O objetivo de uma agricultura sustentável deve ser o de manter a produção em*

**Tabela 6.1** - Crescimento da produção dos principais alimentos e uso de recursos agrícolas (1950-92).

Produto/Recursos	Período de crescimento rápido		Período de crescimento lento	
	Anos	Taxa anual %	Anos	Taxa anual %
<b>Alimentos Principais</b>				
Cereais	1950-84	+ 2,9	1984-92	+ 0,7
Soja	1950-80	+ 5,1	1980-92	+ 2,2
Carne	1050-86	+ 3,4	1986-92	+ 2,0
Pesca	1950-88	+ 4,0	1988-92	- 0,8
<b>Principais recursos</b>				
Área de cereais	1950-81	+ 0,7	1981-92	- 0,5
Área irrigada	1950-78	+ 2,8	1978-92	+ 1,2
Adubo	1950-84	+ 6,7	1984-92	+ 0,7

níveis necessários para atender as aspirações crescentes de uma população mundial em expansão sem degradar o meio. Ela implica em preocupação com a geração de renda, a promoção de políticas adequadas e a conservação de recursos naturais.

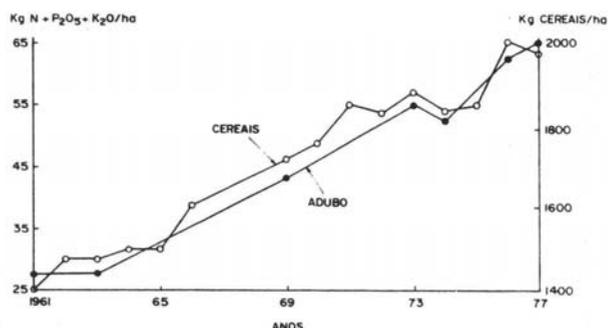
A conservação ou manutenção de recursos naturais, particularizando-se o solo, deveria ser mudada para conservação, melhoramento ou recuperação. É oportuno acrescentar os cinco princípios básicos pressupostos por Greenland (1975), que são essenciais para o manejo do solo em sistemas agrícolas sustentáveis, citados por Scholes *et al.* (1994):

- (1) os nutrientes minerais removidos pela cultura têm que ser devolvidos ao solo;
- (2) as condições físicas do solo devem ser mantidas, o que significa que o teor de húmus tem que permanecer constante ou aumentar;
- (3) não deve haver aumento na população de ervas más, pragas e moléstias;
- (4) não deve haver aumento na acidez do solo ou no teor de elementos tóxicos;
- (5) a erosão deve ser controlada, de modo que seja igual ou menor que a taxa de gênese do solo.

A participação do fertilizante e do corretivo de acidez na agricultura sustentável está clara nos itens (1) a (4) e implícita no (5).

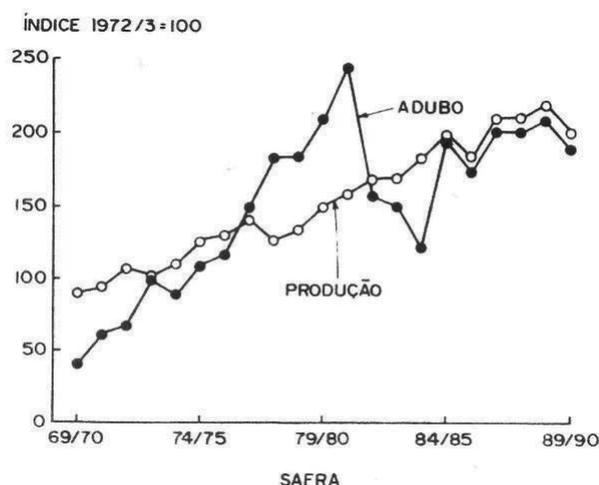
É redundante atribuir ao fertilizante um papel maior nos ganhos de produção através do aumento na produtividade. É conhecido o *slogan*: "o fertilizante é o meio maior, mais rápido e mais barato para aumentar a produção através de ganhos na produtividade".

As Figuras 6.1 e 6.2, elaboradas por Malavolta (1992), a partir de Peter (1980) e ANDA (comunicação particular, 1992) respectivamente, mostram a relação entre consumo de fertilizante e produção em âmbito mundial e brasileiro. A semelhança das figuras não é coincidência. Pode-se, porém, argumentar, para efeito de discussão, que o crescimento da produção foi devido ao aumento na área cultivada, o que, em parte, certamente ocorreu.



Fonte: MALAVOLTA (1992).

**Figura 6.1** - Relação entre consumo de adubo e produção mundial de cereais.

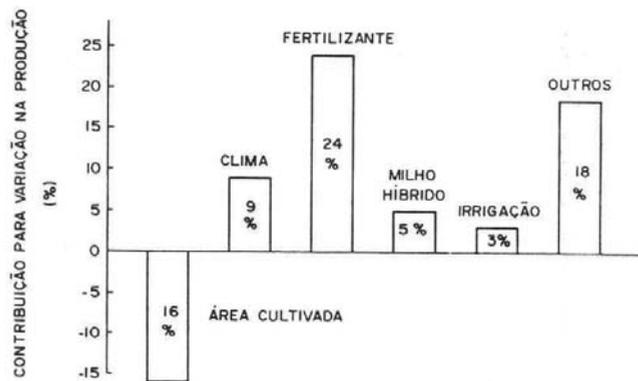


**Figura 6.2** - Relação entre consumo de fertilizantes e produção agregada de 16 culturas no Brasil.

Mas como mostra a Tabela 6.1, feita com dados reunidos por Malavolta e Rocha (1981), o fertilizante tem um notável efeito multiplicador de colheita. Nos milhares de experimentos conduzidos no Programa BNDE/ANDA, foi estimado que o fertilizante contribuiu com cerca de 30% no aumento de produtividade, sendo 70% da produtividade atribuída a outros fatores. Esse número é pouco maior do que o encontrado nos EUA, como mostra a Figura 6.3, reproduzida de MALAVOLTA (1992).

Como sugere a Figura 6.4, é crescente a participação do fertilizante no fornecimento de nutrientes da planta: nitrogênio e outros, o que significa dependência maior da agricultura para se sustentar e cumprir os seus fins.

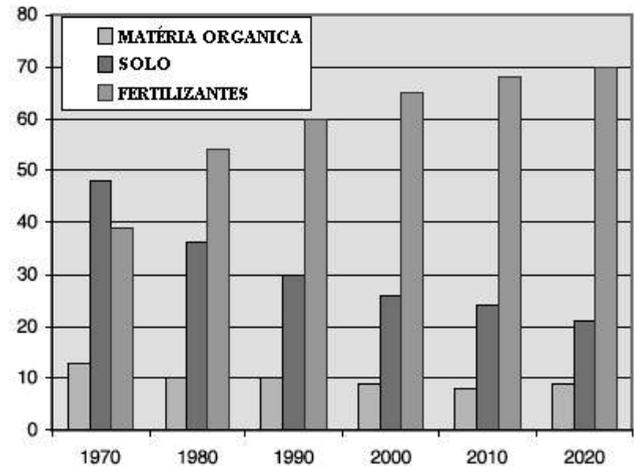
O ganho de produtividade tem uma consequência óbvia e outra menos evidente. A Figura 6.5, cortesia de A.S. Lopes, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, mostra que, no período 1970/2004, dobrou-se a produtividade das principais culturas, o que permitiu uma economia de 80 milhões de ha. O ganho de produtividade foi consequência do emprego dos diversos fatores de produção: semente melhorada,



Fonte: Malavolta, 1992.

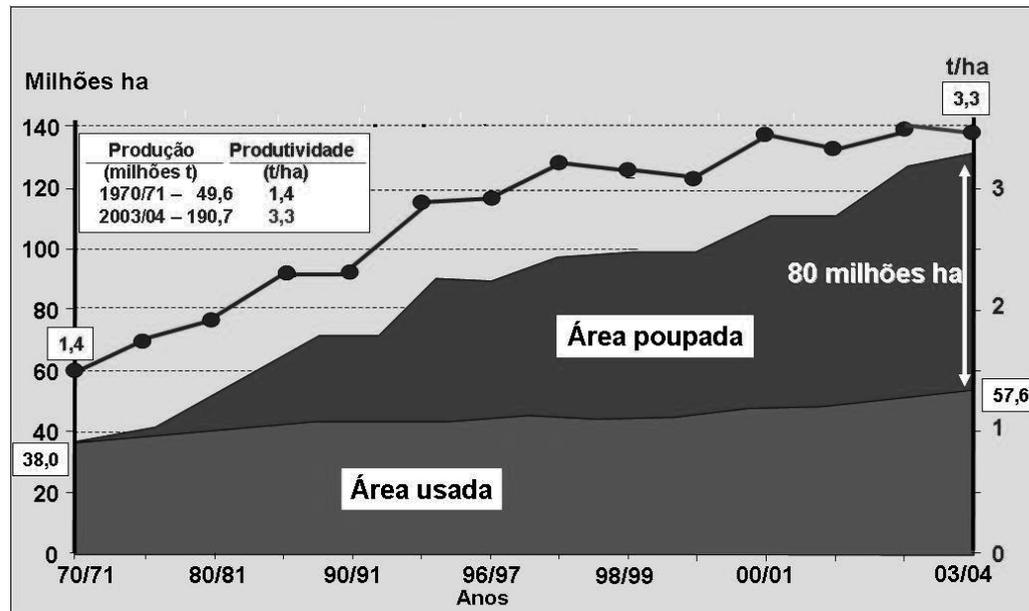
Figura 6.3 - Fontes de variação na produção, EUA, 1919 - 55.

tratos culturais, tratamento fitossanitário, cuidados pós-colheita, corretivo e, último, mas não menor, fertilizantes contendo N e outros nutrientes (Tabela 6.2 - consumo de NPK 70/2004). Admitindo que esses insumos sejam responsáveis por 25% do aumento na produtividade, atribui-se-lhes uma economia de 20 milhões de ha. Menos evidente é a manutenção da biodiversidade, "os ecossistemas poupados".



Fonte: Bockman et al., 1990.

Figura 6-4 - Origem atual e projetada global dos nutrientes das plantas



Fonte: Adaptado de Cardoso, 1998 e LSPA - IBGE, 2005.

Figura 6.5 - Terras poupadas no Brasil - produção agrovegetal (base seca) em 16 culturas e área poupada, 1970/71 a 2003/04.

Tabela 6.2 - Consumo aparente de fertilizantes NKP no Brasil, período de 1970 a 2004<sup>(1)</sup>.

Ano	Nitrogênio (N)	Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Potássio (K <sub>2</sub> O)
	toneladas		
1970	275.936	415.938	306.692
1971	278.324	535.864	350.842
1972	411.605	875.184	459.984
1973	346.102	804.512	528.532
1974	389.183	914.151	521.302
1975	389.232	993.718	511.256
1976	481.542	1.285.378	697.964
1977	688.623	1.569.928	927.165
1978	702.243	1.530.992	989.151
1979	778.653	1.685.012	1.103.374
1980	905.560	1.988.486	1.306.573
1981	667.840	1.319.243	766.646
1982	643.613	1.198.475	876.382
1983	553.142	991.829	727.063
1984	823.936	1.554.534	1.076.038
1985	751.314	1.257.056	1.060.196
1986	895.234	1.500.896	1.276.003
1987	880.805	1.503.815	1.302.307
1988	814.952	1.507.351	1.406.285
1989	823.256	1.296.202	1.263.689
1990	779.315	1.185.793	1.183.182
1991	781.526	1.217.375	1.205.987
1992	865.466	1.346.087	1.372.814
1993	1.014.779	1.546.066	1.589.414
1994	1.176.940	1.744.467	1.810.878
1995	1.134.645	1.494.953	1.679.201
1996	1.197.357	1.707.763	1.941.318
1997	1.302.201	1.947.996	2.241.710
1998	1.455.429	2.128.639	2.261.182
1999	1.393.049	1.966.966	2.078.873
2000	1.668.195	2.337.855	2.561.929
2001	1.639.915	2.482.260	2.715.901
2002	1.815.741	2.806.942	3.058.512
2003	2.223.075	3.414.281	3.811.816
2004	2.244.710	3.457.109	3.910.624

## 7. Fecho

*For those of us on the food production front, let us all remember that world peace will not - and can not - be built on empty stomachs. Deny farmers access to modern factors of production - such as improved varieties, fertilizers and crop protection chemicals - and the world will be doomed - not from poisoning, as some say, but from starvation and social chaos.*

Norman E. Borlaug, Prêmio Nobel da paz, 1970.

## 8. Referências bibliográficas

- ALVES, E.R.A. 1983. O dilema da política agrícola brasileira – produtividade ou expansão da área agricultável. EMBRAPA. Brasília. 108 p.
- ANDA - ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS. 2004. Anuário estatístico do setor de fertilizantes. ANDA. São Paulo. 162p.
- AYOUB, A.T. 1999. Fertilizers and the environment. Nutrient Cycling in Agroecosystems. 55: 117-121.
- BENCKISER, G. e SIMARMATA, T. 1994. Environmental impact of fertilizing soils by using sewage and animal wastes. Fertilizer Res. 37: 1-22.
- BERTON, R.S. 1992. Fertilizantes e poluição. In: IX Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas. p. 299-311. DECHEN, A.R. BOARETTO, A.E. e VERDADE, F.C. (eds.) Fundação Cargill. Campinas. 425 p.
- BISWAR, M.R. 1994. Agriculture and environment: a review, 1972-1992. Ambio 23 (3): 192-197.
- BOCKMAN, O.C.; KAARSTAD, O.; LIE, O.H. e RICHARDS, I. 1990. Agriculture and fertilizers. Agricultural Group, Norsk Hydro S.A. Oslo.
- BONGAARTS, J. 1994. Can the growing population feed itself? Sci. Amer. Mar. 18-24.
- BROWN, L.R. 1993. A new era unfolds. In: State of the World Report 1993, p. 3-21. Earth Scan Publ., Ltd. Londres. 268 p.
- CABEZAS, W.A.R.L.; KORNDORFER, G.H. e MOTTA, S.A. 1997. Volatilização de N-NH nas culturas de milho: II Avaliação de fontes sólidas e fluidas em sistema de plantio direto e condicional. R. bras. Ci. Solo (Viçosa) 21: 489-496.
- CANTARELLA, H.; GALLO, P.B.; BOLONHEZI, D. e QUAGGIO, J.A.. 2004. Inibidor de urease para produção de milho em plantio direto. FERTBIO 2004. 4p. (CD-ROM).
- CAO, M.; DENT, J.B. e HEAL, O.W. 1995. Methane emissions from China's paddyland. Agric. Ecosystems & Environment (Amsterdam) 55(2): 129-138.
- COLETI, J.T. 1989. Adubação foliar em cana-de-açúcar. In: Adubação Foliar, vol. II: p. 401-416. BOARETTO, A.E. e ROSOLEM, C.A. (Coords.) Fundação Cargill. Campinas. 669 p.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. 1999. Recomendações da Adubação e de Calagem para os Estados do Rio grande do Sul e Santa Catarina. 3ª ed. Pelotas. 223 p.
- COSTA, E.F.; VIEIRA, R.F. e VIANA, P.A. (Eds.) 1994. Quimificação – aplicação de Produtos Químicos e Biológicos via Irrigação. EMBRAPA – SPI. Brasília. 315 p.
- COSTA, M.B.B. (Coord.). 1985. Adubação orgânica – Nova Síntese e Novo Caminho para a Agricultura. Ícone Editora. São Paulo. 104 p.
- DAHER, E. 2006. Mercado de Fertilizantes – Situação Atual e Futura. In: I Seminário de Tecnologia de Fertilizantes. Rio de Janeiro: PETROBRAS (CD-ROM).
- DAFERT, F. 1888-1893. Sobre estrumes nacionais. Relatório do Instituto Agrônomo. Campinas.
- DELWICHE, C. C. 1965. The cycling of carbon and nitrogen in the biosphere. In: Microbiology and Soil Fertility, p. 29 – 58. GILMOUR, C.M. e ALLEN, O.N. (eds.) Oregon State University Press. Corvallis. 164 p.
- DELWICHE, C.C. 1981. The nitrogen cycle and nitrous oxide. In: Denitrification, Nitrification and Atmospheric Nitrogen Oxides. P. 1-16. DELWICHE, C.C. (ed.) John Wiley and Sons, Inc. Nova Iorque. 386 p.

- DUXBURY, J.M. 1994. The significance of a agricultural sources of greenhouse gases. *Fertilizer Res.* 38: 151-163.
- FARSHAD, A. e J.A.ZINCK 1993. Seeking agricultural sustainability. *Agric., Ecosystems and Environment (Amesterdam)* 47: 1-12.
- FENN, L.E.B.; TAYLOR, R.M. e MATUCH, J.E. 1981-a. Ammonia losses from surface applied nitrogen fertilizer as controlled by soluble calcium and magnesium, general theory. *Soil Sci Amer. J.* 45(4): 777-781.
- FENN, L.E.B.; MATUCHA, J.E. e WU, E. 1981-b. Ammonia losses from urea applied urea and ammonium fertilizers as influenced by rate of soluble calcium. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 45(5): 883-886.
- FENN, L.E.B.; MATUCHA, J.E. e WU, E. 1981-c. A comparison of calcium carbonate and pH depression on calcium reduced ammonia loss from surface applied urea. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 45(6): 1128-1131.
- FREITAS, F.G. e DA SILVEIRA, C.O. 1977. Principais solos sob vegetação do cerrado e sua aptidão agrícola. In: IV Simpósio sobre o Cerrado. FERRI, M.G. (Coord.) Livraria Itatiaia Editora Ltda. e Editora da Universidade de São Paulo. São Paulo.
- GLORIA, N.A.; SANTA ANA, A.G. e BIAGI. 1973. Composição dos resíduos da usina de açúcar e destilarias. *Brasil Açucareiro (Rio de Janeiro)* 81(6): 78-87.
- GREENLAND, D.J. 1975. Bringing the green revolution to the shifting cultivator. *Science* 190: 841-844.
- GREENLAND, D.J. 1993. Soil science and sustainable land management. In: *Soil Science and land Management in the Tropics*. p. 1-15. SYERS, J.K. e RIMMER, D.R. (eds.), CAB International and British Soc. Soil Sci. Wallingford. 290 p.
- GRUNDT, T. 1977-a. A eletrólise da água e suas possibilidades como base da produção de amônia. *Norsk Hydro a.s.* 29 p.
- GRUNDT, T. 1977-b. A moderna tecnologia de nitrofosfato com base no processo da Norsk Hydro. *Norsk Hydro a.s.* 15 p.
- HAMILTON, P.A. e HELSEL, D.R. 1995. Effects of agriculture on ground-water quality in five regions of the United States *Ground Water*. 33 (2): 217-226.
- HAUCK, R.D. e KOSHINO, M. 1971. Slow release and amended fertilizers. In: *Fertilizer Technology and use*. 2ª ed. P. 455-494. DINAUER, R.C. (ed.) Soil Science Soc. of America, Inc. Madison. 611 p.
- HOGAN, G.D. 1992. Physiological effects of direct impact of acid deposition on foliage. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 42: 307-319.
- HOMEM DE MELLO, F. 1994. O futuro agrícola brasileiro: desafios e problemas. Em: *Fórum Cargill de Debates "O futuro agrícola brasileiro"*. p. 15-30. HOMEM DE MELLO, F. (Coord.) Fundação Cargill. Campinas. 126 p.
- ISERMANN, K. 1983. The extent which agriculture is involved in environmental problems in modern industrial society. *Fertilizers and Agriculture (Paris)* 37(85): 3-25.
- JENNY, H. 1941. *Factors of soil Formation*. McGraw-Hill Book Co., Inc. Nova Iorque e Londres. 281 p.
- KENDALL, H.W. e PIMENTEL, O. 1994. Constraints on the expansion of the global food supply. *Ambio* 23 (3): 198-205.
- KIEHL, E.J. 1985. *Fertilizantes Orgânicos*. Editora Agronômica Ceres Ltda. São Paulo. 492 p.
- LACA-BUENDIA, A.J. 1989. Adubação foliar em algodão. In: *Adubação Foliar*, vol. II: p. 417-498. Fundação Cargill. Campinas. 669 p.
- LAEGREID, M.; BOCKMAN, O.C. e KAARSTAD, O. 1999. *Agriculture, Fertilizers & The Environment*. CABI Publishing & Norsk Hydro ASA. University Press. Cambridge. 294 p.
- LAL, R. 1993. Role of no till farming in sustainable agriculture in the tropics. In: *I Encontro Latino-americano sobre Plantio Direto na Pequena Propriedade*. P. 29-62. IAPAR, Londrina.

- MALAVOLTA, E. 1981. Manual de Química Agrícola - Adubos e Adubação. 3.<sup>a</sup> ed. Editora Agronômica Ceres Ltda. São Paulo. 596p.
- MALAVOLTA, E. 1992. Fertilizantes, corretivos e produtividade – mitos e fatos. XX Reu. Bras. Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas. p. 89-153. DECHEN, A.R. BOARETTO, A.E. e VERDADE, F.C. (coord.) Fundação Cargill. Campinas. 425 p.
- MALAVOLTA, E. 1994. Fertilizantes e seu Impacto Ambiental – Metais pesados, Mitos, Mistificação e Fatos. Produquímica. São Paulo. 153 p.
- MALAVOLTA, E. e COURY, T. 1957. Nota sobre aplicação de uréia em pulverização no cafeeiro. Bol. Super. Serv. Café, São Paulo 32: 14-15.
- MALAVOLTA, E e MORAES, M.F. 2006. Fundamentos do nitrogênio e do enxofre na nutrição mineral das plantas cultivadas. Simpósio “O Nitrogênio e o Enxofre na Agricultura Brasileira”, FEALQ/POTAFOS. Piracicaba, Abril. 80p (em editoração).
- MALAVOLTA, E. e NEPTUNE, A.M.L. 1983. Características e Eficiência dos Adubos Nitrogenados. Centro de Pesquisa e Promoção do Sulfato de Amônio SN. Bol. Tec. 2. São Paulo. 45 p.
- MALAVOLTA, E. e ROCHA, M. 1981. Recent Brazilian experience on farmer reaction and crop response to fertilizer use. In: Transferring Technology for Small Scale Farming. P. 101-113. N.R. Usherwood, ed. American Soc. of Agronomy. Madison. 150p.
- MAPA. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. 2006. Instrução normativa DAS nº 27, de 05 de junho de 2006. 8 p.
- MELARE, J.R. 1989. Adubação foliar em citrus. In: Adubação Foliar, vol. II: p. 367-370. BOARETTO, A.E. e ROSOLEM, C.A. (Coords.) Fundação Cargill. Campinas. 669 p.
- MENGEL, K. 1993. Impact of intensive agriculture on resources and environment. In: Optimization of Plant Nutrition. p. 613-617. FRAGOSO, M.A.C. e VAN BEUSICHEM, M.L. (eds.) Kluwer Academic Publ. Dordrecht. 682 p.
- MILLS, H.A.; BENTON JONES, J. JR. 1996. Plant Analysis Handbook II. Micro Macro Publishing Inc., Athens: 422p.
- MORAES, F.R.P. 1981. Adubação do cafeeiro. Macronutrientes e adubação orgânica. In: Nutrição e Adubação do Cafeeiro. MALAVOLTA, E.; YAMADA T. e GUIDOLIN, J.A. (eds.) Inst. Da Potassa e Fosfato (EUA) & Inst. Internacional da Potassa (Suíça). Piracicaba. 226 p.
- MOREIRA, F.M.S. e SIQUEIRA, J.O. 2006. Microbiologia e Bioquímica do Solo. 2<sup>a</sup> ed. Editora UFLA. 729 p.
- MOREIRA, F.M.S. 2005. Nitrogen – fixing *Leguminosae* – nodulating bacteria. Em: Soil Biodiversity in Amazonian and Other Brazilian Ecosystems. P. 237-270. MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. e BRUSSAARD, L. (eds.) CABI Publishing. Wallingford, Cambridge. 280 p.
- MOSIER, A.R.; SYERS, K.K. e FRENEY, J.R. 2004. Nitrogen fertilizer: an essential component of increased food, feed and fiber production and unenable sources of energy]. In: Agriculture and the Nitrogen Cycle – Assessing the Impacts of Fertilizer Use on Food Production and the Environment. P. 3-18. MOSIER, A.R.; SYERS, J.K. e FRENEY, J.R. (eds.) SCOPE 65. Island Press. Washington, Covelo, Londres. 296 p.
- NACIONES UNIDAS. 1969. Manual de Fertilizantes. Noiva Iorque. 258 p.
- NUNEZ, J.E.V.; AMARAL SOBRINHO, N.B.M.; PALMIERI, F. e MESQUITA, A.A. 1999. Conseqüências de diferentes sistemas de preparo do solo sobre a contaminação do solo, sedimentos e a água por metais pesados. R. bras. Ci. Solo 23: 981-990.
- O’RIORDAN e BENTHAM, G. 1993. The politics of nitrate in the UK. Em: Nitrate – Process, patterns and management. p. 39-74. BURT, T.P.; HEATHWAETE, A.L. e STRUDGILL, S.T. (eds.) John Wily and Sons. Chichester. 444 p.

- OLIVEIRA, J.M.S. e CAIRES, E.F. 2003. Adubação nitrogenada para o milho cultivado após aveia preta no sistema plantio direto. *Acta Scientiarum. Agronomy (Maringá)* 5(2): 351-357.
- OLIVEIRA, M.W.; TRIVELIN, P.C.O.; BOARETTO, A.E.; MURAOKA, T. e MORTATTI, J. 2002. Leaching of nitrogen, potassium, calcium and magnesium in sandy soil cultivated with sugarcane. *Pesq. Agropec. Bras. (Brasília)* 37 (6): 861-868.
- ORLANDO FILHO, J. 1994. Alternatives for an efficient use of mineral fertilizer and sugar factory residues with low soil degradation and environmental contamination risks. 15<sup>th</sup> World Congress Soil Science (Acapulco) vol. 79: 395-405.
- PEARSON, J. e STEWART, G.R. 1993. The deposition of atmospheric ammonia and its effects on plants. *New Phytol.* 125: 283-305. (Tansley review, 56)
- PESEK, J.; STANFORD, G. e CASE, N.L. 1971. Nitrogen production and use. In: *Fertilizer Technology and Use*, 2ª ed. P. 217-269. DINAUER, R.C. (ed.) Soil Sci. Soc. America, Inc. Madison. 611 p.
- PETER, A. von. 1980. Fertilizer requirements in developing countries. *The Fertilizer Society (Londres)*. Proc. 188. 58 p.
- PINSTRUP-ANDERSEN, P. 1993. Future perspectives on food supply in developing countries. *Outlook on Agriculture* 22 (4): 225-232.
- POWELL, R. 1968. *Controlled Release Fertilizers*. Noyes Development Corp. Park Ridge. 278 p.
- PRATT, P.F. e POMARES-GARCIA, F. Sem data. Organic materials as nitrogen fertilizers. Dep. Soil & Environmental Sciences, University of California, Riverside. Mimeo.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Eds.). 1996. *Recomendação de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo*. 2ª ed. Instituto Agrônomo & Fundação IAC. Campinas. 285p.
- REDDY, V.R.; REDDY, K.R. e ACOCK, B. 1995. Carbon dioxide and temperature interactions on stem extension, node initiation and fruiting in cotton. *Agric., Ecosystems & Environment (Amsterdam)* 55(1): 17-28.
- REICHARDT, K.; LIBARDI, P.L. e URQUIAGA, S.C. 1982. Fate of fertilizer nitrogen in soil-plant systems with emphasis on the tropics. In: *Agrochemicals: fate in food and environment*. p. 277-290. Proc. Symp. Roma. Internatl. Atomic Energy Agency. Vienna. 362 p.
- RUTTAN, V.W. 1993. Sustainable growth in agricultural production: poetry, policy and science. In: *Desenvolvimento Agrícola na Década de 90 e no Século XXI*. p. 11-26. TEIXEIRA, E.C. (ed.) FINEP & FAPEMIG. Viçosa.
- SALCEDO, I.H.; SAMPAIO, E.V.S.B. e CARNEIRO, C.J.G. 1988. Dinâmica de nutrientes em cana-de-açúcar. IV. Perdas de N por lixiviação em cana-planta fertilizada com uréia – <sup>15</sup>N. *Pesq. Agropec. bras. (Brasília)* 23 (7): 725-732.
- SANTOS, F.S.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B. e MAZUR, N. 2003. Conseqüências do manejo do solo na distribuição de metais pesados em um agrossistema com feijão de vagem (*Phaseolus vulgaris* L.). *R. bras. Ci. Solo* 27: 191-198.
- SCHOLES, M.C.; SWIFT, M.J.; HEAL, O.W.; SANCHEZ, P.A.; INGRAM, J.S.I. e DALAL, R. 1994. Soil fertility research I: response to demand for sustainability. In: *The Biological Management of tropical Soil Fertility*. p. 1-14. WOOMER, P.L. e SWIFT, M.J. (eds.) John Wiley & Sons. Nova Iorque.
- SCHROEDER, D. 1984. *Soils – Facts and Concepts*. Tradução de P.A. Gething International Potash Institute. Berna. 140 p.
- SENFT, D. e HAYS, S.M. 1995. Face in the future. *Agr. Res.* April 4-7.
- SHARP, J.C. 1960. Conversion of ammonia to fertilizer materials. In: *Chemistry and Technology of Fertilizers*. p. 10-36, v. Sauchelli, ed. Reinhold Publishing Corporation, Nova Iorque. 692 p.
- SKAULI, O. 1977. Granulação em tacho de nitrato de amônio e uréia. *Norsk Hydro a.s.* 18 p.
- SLACK, A.V. 1968. *Fertilizer Development and Trends*. Noyes Development Corp. Park Ridge.

- SOUSA, D.M.G. e LOBATO, E. (Eds.). 2002. Cerrado – Correção do Solo e Adubação. EMBRAPA Cerrados. Planaltina. 416 p.
- SPARKS, J.P.; MONSON, R.K.; SPARKS, K.L.; LERDAU, M. 2001. Leaf uptake of nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) in a tropical wet forest: implications for tropospheric chemistry. *Oecologia*, v.127, p.214-221.
- TAN, K.H. 1994. *Environmental Soil Science*. Marcel Dekker, Inc. Nova Iorque, Basileia, Hong Kong. 304 p.
- VINTEN, A.J.S.A. e SMITH, K.A. 1993. Nitrogen cycling in agricultural soils. Em: Nitrate – Processes, Patterns and Management. p. 39-74. BURT, T.P.; HEATHWAITE, A.L. e STRUDGILL, S.T. (eds.) John Wiley & Sons. Chichester. 444 p.
- VITOUSEK, P.M. 1994. Beyond global warming: ecology and global change. *Ecology* 75 (7): 1861-1876.
- VIVANCOS, A.D. 1993. *Fertirrigación*. Ediciones Mundi – Prensa. Madri. 216 p.
- WAYNE, R.P. 1993. Nitrogen and nitrogen compounds in the atmosphere. In: Nitrate – Processes, Patterns and Management. p. 23-38. T.P. BURT, T.P.; HEATHWAITE, A.L. e STRUDGILL, S.T. (eds.) John Wiley & Sons. Chichester. 444 p.
- WETSELAAR, R. e FARQUHAR, G.D. 1980. Nitrogen losses from tops of plants. *Advances in Agronomy*, v.33, p.263-302.
- WITTEWER, S.H.; BUKOVAS, M.J e TUKEY, H.B. 1963. Advances in foliar feeding of plant nutrients. Em: *Fertilizer Technology and Usage*. p. 429-455. MC VICKAR, M.H.; BRIDGER, G.L. e NELSON, L.B. (eds.) Soil Sci. Soc. America, Inc. Madison. 464 p.
- YUFERA, E.P. e DORRIEN, J.M.C. 1973. *Química Agrícola I. Suelos y Fertilizantes*. Editorial Alambra. Madri.
- YUNLONG, C. e SMIT, B. 1994. Sustainability in agriculture: a general review. *Agric., Ecosystem & Environment* 49: 299-307.

## Notas

<sup>1</sup> SHARP, 1960; PESEK *et al.*, 1971.

<sup>2</sup> PESEK *et al.*, 1971.

# Capítulo 8 - O fósforo na agroindústria brasileira

## Os autores

### Francisco Eduardo de Vries Lapidou-Loureiro

Geólogo, D.Sc. Geoquímica. Pesquisador Emérito CETEM/MCT.

E-mail: flapido@cetem.gov.br

### Ricardo Melamed

Eng. Agrônomo - Químico de Solos, Ph.D

Pesquisador do MCT

## 1. Introdução

*Quer os homens queiram ou não, se dobrarem a quantidade de trabalho sobre a mesma unidade de terra, não dobrarão a produção, a não ser que introduzam aperfeiçoamentos na técnica de produção* (John Stuart Mill – Princípios de Economia Política, 1848).

A prática de usar materiais fosfáticos como fertilizantes é tão antiga que não há registro de seu início. Excrementos de aves eram usados pelos cartagineses há mais de 200 anos a.C., e os incas utilizavam guano<sup>1</sup> muito antes da chegada dos espanhóis (WAGAMAN, 1969).

O fósforo foi isolado pela primeira vez em 1669 pelo alquimista alemão Henning Brandt, ao evaporar grandes quantidades de urina humana. Só cem anos mais tarde, o químico sueco Gahn descobre sua presença nos ossos e, dez anos depois, no mineral piromorfita (fosfato de chumbo). Foi somente em 1840 que Justus von Liebig, renomado químico da Alemanha, formulou a base científica de produção de ácido fosfórico. Em 1842, o fazendeiro inglês Bennet Lawes patenteou um processo de acidulação de nódulos fosfatados (coprólitos) e deu a este produto o nome de superfosfato, que se mantém até hoje (WAGAMAN, 1969).

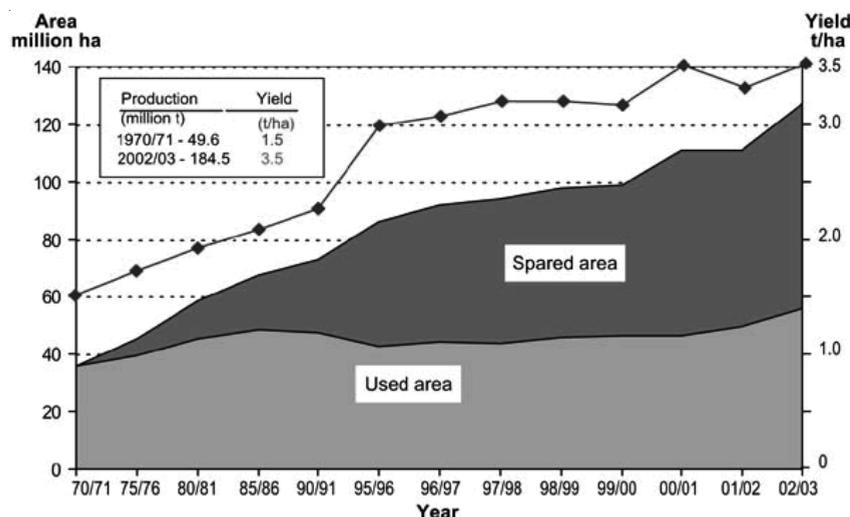
Atualmente há uma tendência de subestimar os efeitos positivos do uso de fertilizantes e ampliar

os seus aspectos negativos. Não se deve esquecer, porém que:

*“as to contamination of soils with toxic heavy metals, it can easily be shown that mineral fertilizers make only a rather small contribution in comparison with, for example, town wastes. .../ Nutrient losses from soil into surface and ground water (mainly nitrate by leaching and phosphate by erosion) occur even when fertilizers are not used, but they are increased substantially by excessive or unbalanced use, which can be avoided”* (IFA, 2005).

### 1.1. Cenário econômico dos fertilizantes fosfatados

Os fertilizantes, ao promoverem o aumento de produtividade agrícola, contribuem para proteger e preservar milhares de hectares de florestas e matas nativas, assim como a fauna (PUGGINA *apud* ISHERWOOD, 2000; LOPES *et al.*, 2003). No Brasil, entre 1970 e 2001, a produção agrícola dos 16 principais produtos cresceu 3,4 vezes, enquanto a dos fertilizantes aumentou 4,4 vezes. Naquele período, a área cultivada cresceu apenas 1,5 vez, passando de 36,4 para 56,2 Mha (FAO, 2004). O aumento de rendimento das culturas devido à aplicação de fertilizantes teve um reflexo muito positivo em termos de conservação ambiental, bem evidenciado na Figura 1.1.



Fonte: FAO, 2004.

**Figura 1.1** - Área cultivada, produção agrícola e área poupada no Brasil.

Em 2004, foram comercializadas, no Brasil, 22,8 Mt de fertilizantes (ANDA, 2005). Em escala mundial, o País apresenta a segunda maior taxa de crescimento (YARA, 2004). O mercado nacional de fertilizantes triplicou o seu volume entre 1991 e 2003, com uma taxa de crescimento anual de 8,6%, mas a produção interna satisfaz apenas uma parcela do consumo: fósforo (52%); nitrogênio (32%) e potássio (10%).

O balanço de nutrientes (macronutrientes principais) no Brasil, em 2006, é apresentado, de forma sintética, na Tabela 1.1.

**Tabela 1.1** - Balanço de nutrientes no Brasil em 2006 (10<sup>3</sup> t de nutrientes).

Itens	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Total
1-Estoque inicial	268	377	314	959
2-Produção	762	1.923	384	3.069
3-Importação	1.694	2.102	3.942	7.738
4-DISPONIBILIDADE (1+2+3)	2.724	4.402	4.640	11.766
5-Exportação	40	14	81	262
6-Entregas	2.245	3.457	3.910	9.612
7-Quebras/Ajustes	66	98	92	256
8-ESTOQUE FINAL (4-5-6-7)	373	706	557	1.636

Fonte: ANDA, 2007.

Os números da Tabela 1.1 indicam claramente que o Brasil apresenta forte dependência da importação de fertilizantes. No domínio dos fosfatados, o valor das importações atingiu, em 2006, US\$ FOB 1,170 bilhão, principalmente de produtos intermediários (US\$ FOB 1,013 bilhão) corresponde a 5 Mt (DNPM, 2005).

Todos os indicadores mostram claramente que esta dependência continuará a aumentar fortemente se não forem implantados

novos projetos, tanto mais que, "em geral, o balanço de nutrientes na agricultura brasileira é insatisfatório. A quantidade de nutrientes removida é superior à aplicada" (FAO, 2004).

Devem ainda ser considerados os sérios problemas logísticos que surgem nos portos de um país como o Brasil, quarto maior consumidor mundial de fertilizantes e grande importador (mais de 7 Mt só de fosfatados), com a movimentação e armazenagem de milhões de toneladas de um produto, cujo consumo é de marcante sazonalidade.

Além disso, ao seguir política essencialmente importadora, o Brasil converter-se-á:

*“em imenso armazém de produtos estrangeiros, administrado por empresas de cunho estritamente comercial, em que não seria importante saber fazer, mas somente saber vender, dizimando-se um incomensurável conhecimento científico construído a duras penas às custas de uma sociedade que não pode se dar ao luxo de perdê-lo” (pronunciamento de G. de Filippe Jr. em 31/10/90, no V Encontro Nacional de Rocha Fosfática).*

O fósforo pode ser adicionado ao solo como adubo comercial (químico), esterco de curral ou de galinha, lodo de esgoto, restos de colheita ou outros subprodutos. Estas práticas, porém, não são suficientes, havendo necessidade de se usar outras fontes (POTAFOS, 1996).

Da mina (rochas fosfatadas) até os produtos industriais (ácido fosfórico e seus derivados) e aos campos de cultivo (fertilizantes), o fósforo segue vários caminhos em função da tipologia do minério, da distribuição geográfica das jazidas e centros de consumo, das substâncias fabricadas, das características do parque industrial e da recuperação de subprodutos com valor comercial, ao que se associa redução/eliminação de agentes causadores de impactos ambientais, nomeadamente metais pesados e elementos radioativos.

São as características mineralógicas, químicas e texturais dos minérios/concentrados fosfáticos que determinam: i) a melhor opção para seu beneficiamento e remoção de impurezas; ii) o melhor processo químico; iii) a vantagem de sua utilização como Rocha Fosfática de Aplicação Direta (DAPR – *Direct Application Phosphate Rock*) (ZAPATA e ROY, 2004).

Devido ao componente fósforo, a principal aplicação da apatita é na fabricação de ácido fosfórico para fertilizantes que, tanto em escala mundial quanto nacional, consome cerca de 90% da sua produção, restando, portanto, apenas 10% para outras aplicações. Dos fertilizantes fosfatados, 90% são obtidos por via química, 2%, por via térmica, e 6% são aplicados sob a forma natural. Os 2% restantes são obtidos de forma específica para outras aplicações.

A lavra e o beneficiamento de minérios fosfatados, em escala industrial, só foram iniciados, no Brasil, em 1943, pela empresa Serrana, em Jacupiranga – São Paulo, a partir de minério residual (enriquecido supergenicamente) com alto teor de  $P_2O_5$ , e a de ácido fosfórico, na segunda metade dos anos 60.

Entre 1943 e 1964 foram produzidas cerca de 500.000 toneladas de concentrados fosfatados. Antes da exaustão das reservas de minério rico, a Companhia Serrana iniciou, na década de 60, sob responsabilidade do professor Paulo Abib, intensivos trabalhos pioneiros de pesquisa tecnológica em minérios de baixo teor. A sua operação industrial teve início em 1970 com a produção de 300.000 t/ano de concentrados fosfatados. O processo de concentração concebido pelo professor Paulo Abib “serviu de base para o desenvolvimento tecnológico que garantiu a produção de concentrados fosfatados a partir dos jazimentos nacionais” (DE FILIPPE, 1990).

O forte crescimento da demanda de fertilizantes começou a verificar-se no início dos anos 70, coincidindo com o desenvolvimento da agricultura no cerrado.

*“A decisão de se implantar o parque industrial para aproveitamento de fosfato nacional se deveu, principalmente, aos efeitos da crise mundial do petróleo sobre as economias ocidentais no início da década de 70, quando atitudes especulativas dos fornecedores internacionais de rochas fosfáticas<sup>2</sup>, levaram o Governo Federal a propor um programa intensivo de industrialização interna dos recursos minerais existentes. [...] O preço da rocha fosfática internada à época, nas indústrias da Baixada Santista superou a casa dos US\$ 100/t. A produção nacional de rocha fosfática, em 1976, supria 19% do consumo efetivo brasileiro, atingiu 93% em 1981 e em 1985 alcançou a auto-suficiência” (DE FILIPPE, 1990).*

Em 1979 foram implantadas as usinas da FOSFAGO e da VALEP, com capacidade para 500 e 900 mil t/ano, respectivamente, e em 1982 entrou em produção a usina da GOIASFÉRTIL, com capacidade para 570.000 t/ano. Segundo dados do DNPM, o consumo aparente de matérias primas fosfatadas,

concentrados apatíticos (7,6 Mt), ácido fosfórico (2,6 Mt) e produtos intermediários (compostos químicos)<sup>3</sup> para fertilizantes (12,3Mt), em 2004, apresentou, em relação ao ano anterior (6,7Mt - 2,5Mt - 10Mt, respectivamente), crescimento de 14,2%, 6% e 22,6%.

Em 2004, a indústria brasileira movimentou mais de 35 Mt de rocha fosfática com um teor médio próximo de 16% de  $P_2O_5$  (cerca de 6 Mt de concentrado contendo 2,2 Mt de  $P_2O_5$ ), o que representou um crescimento de 8,8% em relação ao ano anterior.

Na Tabela 1.2 sintetizam-se os principais dados estatísticos de produção, importação e consumo aparente de fertilizantes fosfatados no Brasil.

Em minucioso e extenso trabalho elaborado pela *Land and Water Development Division* da FAO e pela Agência Internacional de Energia Atômica, Zapata e Roy (2004) chamam a atenção para o fato de numerosos depósitos de rochas fosfáticas, localizadas nos trópicos e subtropicais, não terem sido aproveitados até hoje. Uma das razões seria a característica destas rochas fosfatadas que, embora satisfaçam uma aplicação direta, não apresentam a qualidade necessária para produção de fertilizantes solúveis em água, seguindo o processo convencional.

As rochas mais acessíveis e de melhor qualidade tendem a ser exploradas inicialmente. De acordo com as estatísticas da IFA, a média do conteúdo de  $P_2O_5$  das 125 Mt de rocha fosfática exploradas em 1980 era de 32,7%, enquanto a dos 141 Mt, em 1996, foi de 29,5% (ISHERWOOD, 2000).

A aplicação direta de rocha fosfática como fertilizante está sendo estudada em várias instituições de diversos países. Foram conseguidos progressos consideráveis nos anos 90, e os resultados estão disponíveis em várias publicações (ZAPATA e ROY, 2004). As de origem sedimentar são as mais adequadas para aplicação direta, porque são formadas por agregados microcristalinos de carbonatoapatitas, com uma área específica razoavelmente bem desenvolvida.

Segundo Oba e Pinto Chaves (2000) e Oba (2004), o caminho dos organo-fosfatados poderá ser mais uma opção/solução para o aproveitamento racional de minérios pobres e de rejeitos fosfatados.

No Brasil, o consumo aparente de fósforo pela agricultura tem crescido a taxas elevadas. De 48.200 toneladas, em 1950, passou a ser de 3,54 milhões de toneladas, em 2003 (Figura 1.2), das quais apenas 49,3% (1,75 Mt) são produzidas no Brasil.

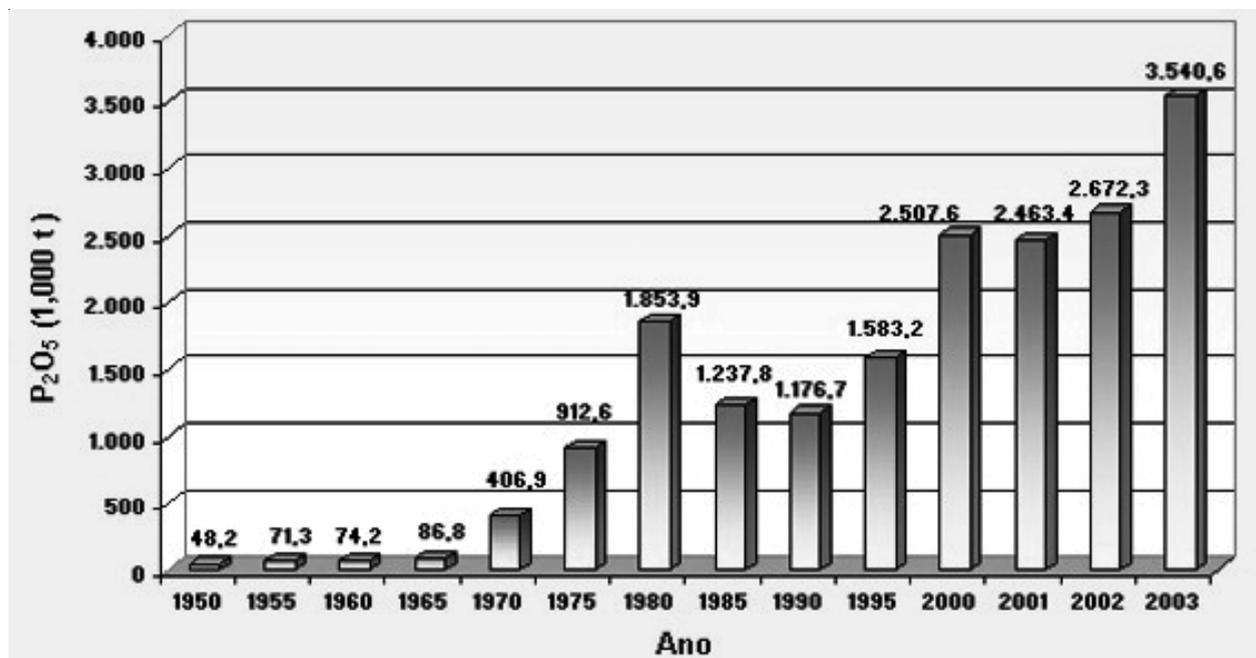
**Tabela 1.2** – Principais estatísticas dos fertilizantes fosfatados no Brasil.

	Descrim.	2000	2001	2002	2003	2004
Produção (t x 10 <sup>3</sup> )	(A)	4.725	4.805	5.084	5.584	6.074
	(B)	1.843	1.820	1.891	2.079	2.168
	(C)	5.848	5.679	5.740	6.997	7.950
Importação (t x 10 <sup>3</sup> / US\$ x 10 <sup>6</sup> )	(A)/US\$	981 / 53,9	1.004 / 50,1	1.058 / 48,8	1.105 / 51,6	1.564 / 74,9
	(B)/US\$	269 / 56,8	335 / 63,2	387 / 68,461	392 / 69,8	448 / 82,3
	(C)/US\$	2.327 / 463,0	2.737 / 479,8	2.774 / 535,8	3.633 / 655,8	5.053 / 1.012,9
Consumo Aparente (t x 10 <sup>3</sup> )	(A)	5.705	5.809	6.141	6.688	7.637
	(B)	2.109	2.153	2.274	2.462	2.610
	(C)	7.935	8.119	8.089	10.040	12.310

Fonte: DNPM – Sumário Mineral 2001 a 2005.

(A) => Concentrado; (B) => Ácido Fosfórico; (C) => Produtos Intermediários

(A)/US\$ => Conc./US\$; (B)/US\$ => Ac. Fosfórico/US\$; (C)/US\$ => Prod. Intermediários/US\$



Fonte: POTAFOS, 2005.

Figura 1.2 - Evolução do consumo aparente de fósforo no Brasil .

É neste contexto que a indústria dos fertilizantes no Brasil, nomeadamente a dos fosfatados, deve sinalizar objetivos e definir uma estratégia que lhe permita reduzir a forte e progressiva dependência externa.

Embora timidamente, a indústria dos fertilizantes fosfatados parece ter retomado o seu desenvolvimento, traduzido: i) na implantação, em 2004/05 dos projetos para colocação em produção das jazidas de Iperó/Ipanema – SP, de Anitápolis – SC (300 mil toneladas/ano de concentrado); ii) em negociações para a entrada em produção de Itataia – CE (fosfato e urânio como co-produto); iii) num projeto de aumento da capacidade de produção da mina de Catalão/Ouvidor da empresa COPERBRÁS, que passará das atuais 1,3 Mt para 2,2 Mt; iv) no programa de investimento da FOSFERTIL, em andamento, nas áreas de mineração, nos seus complexos químicos e no estudo para implantação de uma unidade de solubilização (TSP) com 350 t/ano e outra de granulação de MAP (Fonte: DNPM).

No extremo norte do estado da Bahia, em Angico dos Dias / Caracol, a empresa Galvani S.A. iniciou a

produção de concentrados apatíticos, por separação magnética, conseguindo assim vencer, com esta metodologia, a falta de água na região.

## 1.2. Estrutura agrária e consumo de fertilizantes

No Brasil, a evolução da forma de distribuição e do acesso à terra deixa transparecer, de forma clara, desde os primórdios do Período Colonial, suas desigualdades. “As marcas que caracterizam a concentração fundiária no Brasil têm a sua origem na própria história do País” (OLIVEIRA, 2005).

Antes de se esboçarem as principais características da estrutura agrária do Brasil, apresentam-se alguns dados físicos (Tabela 1.3).

Deve ainda ser considerado que as reservas indígenas (homologadas, reservadas ou em processo de identificação fora da floresta amazônica) totalizam 101 Mha, segundo o IBAMA.

O cerrado entra na tabela anterior de forma indefinida, mas a Embrapa apresenta os seguintes dados para a totalidade da sua área, em Mha: área total (204), área agricultável (127), pastagens culti-

vadas (34), culturas anuais (10), culturas perenes e reflorestamento (2); com o seguinte potencial de produção (Mt), grãos (240), carne (11) e frutas (90).

Para se compreender a estrutura agrária do Brasil, caracterizada pela existência de grande número de pequenas propriedades em grandes estados da Federação, principalmente no Nordeste, e de muitas propriedades com 500 a 2.000 ha (10,8% do total da região) ou até com áreas superiores a 2.000 ha (4,1%), no Centro-Oeste, é necessário retornar aos primeiros tempos da agricultura do País, intimamente ligados ao extrativismo do *Pau Brasil* e à produção de cana-de-açúcar, esta baseada em trabalho de escravos, mas ambos desenvolvidos ao longo da costa. Muito mais tarde, já no Império, foi o café que se transformou, nos seus primórdios, em agricultura itinerante por falta de conhecimentos e de tecnologia para recuperação dos solos (Ver Anexo I).

A quase monocultura de café para exportação foi dando lugar a outros tipos de culturas e, atualmente, se excetuarmos a produção de soja, citros e arroz, as propriedades de menos de 100 ha são responsáveis por uma importante parcela da produção agrícola brasileira: mandioca (85%), feijão comum (78%), batata (69%), algodão (66%), milho (64%), cacau (61%), café (54%) e trigo (54%).

Dados do IBGE revelam que o Brasil tem 4.848.183 propriedades agrícolas (IBGE, 2003) assim distribuídas (x10<sup>3</sup>): Norte, 444 (9,2%); Nordeste, 2.309 (47,7%); Sudeste, 841 (17,3%); Centro-Oeste, 242 (5,0%); Sul, 1.002 (20,8%). A sua distribuição, de acordo com o tamanho, é sintetizada na Tabela 1.4. Cerca de metade delas tem menos de 10 ha e 89%, menos de 100 ha, mas representam, atualmente, apenas 1/5 da área agrícola do Brasil (FAO, 2004).

**Tabela 1.3** – Utilização da terra no Brasil.

Tipos de utilização da terra	Milhões de ha		%	
<b>1. Terras com utilização econômica</b>				
Lavouras temporárias	38,5		4,5	
Lavouras temporárias em descanso	4,0		0,5	
Culturas permanentes	7,5		0,9	
Pastagens cultivadas	99,7		11,7	
Pastagens naturais	78,0		9,2	
Florestas artificiais	5,4		0,6	
Terras irrigadas	3,0	<b>236,1</b>	0,4	<b>27,8</b>
<b>2. Coberturas naturais</b>				
Florestas de regiões úmidas	367,7		43,1	
Florestas de regiões secas	54,4		6,4	
Florestas alagadas	14,2		1,7	
Florestas de transição	28,2	<b>464,5</b>	3,3	<b>54,5</b>
<b>3. Cerrados</b>	73,2	<b>73,2</b>	8,6	<b>8,6</b>
<b>4. Terras com outros usos</b>				
Solos rochosos, áridos ou com vegetação dispersa	3,5		0,4	
Rios e lagos, naturais ou artificiais	11,4		1,4	
Áreas urbanas	2,1		0,2	
Outras especificações ou usos indefinidos	60,7	<b>77,7</b>	7,1	<b>9,1</b>
<b>TOTAL</b>		<b>851,5</b>		<b>100,0</b>

Fonte: FAO, 2004 (adaptado de Manzatto et al., 2002 e Embrapa, 2003).

Outra distribuição geográfica elucidativa é a das propriedades agrícolas que adotam tecnologia de produção (Tabela 1.5). Nas grandes propriedades de produtos de exportação (soja, café, açúcar e citros), são largamente utilizadas tecnologias eficientes e seus índices de produtividade são elevados, ao contrário do que se verifica na maioria das propriedades familiares.

Em relação às diferenças das quantidades de aplicação de fósforo fertilizante, os números são também elucidativos (valores expressos em toneladas de  $P_2O_5$ ):

— **Centro, Sudeste e Sul** (2,8 milhões de  $km^2$ ) => **3.129.666 t**

Centro/Sudeste (DF, ES, GO, MT, MS, MG, PR, RJ, SP, TO) => 2.599.666 t

Extremo Sul (RS, SC) => 530.000 t

— **Norte-Nordeste** (5,7 milhões de  $km^2$ ) => **327.089 t**

Norte (AC, AP, AM, PA, RO, RR) => 28.283 t

Nordeste (AL, BA, CE, MA, PB, PE, PI, RN, SE) => 298.806 t

Na vasta região Norte-Nordeste, com 5,7 M $km^2$ , o consumo de  $P_2O_5$  (0,33 Mt) é 9,6 vezes menor do que na região Centro-Sudeste-Sul (3,12 Mt), com 2,8 M $km^2$  de área, enquanto o número de propriedades, 2.753.000 (56,9%) das quais 444.000 no Norte (9,2%) e 2.309.000 (47,7%) no Nordeste, é 1,2 vez superior ao do restante do País.

O reduzido recurso a tecnologias produtivas explica a baixa produtividade média das regiões Norte e Nordeste onde se localizam, respectivamente, 9,2% e 47,7% das propriedades agrícolas do Brasil.

**Tabela 1.4** – Distribuição geográfica / dimensões das propriedades agrícolas no Brasil (em %).

Região	< 10 ha	10 a 100 ha	100 a 500 ha	500 a 2000 ha	> 2.000 ha
Norte	30,4	48,3	17,0	2,8	0,9
Nordeste	68,1	26,2	4,8	0,8	0,1
Centro-Oeste	13,4	45,8	25,9	10,8	4,1
Sudeste	34,1	51,0	12,6	2,0	0,3
Sul	37,7	55,4	5,6	1,2	0,1
Total Brasil	49,7	39,6	8,5	1,8	0,4

Fonte: IBGE, 2003.

**Tabela 1.5** – Proporção, por regiões, das propriedades que usam tecnologia agrícola e eletricidade (%).

Região	AT	FC	PC	CS	Ir	EE
Norte	6,6	9,5	44,2	0,8	0,7	10,7
Nordeste	4,1	18,2	50,5	6,5	4,9	20,0
Centro-Oeste	32,9	36,8	91,6	19,4	4,4	51,9
Sudeste	30,6	64,5	83,2	30,1	12,4	61,9
Sul	48,6	76,4	92,2	45,5	5,4	73,7
Total Brasil	19,6	38,4	66,3	18,8	5,9	39,1

Fonte: IBGE, 2003.

AT = Assistência Técnica; FC = Fertilizantes e Calagem; CS = Controle Sanitário (peste); Ir = Irrigação; EE = Energia Elétrica

Segundo os Censos Agropecuários do Brasil, em 1970, apenas 18,6% dos estabelecimentos agropecuários consumiam fertilizantes químicos ou orgânicos. Aquele percentual foi aumentando: 22,3%, em 1975, 32,1%, em 1980, caiu para 30,5 em 1985, e subiu novamente para 38,3%, em 1995/1996 (OLIVEIRA, 2005).

O aumento do número de estabelecimentos que consomem fertilizantes é um fato, “porém a realidade brasileira revela que em 1995/96, mais de 60% dos estabelecimentos agropecuários não empregavam nenhum tipo de fertilizante” (*op. cit.*).

## 2. Fontes de fósforo para a agricultura

O fósforo existe com certa abundância na natureza (é o décimo elemento mais comum): 1.050 ppm na crosta terrestre e teores médios de 8.690 ppm em carbonatitos, 650 ppm em granitos e 390 ppm em diabásios (HEINRICH, 1966; MASON, 1971). Seus minérios são rochas naturais que se formam em ambientes geológicos variados. Habitualmente os minérios contêm mais de um tipo de fosfato, sendo os mais comuns os fosfatos de cálcio do grupo da apatita. Quando em quantidade e concentração suficientes, formam depósitos de valor econômico. Estes minérios podem então ser utilizados diretamente, ou após beneficiamento, na manufatura de produtos comerciais. Sua principal aplicação é na agricultura, como fertilizante.

O Webmineral [<http://webmineral.com>] lista 370 minerais com teores de fósforo acima de 10%. Apresenta simultaneamente suas fórmulas químicas, teor e peso molecular. Destes minerais, 98 apresentam teores de fósforo superiores aos da apatita: 18,25% de P (ver Anexo II). A grande maioria tem apenas significado científico e mineralógico, dada a sua raridade. Só os do grupo da apatita constituem minerais de minério.

Para se ter uma idéia da complexidade dos minérios fosfatados, lembremos que: i) o radical  $\text{PO}_4$  combina-se com mais de 30 elementos para formar minerais fosfatados; ii) nesses minerais pode haver um grande número e variedade de substitui-

ções entre íons similares; iii) praticamente todos os elementos, por vezes apenas em traço, são encontrados nos minerais fosfatados; iv) são muito comuns substituições P-As-P, com formação de soluções sólidas completas, entre alguns fosfatos e arsenatos; v) a temperaturas elevadas são também possíveis substituições entre fosfatos e silicatos. Assim, é quase impossível estabelecer uma única fórmula satisfatória para muitos dos minerais fosfatados.

### 2.1. Mineralogia do fósforo

Embora o fósforo esteja presente em numerosos minerais, como se referiu, apenas os da série da apatita constituem minerais de minério. As variedades fluorapatita [ $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F},\text{OH})$ ], hidroxiapatita [ $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH},\text{F})$ ] e, mais raramente, cloroapatita [ $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{Cl},\text{OH})$ ] ocorrem nas rochas de origem ígnea, principalmente em carbonatitos. Já na maioria dos depósitos sedimentares predominam as variedades de carbonatoapatita [ $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{CO}_3)(\text{OH},\text{F})$ ] e carbonato-fluorapatita [ $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F},\text{OH})$ ] – francolita (MCCLELLAN e KAUVENBERGH, 1990; ZAPATA e ROY, 2004).

A apatita, de fórmula geral  $\text{M}_{10}(\text{YO}_4)_6(\text{X}_2)$ , em que  $\text{M} = \text{Ca}^{2+}$ , com substituições possíveis por  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Sr}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Sc}^{2+}$ ,  $\text{ETR}^{3+}$  (0,85 a 1,2 Å);  $\text{Y} = \text{P}$ , que pode ser substituído por  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CrO}_4^{2-}$ ,  $\text{VO}_4^{3-}$ ;  $\text{X} = \text{F}^-$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{Cl}^-$  (DUTRA e FORMOSO, 1995), forma, juntamente com as suas variedades, importante grupo de minerais. O  $\text{Ca}^{2+}$  pode ser substituído, em parte, por íons positivos tais como: ETR (elementos de terras-raras), principalmente céricas nas apatitas ígneas, e cérico-ítricas nas de origem sedimentar marinha e, além dos elementos citados acima, por urânio e chumbo. O radical  $\text{PO}_4^{3-}$  pode também ser substituído, em parte, além dos ânions já referidos, por pequenas quantidades de  $\text{UO}_4^{2-}$ ,  $\text{AsO}_4^{2-}$  ou  $\text{SiO}_4^{4-}$ .

A apatita é um mineral quase sempre presente nas rochas carbonatíticas. Embora cristalize nas fases precoces, pode persistir como mineralização tardia sob a forma de fluorapatitas ou carbonato-fluorapatitas, ricas de TR e Sr.

As apatitas de carbonatitos mostram-se, com frequência, zonadas, habitualmente com enriquecimento de ETR e Na, no anel periférico, e de Sr e F, no núcleo. Em alguns carbonatitos, os minerais da série da apatita contêm a maior parte das TR, do F e do Sr. No carbonatito de Oka, no Québec, Canadá, a britholita  $[(Ca,Ce)_5(SiO_4,PO_4)_3(OH,F)]$ , por exemplo, isomorfa da apatita, chega a conter 26,2%, em peso, de OTR (óxidos de TR). A belovita -  $(Sr,Ce,Na,Ca)_5(PO_4)_3OH$  – um fosfato com TR, é apenas referida em rochas alcalinas silicatadas, não em carbonatitos.

No Brasil, a meteorização (intemperismo)/lateritização de carbonatitos e piroxenitos (rochas-mãe das apatitas nas minas em produção) provocam o enriquecimento relativo em fósforo, que praticamente não migra (comporta-se como elemento de certo modo residual), enquanto os carbonatos e silicatos são desestabilizados. Isto não significa que a apatita primária se mantenha intacta, pois pode haver solubilização/cristalização, principalmente nos níveis superficiais, que se tornam mais ácidos após solubilização dos carbonatos. Segundo Alcover Neto e Toledo (1989), a recristalização dos fosfatos processa-se normalmente na seguinte ordem:

- Apatita primária  $\Rightarrow$  Apatita secundária  $\Rightarrow$  Fosfatos de Ca-Mn-Na-Al  $\Rightarrow$  Fosfatos de Al e Fe  $\Rightarrow$  Fosfatos de Al + Fosfatos de Fe

Esses autores, citando estudos feitos pela *British Sulphur Corporation Limited*, em depósitos sedimentares associados a calcários e margas, situação geoquimicamente semelhante à dos carbonatitos, indicam que o comportamento do fósforo nos depósitos brasileiros associados a carbonatitos é o seguinte:

- no estágio inicial de alteração, soluções levemente ácidas promovem a dissolução dos carbonatos, tornando o meio ligeiramente alcalino; a apatita, pouco solúvel nestas condições, se manterá inalterada;

- em níveis onde os carbonatos já foram totalmente solubilizados, o ambiente torna-se ácido e a apatita é também solubilizada;
- uma parte do fósforo, assim mobilizado, é fixado, com outros cátions, em minerais secundários como, por exemplo, os fosfatos de alumínio com Ba, Fe, Sr, TR e outros elementos; o restante migra para níveis inferiores do perfil, podendo formar, eventualmente, apatita secundária, ao atingir níveis alcalinos.

No ciclo do fósforo deve-se atentar para o fato de que seus minerais, em particular os do grupo da crandalita, apresentarem estruturas favoráveis à fixação de Sr, Ba, TR, U, Th, V podendo conter, por isso, quantidades apreciáveis desses elementos.

O mineral de minério predominante nos depósitos fosfáticos brasileiros é a fluorapatita, porém carbonato-fluorapatita e carbonato-apatita também são constituintes minerais significativos. Em Patos de Minas, por exemplo, as variedades mais abundantes são: a flúor-carbonato apatita ou uma mistura de fluorapatita e carbonato-apatita (MARCIANO NETO *et al.*, 1990). No manto de intemperismo sobre o complexo ultramáfico-carbonatítico de Araxá,

*“a carbonato-apatita é encontrada subordinadamente na interface rocha sã - manto intemperizado, mas constitui componente importante em material apatítico reprecipitado, onde representa o cimento que une grãos de apatita eluvionar ou ocorre como crostas tardias revestindo as paredes de espaços vazios”* (BRAGA e BORN, 1988).

Como é citado por Born e Kahn (1990), observa-se situação similar em Angico dos Dias e, em menor escala, em Anitápolis (KAHN, 1988).

A composição mineralógica dos minérios fosfáticos de origem ígnea, produzidos no Brasil, é variável e complexa, como se pode verificar na Tabela 2.1.

**Tabela 2.1** - Composição mineralógica, expressa em porcentagem, de minérios fosfáticos brasileiros.

Mineralogia	Araxá	Tapira	Catalão <sup>(*)</sup>	Jacupiranga
Apatita	30,2	19	25	12
Gorceixita	11,2	n.a.	15	n.a.
Magnetita	9,8	18	15	7
Hematita	n.a.	n.a.	5	n.a.
Goethita	20,4	n.a.	5	n.a.
Ilmenita	n.a.	n.a.	15	n.a.
Quartzo	8,4	5	10	n.a.
Micas	8,0	<sup>(a)</sup> 20	n.a.	<sup>(b)</sup> 2
Calcita	n.a.	3	n.a.	57
Dolomita	n.a.	n.a.	n.a.	21
Barita	3,0	n.a.	n.a.	n.a.
Anatásio	n.a.	2	n.a.	n.a.
Perovskita	n.a.	2	n.a.	n.a.
Piroxênio	n.a.	14	n.a.	n.a.
Serpentina	n.a.	1	n.a.	n.a.
Outros	9,0	7	n.a.	1

Fonte: Albuquerque, 1996; Lapido-Loureiro, 1994.

(\*) Refere-se ao minério da METAGO (1978-79); (a) Micas/argila; (b) Flogopita.

Os concentrados obtidos no beneficiamento dos minérios brasileiros apresentam a seguinte composição química (Tabela 2.2):

**Tabela 2.2** - Composição química dos concentrados fosfáticos brasileiros e de outras origens.

Componente	Brasil (%)	Várias origens (%)
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	35-37	24-40
CaO	40-53	29-54
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,3-2,8	0,1-2,6
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,3-0,5	0,2-2,8
MgO	0,2-1,8	0,0-2,2
SiO <sub>2</sub>	0,8-2,5	0,1-14
F	1,5-2,5	1,3-4,1
TR <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1-2 <sup>(*)</sup>	n.a.
U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	≈ 26ppm <sup>(**)</sup>	n.a.

Fonte: Albuquerque, 1996; Lapido-Loureiro, 1994.

(\*) Teores de TR<sub>2</sub>O<sub>3</sub> em Catalão I: 1,3% no concentrado e 0,8% na alimentação da usina semi-industrial da METAGO, 1978-79.

(\*\*) Refere-se ao concentrado da METAGO (Catalão I), 1978-79.

Como já foi referido, as terras-raras estão presentes nas apatitas como elementos acessórios, habitualmente com teores inferiores a 2% de TR<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, "variando de alguns décimos até quase 20%" (DUTRA e FORMOSO, 1995). Os maiores teores citados são de 19,2% de TR<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, em apatitas do complexo granítico peralcalino de Pajarito, N. México – EUA (ROEDER *et al.*, 1987) e acima de 16% em Ilimaussaq, Groelândia (RÖNSBO, 1989). Em outros minerais do grupo, como a belovita [(Sr,Ce,Na,Ca)<sub>5</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>OH] e a britholita [(Ce,Ca)<sub>5</sub>(SiO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>(OH,F)], as terras-raras são constituintes maiores.

As apatitas de carbonatitos caracterizam-se por teores elevados de Sr e uma razão Sr:Mn muito alta (50:1, em média, e superior a 100:1, nas fluorapatitas de Gatineau/Canadá), ao contrário das apatitas de gnaisses e pegmatitos graníticos (< 0,2:1). As apatitas de Oka no Québec, Canadá, contêm mais que 1,5% de Sr.

No Brasil, o intemperismo dos complexos carbonatíticos, além de concentrar a apatita, origina alumino-fosfatos, ricos de TR, sendo os mais comuns os do grupo da crandalita [CaAl<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(OH)<sub>5</sub>.H<sub>2</sub>O]: goyazita [SrAl<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(OH)<sub>5</sub>.H<sub>2</sub>O]; gorceixita [BaAl<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(OH)<sub>5</sub>.H<sub>2</sub>O]; florencita [CeAl<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(OH)<sub>6</sub>]; plumbogumita [PbAl<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(OH)<sub>5</sub>].

## 2.2. Geologia dos depósitos de fosfato no Brasil

Os materiais fosfáticos no Brasil ocorrem em sete ambientes geológicos distintos (CPRM, 1997; SOUZA, 2001; ARAÚJO, 2003; LAPIDO-LOUREIRO e NASCIMENTO, 2003).

— Magmáticos – Complexos alcalino-carbonatíticos mesozóicos em que os minérios de mais elevados teores se formaram por enriqueci-

mento supergênico de carbonatitos apatíticos e/ou piroxenitos apatíticos: Catalão-GO; Tapira-MG; Araxá-MG; Jacupiranga-SP; Anitápolis-SC; Iperó-SP; Patrocínio-MG; Ouvidor-GO.

- Ortomagmáticos – Complexos alcalino-carbonatíticos, proterozóicos, metamorfizados, nos quais ocorreram também concentrações residuais: Angico dos Dias-BA e Maecuru-PA.
- Metassedimentares – Nas bacias intracratônicas de idade proterozóica: Patos de Minas-MG; Irecê-BA; Lagamar-MG e Itataia-CE.
- Sedimentogênicos – Nas bacias marginais mesozóicas: Paulista/Igarassu-PE e Goiana-PE.
- Lateríticos – Materiais fosfatados aluminosos resultantes da lateritização de rochas sedimentares e metassedimentares, com teores elevados de fósforo: Tauira e Pirocáua-MA. Seus minerais apresentam baixa solubilidade para o fósforo contido.
- Lentas e veios de apatita em pegmatitos cortando calcários cristalinos e micaxistos pré-cambrianos: centro do estado da Paraíba.
- Orgânicos – Constituídos por excrementos de aves (guano): Ilha Rasa – PE. Sem interesse econômico pelas suas baixas reservas e localização.

Na Tabela 2.3, enumeram-se os jazimentos de rochas fosfáticas do Brasil, suas reservas e teores.

### 2.3. Índice de aptidão tecnológica de minérios fosfatados

Devido à especificidade e dificuldade de beneficiamento dos minérios de fosfato brasileiros, predominantemente de origem ígnea e metamórfica, foram desenvolvidos, no final da década de 80, no Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), estudos de aptidão tecnológica (CALMANOVICI, GIULIETTI e TOSATO, 1990). Os autores alertaram

para o fato de os fatores técnicos e econômicos determinantes da viabilidade de exploração de um dado jazimento serem, no caso do fósforo, extremamente complexos.

*“Cada ocorrência fosfática deve ser estudada, separadamente, com a profundidade devida (...) e avaliada individualmente quanto à sua utilização nos processos ditos de ‘via úmida’ ”.*

No estudo de minérios brasileiros recorreram ao *Ensaio de Aptidão Tecnológica (EAT)*, tal como é definido na literatura (*op. cit.*) por ser uma metodologia que fornece “alguma informação, ainda que preliminar, sobre o comportamento industrial das matérias-primas fosfáticas”.

Estabeleceram um *Índice de Aptidão Tecnológica Instantânea* para um determinado tempo  $t$  ( $AP_t$ ), pela equação:

$$AP(t) = [(\%P_2O_5)_{\text{água}} \cdot (M_3 + M_4) \cdot 100] / [(\%P_2O_5)_{\text{total}} \cdot M_2]$$

$M_2$  = massa de fosfato

$M_3$  = somatório das massas das alíquotas aos 3, 10, 20, e 60 minutos de reação

$M_4$  = massa de lama aos 60 minutos de reação

$(\%P_2O_5)_{\text{total}}$  = percentagem de  $P_2O_5$  total na matéria-prima inicial

$(\%P_2O_5)_{\text{água}}$  = percentagem de  $P_2O_5$  solúvel na água

Os citados autores estabeleceram, a partir do  $AP(t)$ , um índice médio indicativo do comportamento de cada matéria-prima, frente a um determinado ácido, designado por AP-index, que é dado pela expressão:

$$\sum AP(t_i) \cdot [AP(t_i) - AP(t_{i-1}) / (t_i - (t_{i-1}))] / [AP(t_i) - (t_i) - AP(t_{i-1})] / (t_i - (t_{i-1}))$$

$i = 1, 2, 3, 4$

$t_i = 0, 3, 10, 20$  e 60 minutos ( $t_0 = 0$ ;  $t_4 = 60$ )

Estes ensaios foram realizados com amostras de sete minérios distintos (Tabelas 2.4, 2.5 e 2.6).

**Tabela 2.3 - Jazimentos de rochas fosfáticas do Brasil.**

Localização/Empresa	Res. (10 <sup>3</sup> t) e teores de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			Concentrado	
	Minério	Teor (%)	Inferida	Cap. Pr. <sup>(a)</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)
Tapira (MG) / Mina Ativa / FOSFERTIL	920.000	8,36	380.000	1.600	35,5
Tapira (MG) / Mina Ativa / FOSFERTIL				88	33,5
Patos de Minas (MG) – Mina Ativa/ FOSFERTIL	232.111	12,79	106.085	150	24,0
Catalão (GO) / Mina Ativa / ULTRAFERTIL	170.000	9,00	360.000	905	36,5
Catalão (GO) / Mina Ativa / ULTRAFERTIL				140	34,0
Araxá (MG) / Mina Ativa / BUNGE FERTILIZANTES	103.055	14,88	186.726	530	35,0
Araxá (MG) / Mina Ativa / BUNGE FERTILIZANTES				300	33,0
Cajati (SP) / Mina Ativa / BUNGE FERTILIZANTES	88.979	5,50	-	560	36,0
Ouidor (GO) / Mina Ativa / COPEBRÁS	29.700	14,16	-	1.208	38,0
Irecê (BA) / Mina Ativa / GALVANI	6.200 3.963	17,73 14,72	- -	150 -	34,0 -
Lagamar (MG) / Mina Ativa / TREVO-YARA	3.463	22,91	6.751	250	-
Angico dos Dias (BA) / Mina Ativa / Galvani	12.500	15,40	-	-	-
Iperó (SP) / Mina em Fase de Implantação	74.863	6,83			
Anitápolis (SC) - Mina em Fase de Implantação	256.460	6,20	-	-	-
Paulista / Igarassú (PE) / Mina Desativada	21.105	20,31	5.573	-	-
Patrocínio (MG) / Mina Desativada	133.860	11,30	-	-	-
Trauíra / Pirocáua (MA) / Depósito	16.700	18,62	-	-	
Alhandra / Conde (PB) / Depósito	9.693	12,81	-	-	-
Itataia (CE) / Depósito	9.478	5,25	-	-	-
Bonito (MS) / Depósito	3.834	5,95	-	-	-
Ilha Rasa (PE) / Depósito	607	10,21	-	-	-
Goiana (PE) / Depósito	424	9,14	-	-	-
Maecuru (PA) / Depósito	-	15,0	-	-	-

Fonte: Anuário Estatístico do Setor dos Fertilizantes (ANDA, 2004) e Texto Explicativo do “Mapa síntese do setor de fertilizantes minerais (NPK) no Brasil” (CPRM, 1997).

(a) Capacidade de produção (10<sup>3</sup> t/ano)

**Tabela 2.4** – Composição química (% , base seca) de concentrados fosfáticos.

Minas	Composição										
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	BaO	SrO	TiO <sub>2</sub>
Araxá	37,9	49,5	0,11	3,52	0,70	-	-	0,20	0,70	-	-
Catalão	37,5	50,3	-	2,39	0,44	1,12	-	-	-	-	0,18
Tapira	37,5	49,2	-	2,62	0,41	1,44	0,04	0,22	-	1,30	-
Patos de Minas	25,9	31,0	-	2,65	-	29,55	0,92	0,09	-	-	-
Anitápolis	37,4	50,1	0,30	1,44	0,32	7,93	-	0,62	-	-	-
Jacupiranga	34,1	53,6	-	0,36	0,19	0,57	0,08	0,16	0,04	0,17	-
Marrocos	34,2	-	-	0,20	0,50	-	-	---	4,30	5,60	-

Fonte: Calmanovici, Giulietti e Tosato, 1990.

**Tabela 2.5** – Aptidão Tecnológica Instantânea: ataque de concentrados por ácido sulfúrico a 50%.

Minas	Tempo de Reação			
	3 minutos	10 minutos	20 minutos	60 minutos
Araxá	70,7	71,5	85,1	85,9
Catalão	69,6	81,5	84,6	86,3
Tapira	76,6	77,1	89,2	92,5
Patos de Minas	81,0	88,4	89,3	89,3
Anitápolis	79,0	79,6	90,5	90,5
Jacupiranga	84,6	85,3	87,9	91,7
Marrocos	85,9	91,5	94,0	95,1

Fonte: Calmanovici, Giulietti e Tosato, 1990.

**Tabela 2.6** – Aptidão Tecnológica Instantânea: ataque de concentrados por ácido nítrico a 65%.

Minas	Tempo de Reação			
	3 minutos	10 minutos	20 minutos	60 minutos
Araxá	71,4	80,1	89,6	90,4
Catalão	74,1	74,1	76,5	77,1
Tapira	78,0	84,8	95,8	96,7
Patos de Minas	86,6	87,2	88,3	90,8
Anitápolis	79,9	79,7	93,5	98,8
Jacupiranga	82,4	97,7	98,6	99,2
Marrocos	88,8	92,1	93,0	95,7

Fonte: Calmanovici, Giulietti e Tosato, 1990.

A partir destes dados foram estabelecidos *Índices Médios de Aptidão Tecnológica (AP-index)* que se reproduzem na Tabela 2.7.

**Tabela 2.7** – AP-index dos concentrados fosfáticos considerados.

Minas	Tempo de Reação	
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a 50%	HNO <sub>3</sub> a 65%
Araxá	71,1	72,5
Catalão	70,6	74,1
Tapira	77,2	78,9
Patos de Minas	81,3	86,6
Anitápolis	79,5	80,7
Jacupiranga	84,7	83,6
Marrocos	86,1	88,9

Fonte: Calmanovici, Giulietti e Tosato, 1990.

Os dados obtidos evidenciam comportamentos distintos: i) Jacupiranga e Patos de Minas apresentam resultados muito satisfatórios, semelhantes aos de Marrocos, enquanto os de Araxá e Catalão são bem inferiores; ii) à exceção de Jacupiranga, todos apresentam melhor AP-index quando o tratamento é nítrico; iii) a análise do comportamento das amostras nos testes de aptidão tecnológica instantânea, tanto na digestão sulfúrica quanto na nítrica, revelou que o aumento do AP(t) se verifica nos 20 minutos iniciais, após o que se mantém praticamente constante.

Os autores ressaltam que:

*“o procedimento experimental aqui adotado procura considerar a utilização industrial dos fosfatos estudados. No entanto, esta utilização não pode estar baseada apenas na taxa de dissolução. Outros fatores, tais como a presença de impurezas e filtrabilidade, devem, também, ser considerados. Portanto estes ensaios são apenas indicativos, não dispensando estudos mais específicos e detalhados para os casos nos quais o AP-index demonstre possibilidade técnicas interessantes. (...) Os ensaios apresentados neste trabalho consideram a solubilização dos fosfatos em dois ácidos minerais: nítrico e sulfúrico. Metodologia análoga poderia ser aplicada uti-*

*lizando-se o ácido clorídrico. Trabalhos anteriores mostram que a tendência aqui obtida deve ser mantida quando da solubilização clorídrica”.*

## 2.4. Valorização dos minérios fosfatados nacionais - subprodutos: ETR e U

Os minérios fosfatados brasileiros, predominantemente de origem ígnea e metamórfica (sedimentares com metamorfismo superimposto), são complexos, como já foi referido e, devido aos custos de produção elevados, têm dificuldade em concorrer com o produto importado do norte da África, Próximo Oriente e EUA, de origem sedimentar.

Por outro lado, estes tipos de minério, associados a complexos carbonatíticos, são fontes comprovadas ou potenciais de subprodutos como, por exemplo, ETR, F, U, Sr, Sc e Ga. Nos de fonte mantélica, associados a rochas ultrabásicas, não deve ser descartada a presença de platinóides no contexto das mineralizações primárias de apatita e pirocloro.

O aproveitamento do fosfogesso, rejeito da produção do ácido fosfórico, será tratado no capítulo 15.

### 2.4.1. Terras-raras

Nos carbonatitos sem mineralizações específicas de terras-raras (bastnasita e monazita), de fluor e de estrôncio, são os minerais do grupo da apatita que contêm, habitualmente, a maior parte destes elementos, sendo a sua variedade mais comum a fluorapatita, cuja célula unitária é composta por  $Ca_{10}P_6O_{24}F_2$ .

O  $\Sigma$  ETR (ver glossário), com forte predomínio de ETRL (Elementos de Terras-Raras Leves – ver glossário), embora apresentando valores muito variáveis, é sempre alto em apatitas de carbonatitos. Habitualmente são inferiores a 1%, mas são referidos teores de 8,3% em fluorapatitas de Chernigov (Ucrânia) e de 13,5% em apatitas impuras do carbonatito de Mush Kuduk, na Mongólia Exterior (HOGARTH, 1989). Em Oka, (Québec, Canadá) as fluorapatitas apresentam também altos valores, entre 1,3% e 7,7% (GIRAULT, 1966; EBY, 1975; MARIANO, 1985 *apud* HOGARTH, 1989).

As terras-raras estão presentes, nas apatitas, como elementos acessórios, *variando de alguns décimos até quase 20%* (DUTRA e FORMOSO, 1995). Os maiores teores citados são de 19,2% de  $TR_2O_3$  em apatitas do complexo granítico peralcalino de Pajarito, N. México, EUA (ROEDER *et al.*, 1987) e acima de 16% em Ilmaussaq, na Groenlândia (RÖNSBO, 1989). Em outros minerais do grupo, como a belovita -  $(Sr,Ce,Na,Ca)_5(PO_4)_3(OH)$  - e a britholita -  $(Ce,Ca)_5(SiO_4)_2(PO_4)(OH,F)$  - as terras-raras são constituintes maiores. Em rochas alcalino-carbonatíticas, referem-se valores de até 12% de  $TR_2O_3$  (CLARK, 1984).

Além da apatita, os fosfatos do grupo da crandalita - goyazita  $[SrAl_3(PO_4)_2(OH)_5 \cdot H_2O]$ , gorceixita  $[BaAl_3(PO_4)_2(OH)_5 \cdot H_2O]$ , florencita  $[CeAl_3(PO_4)_2(OH)_5]$  e plumbogumita  $[PbAl_3(PO_4)_2(OH)_5]$  - contêm sempre terras-raras. Os três primeiros são comuns nos solos ferralíticos que cobrem os minérios fosfatados associados a complexos carbonatíticos.

Dutra e Formoso (1995) estudaram 22 amostras de apatitas e de rochas fosfáticas, tendo concluído que:

- todas as apatitas de carbonatito apresentaram teores de ETR superiores a 1000 ppm;
- os maiores valores foram encontrados nos complexos carbonatíticos de Angico dos Dias - BA (7.483 ppm), Araxá - MG (6.347 ppm) e Catalão - GO (5.585 ppm);
- o maior valor da razão  $\sum ETRL / \sum ETRP$  foi encontrado em apatitas de Catalão (31,4) e o mais baixo, em Itataia (1,74), o que lhe confere características de sedimentos marinhos;
- os teores mais altos de Eu localizam-se nas apatitas de Angico dos Dias (75,5 ppm), Araxá (62,4 ppm) e Catalão (46,6 ppm);
- a maior razão La/Yb foi encontrada em Catalão (344) e a mais baixa em Itataia (0,54);
- os teores de ítrio oscilam entre 72 e 360 ppm nas apatitas dos carbonatitos brasileiros.

As apatitas, como minerais concentradores de TR, são uma de suas fontes potenciais. Podem ser re-

cuperadas, como subproduto, no processo de produção do ácido fosfórico, desde que sejam seguidas as rotas clorídrica ou nítrica.

Foi o que aconteceu na ex-URSS, terceiro maior produtor mundial. As terras-raras que eram extraídas, inicialmente apenas da loparita, um titanoniobo-tantalato de TR, Ca e Na, de fórmula  $(Ce,Na,Ca)_2(Ti,Nb,Ta)O_6$ , com 32,3% de OTR, em média, passaram a ser produzidas, também, a partir de fosforitos e outros minérios de apatita, monazita e ytriosynchisita (KOSYNKIN *et al.*, 1993).

Desde que os fosforitos contendo urânio foram colocados em produção, a recuperação das TR como subproduto foi considerada importante, passando a ser essas rochas uma das principais fontes de terras raras na ex-URSS. O teor de TR nos concentrados era de cerca de 0,7% e os de U, 0,16%. TR e U eram extraídos como subproduto da indústria dos fosfatos. Representavam 50% dos óxidos de ítrio e 80% dos de európio produzidos na URSS (KOSYNKIN *et al.*, 1993). No mesmo artigo, os autores afirmam que, embora os teores de TR não ultrapassassem 1%:

*"(...) apatites become of great importance, since their rare earths could be easily recovered as a by-product with treatment by nitric acid. [...] since rare earths are produced as by-products, their cost lowers and competitiveness in the world market improves".*

Skovaronov *et al.* (1992), apresentaram importante síntese sobre a recuperação de terras-raras a partir de fosforitos na CEI. Merecem destaque as seguintes observações:

*"The main reserves (da CEI) are confined to phosphates (apatite, phosphorite) and titanotantaloniobates (loparite). (...) the major requirement for the rare earth recovery process is that it should not cut down the recovery of the phosphorus products. The potential increase in the fertilizer production cost would be compensated by some additional production of rare earths".*

Recorria-se ao ácido nítrico, para extração de TR, a maior parte das quais fica na solução nitrato-

fosfática, sendo separadas, posteriormente, sob a forma de fosfatos. A extração do Ca e do F é uma pré-condição para a precipitação das TR. A solução nitrato-fosfática contém (em g/l), 8,1 de OTR (óxidos de terras raras), 330 de  $P_2O_5$ , 420 de CaO e 0,5 de F. A precipitação das TR é feita por amônia gasosa e o resíduo, recalculado como massa seca, contém 24,0% de OTR, 36,8% de  $P_2O_5$ , 8,9% de CaO, 1,28% de F, 4,54% de  $Fe_2O_3$ , 5,48% de  $Al_2O_3$ , 0,56% de N (nitrato), 2,3% de N (amônia) e 2,3% de  $SiO_2$ . A taxa de recuperação dos ETR contidos na apatita é de 85%. No processo praticamente não há formação de resíduos sólidos nem líquidos (SKOROVAROV *et al.*, 1992).

Segundo os referidos autores:

- o processo mais eficaz de extração das TR, nas soluções nitrato-fosfáticas, é o que utiliza o tributilfosfato ou fosfonatos dissolvidos em querosene;
- a extração efetua-se num sistema em contracorrente, no qual a fase orgânica é lavada com uma solução de nitrato de amônio, para separação total das TR do P;
- simultaneamente procede-se à eliminação do Ca e do Fe;
- o produto final tem mais de 98% de OTR e menos de 0,05% de  $P_2O_5$ , 0,01% de Ca e 0,01 de Fe;
- o grau de recuperação, em relação ao concentrado fosfático, é de 95%.

Fathi Habashi e seus colaboradores também mostraram e divulgaram, em 1986, a viabilidade e o interesse da recuperação de terras-raras e urânio em minérios fosfáticos. Os autores propõem um processo de tratamento de rochas fosfáticas, com ácido nítrico. Esse estudo incidiu sobre os fosfatos da Flórida, tendo-se comprovado as seguintes vantagens:

- recuperação das TR e U, sem interferir no circuito de produção dos fertilizantes;
- não geração de grandes volumes de rejeitos, como na rota sulfúrica;

- remoção do Ra, reduzindo-se substancialmente os impactos ambientais causados pela radioatividade;
- retenção dos metais pesados, incluindo a maior parte do U, em solução no nitrato de cálcio, tornando-se assim possível, como já foi dito, utilizar o fosfato monocálcico, com elevado grau de pureza (sem metais pesados, tóxicos), como complemento nutritivo, em pecuária;
- remoção do F, o que permite a melhoria da qualidade do fertilizante e o seu aproveitamento sob a forma de fluorsilicato de sódio ( $Na_2SiF_6$ ), matéria-prima para produção de criolita ( $Na_3AlF_6$ ).

#### 2.4.1.1. As terras-raras na agricultura

Na China, as terras-raras são utilizadas, cada vez mais, como micronutriente na agricultura (CRE, 2005). Experiências desenvolvidas durante vários anos mostraram que a incorporação de pequenas quantidades de TR nos fertilizantes traduz-se num aumento de produtividade, de 8 a 10% em alguns cultivares (ZHOU, 1993). O produto comercial é designado por 'nong-le' ou 'changle'. É formado por uma mistura solúvel de TR, habitualmente sob a forma de nitrato *although the chloride would be suffice* (GSCHNEIDER, 1989).

Também são referidos bons resultados na adição de TR a rações animais: "*Rare earth-vitamin C (RE-Vc) compound*<sup>4</sup> (...) *has been used as a feed additive for livestock, poultry and aquaculture*" (CHEN *et al.*, 1995). Neste trabalho, os autores especificam os resultados obtidos na criação de porcos, frangos e peixes de água doce.

Segundo informação do RIC-News (vol. XXXIII, 1998)<sup>5</sup>, a China tinha implantado 40 *new rare earth ammonium carbonate fertilizer plants* que, adicionadas às já existentes totalizavam 160 núcleos produtores de fertilizantes amônio-carbonatados com TR. Nesta mesma publicação, refere-se que:

*"in the past few years we have been hearing claims by Chinese scientists and technical experts how great the rare earths are improving crop yields. Most yield increases range from 5 to 10% (for example: wheat,*

*rice, peanuts, beets, tobacco, watermelon, and soybeans) and a few 10 to 20% (sugar cane and cabbage)”.*

Chama-se a atenção para o fato de a *SX Holdings Ltd* da Austrália ter estabelecido, em dezembro de 1988, acordo com a *China National Non-Ferrous Metal Industry Corp.* – CNIEC e com a *China National Non-Ferrous Metal Industry Corp.* – CNNC’s Center for Rare Earth Agriculture Technique visando obter a tecnologia e os direitos de produção de “*nong-le*” para aplicação exclusiva na Austrália e Nova Zelândia.

#### 2.4.2. Urânio

O urânio está sempre presente na apatita como elemento traço. Ou substitui o Ca, na sua estrutura, sob a forma de  $U^{4+}$ , ou é adsorvido como íon uranilo ( $UO^{2+}$ ), na valência VI. As grandes dimensões e cargas elevadas do urânio e de outros elementos como Nb, Ta, TR, Ti, Th e Zr, não permitem a sua inclusão fácil na rede cristalina dos minerais, havendo tendência a concentrarem-se nas soluções magmáticas residuais (ADLER, 1977), geradoras, por exemplo, dos carbonatitos apatíticos, com pirocloro, com TR etc.

Sabe-se que os teores de urânio variam entre 3 e 399 ppm nos minérios fosfáticos (MENZEL, 1968). Habitualmente os fosforitos contêm mais urânio do que tório e revelam equilíbrio entre ETRL e ETRP, ao contrário das rochas fosfáticas ígneas, nas quais predominam o tório e os ETRL.

Qualquer das rotas para produção de ácido fosfórico (sulfúrica, nítrica ou clorídrica) permite a recuperação de urânio, e tecnologias de extração foram intensamente estudadas na década de 70 (século XX). Os EUA, por exemplo, desenvolveram estudos abrangentes para recuperação de U em minérios fosfáticos, incluindo minérios brasileiros (DE VOTO e STEVENS, 1979). Russos, israelitas e sul-africanos recuperaram-no industrialmente. O Iraque também esteve interessado na recuperação de U a partir de minérios.

Por se tratar, na época, de um elemento altamente estratégico, não foram divulgados, teores, da-

dos quantitativos de processamento ou de produção, nem as tecnologias específicas utilizadas para cada minério, nem os resultados obtidos em cada caso.

Na CEI foi viabilizada, em escala industrial, a recuperação, além do urânio, de ítrio, európio e outros elementos pesados no processamento de fosforitos (SKOVAROV *et al.*, 1992).

A separação de urânio num meio nítrico é bem conhecida, mas o mesmo já não acontece para a sua extração a partir de soluções  $HNO_3 - H_3PO_4$  (HABASHI *et al.*, 1986). Nos trabalhos de pesquisa desenvolvidos, os autores concluíram que o tributil-fosfato é um extratante efetivo do U presente em lixiviados nitro-fosfáticos.

O processo é rápido, alcançando-se o equilíbrio em apenas 1 minuto e num único estágio. Recorrendo-se a uma proporção das fases orgânica/aquosa de 1:1, consegue-se extrair mais de 85% do urânio. Os autores também constataram que a diluição de tributil-fosfato em 20% de querosene não modifica o rendimento e que o querosene é melhor diluente que o hexano. Por outro lado acentuam que:

*“The presence of calcium nitrate was found to be essential for the extraction of uranium which is similar to extraction from nitric acid medium, as found by other researchers, since calcium nitrate acts as salting out agent. In a typical test, 82% of the uranium was extracted in a single stage in the presence of calcium nitrate and only 62% in its absence (...). For complete recovery of uranium a two-stage extraction at organicaquous phase ratio of 1:2 is recommended.*

*When ammonia was added to the leach solution to increase the pH, the extraction of uranium was found to decrease. Thus, at the natural pH of the solution (0,6 - 0,7) uranium recovery was 90%, when pH increase to 0,8 the recovery dropped to 81% and at the limit of precipitation (pH» 1,0) recovery was 10%. It is therefore recommended to work at the natural pH of the leach solution. Uranium was stripped with hot water at about 80°C in seven stages at an organic / aqueous ratio of 2:1”.*

No final da década de 70, quando um produto com 0,1% de  $U_3O_8$  era considerado minério potencial de urânio, foi desenvolvido estudo detalhado para se recuperar U nos rejeitos da usina semi-industrial da METAGO, em Catalão I porque, em relação ao concentrado final apatítico (80 ppm de  $U_3O_8$ ), verificava-se um fator 3 de enriquecimento nos rejeitos lama (248 ppm de  $U_3O_8$ ) e de 2 nos rejeitos de flotação (186 ppm de  $U_3O_8$ ).

Em Catalão I, a NUCLEBRÁS realizou, em 1978-79, estudo minucioso sobre a composição e distribuição de urânio, tório e também de terras raras no circuito da usina semi-industrial da METAGO (Lapido-Loureiro, 1980, 1994, 1997). Nas Tabelas 2.8 e 2.9, resumem-se alguns dos resultados obtidos nas análises químicas realizadas pelo CDTN/NUCLEBRÁS.

O estudo mineralógico de 19 amostras representativas dos vários materiais revelou a presença constante de gorceixita (fosfato hidratado de Ba e Al) em quantidades iguais ou superiores a 10%, tanto nas frentes de lavra e alimentação da usina quanto nos rejeitos de flotação e lamas, sendo apenas mineral acessório no concentrado final.

**Tabela 2.8** - Mineralogia e teores de  $U_3O_8$  e de  $P_2O_5$ .

Am.	Composição Mineralógica Aproximada (%)	(%)	$P_2O_5$ (%)	$U_3O_8$ (ppm)
AL	Apatita (25), goethita (15), magnetita (15), ilmenita (15), gorceixita (15), quartzo (15)	100,0	12,0	82
RM	Magnetita (70), ilmenita (15), hematita (10), quartzo (15)	26,5	5,0	47
LA	Goethita (55), gorceixita (20), hematita (10), quartzo (10), ilmenita (5)	16,8	5,5	114
RF	Gorceixita (50), ilmenita (20), quartzo (15), goethita (5), apatita (5), hematita (5)	38,5	7,4	120
CF	Apatita (90), quartzo (tr.), goethita (tr.), gorceixita (tr)	18,6	38,1	26

Am - amostra; AL - Alimentação; RM - Rejeito Magnético; LA - Rejeito Lamas; RF - Rejeito Flotação; CF - Concentrado Final. Os valores entre parênteses representam o percentual dos minerais nas amostras.

**Tabela 2.9** - Teores de  $R_2O_3$  (óxidos de TR e de U) e de  $P_2O_5$  <sup>(a)</sup>.

Tipo de amostra	$R_2O_3$ (%)	$P_2O_5$ (%)
Alimentação	0,80	9,2
Rejeito magnético	<0,1	1,3
Rejeito lamas	0,99	1,7
Rejeito flotação	0,59	4,7
Concentrado final	1,3	36,6

<sup>(a)</sup> Ataque clorídrico a 900°C.

Como não foi encontrado nenhum mineral específico de urânio e atendendo a que as frações mais ricas de gorceixita (lamas e rejeitos de flotação) eram as que apresentavam os teores mais altos de  $U_3O_8$ , passou a admitir-se que fosse um de seus minerais portadores. Reforça esta hipótese o fato de se conhecerem em Aiken County, na Carolina do Sul, EUA, gorceixitas com 75 a 960 ppm de  $U_3O_8$  e, em Garland County, no Arkansas, esferóides de gorceixita, envolvidos por uma película de goethita negra, com 3.000 ppm de urânio e 3% de estrôncio.

Em Catalão – GO, os estudos efetuados nos produtos obtidos no circuito de beneficiamento do minério fosfático mostraram ser impossível a extração econômica do urânio a partir dos rejeitos, exatamente o material que apresentava os teores mais elevados de  $U_3O_8$  (BENEDETTO, 1979). Embora sejam expressivas as reservas de urânio no minério fosfático, apenas as que estão contidas na apatita poderão ser consideradas recuperáveis.

Mais detalhes sobre a problemática dos elementos radioativos nos minérios fosfáticos poderão ser encontrados no capítulo 20 deste livro.

### 3. Manejo de fósforo e aplicação de rochas fosfáticas

O fósforo, um dos três macronutrientes principais, é elemento fundamental no processo de conversão da energia solar em alimento, fibra e óleo pelas plantas. “Desempenha função chave na fotossíntese, no metabolismo de açúcares, no armazenamento e transferência de energia, na divisão celular, no alargamento das células e na transferência da informação genética” (POTAFOS, 2005). É um dos 16 nutrientes essenciais para que as plantas cresçam e se reproduzam.

*“Promove a formação inicial e o desenvolvimento da raiz, o crescimento da planta; acelera a cobertura do solo para proteção contra a erosão; afeta a qualidade das frutas, dos vegetais e dos grãos, e é vital para a formação da semente. O uso adequado de P aumenta a eficiência da utilização de água pela planta (= menos perdas) bem como a absorção e a utilização de todos os outros nutrientes, venham eles do solo ou do adubo. Contribui para aumentar a resistência da planta a algumas doenças” (op. cit.).*

Normalmente só pequenas quantidades de P estão presentes na solução do solo que é alimentada continuamente pela sua liberação a partir dos minerais (o pH do solo tem forte influência na disponibilidade de P para as plantas) e da matéria orgânica, mas de forma muito insuficiente numa agricultura intensiva. Por isso este suprimento natural deve ser complementado pela adição de adubos, sabendo-se que todo o P é absorvido pelas raízes sob a forma de íon ortofosfato,  $H_2PO_4^-$  e que o fósforo da matéria orgânica só se torna disponível quando os microrganismos do solo a ‘quebram’ em formas simples, liberando os íons fosfatos inorgânicos (POTAFOS/NUTRIFATOS, 1996).

O ciclo de suprimento do fósforo, elemento indispensável à vida porque entra na composição do núcleo das células de todos os seres vivos, inicia-se nos fosfatos naturais (a apatita é o principal), passa para o solo por solubilização, continua ao ser absorvido pelas plantas, entra na vida animal pela alimentação dos herbívoros e onívoros, ha-

vendo forte decaimento no seu retorno normal ao solo. Se a vegetação, natural ou de cultura, for constantemente removida (plantio - colheitas), é necessário compensar a perda de fósforo e outros oligo-elementos pela aplicação de fertilizantes. O ritmo de produção necessário para suprir de alimentos uma população que aumenta explosivamente, passou a exigir o seu crescente emprego na agricultura. Carência de fertilizantes fosfatados nos terrenos de cultura traduz-se em atraso de crescimento e fraco desenvolvimento das plantas, isto é, rendimento e produção agrícolas reduzidos (LAPIDO-LOUREIRO e NASCIMENTO, 2003).

Os solos das regiões tropicais, em geral, com alto grau de intemperismo, como são os latossolos, caracterizam-se por uma mineralogia dominada por óxidos e hidróxidos de Fe e Al, pH ácido, baixo valor de saturação de bases e alto teor de Al, e com carga superficial elétrica variável, podendo esta ser positiva. A complexidade de manejo de P nesses solos está relacionada à fixação do P pelos óxidos e hidróxidos de Fe e Al, tornando esse elemento indisponível para as plantas (LOPES, 1983). Parfitt *et al.* (1975) mostraram, utilizando espectroscopia por infravermelho, que a reação do ânion fosfato com a superfície dos óxidos de Fe resulta num complexo com ligação binuclear no qual dois dos átomos de oxigênio do ânion fosfato se coordenam, cada um, a diferentes  $Fe^{3+}$  da superfície. Nesse processo, duas hidroxilas da superfície ou moléculas de água são substituídas pelo ânion fosfato.

Quando se aplica uma fonte solúvel de P num solo, mais de 90% do P aplicado é adsorvido na primeira hora de contato com o solo, sendo que essa fase de rápida reação é seguida de uma fase lenta que continua a retirar o P da solução (BARROW, 1974). Devine *et al.* (1968), mencionados por Novais e Smith (1999), verificaram que, um ano após aplicação de superfosfato simples em quatro solos, 58% do P aplicado encontravam-se disponíveis, 38% depois de 2 anos e 20% depois de 3 anos. Por outro lado, Williams e Reith (1971) encontraram de 20 a 28% de P disponível, depois de um

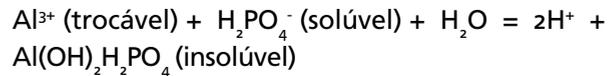
ano da aplicação e apenas 2,7 a 4,2% depois de 6-8 anos. Devido a essa forte interação, com reversibilidade muito pequena, o manejo adequado para produção agrícola em latossolos requer um suprimento cumulativo de P, esgotando os sítios de imobilização desses solos, minimizar o contato da fonte de P com o solo e adubação localizada nas linhas de plantio (NOVAIS e SMITH, 1999), granulação do fertilizante (SOUSA e VOLKWEISS, 1987) e minimizar o tempo de contato do fertilizante com o solo, podendo-se até parcelar a aplicação de P. O tempo, que aumenta a solubilização de fosfatos naturais apatíticos, ocasiona a transformação do P solubilizado para formas não lábeis. Arndt e McIntyre (1963) concluíram que o efeito do tempo sobre a disponibilidade de P de uma fonte solúvel comparativamente a de um fosfato natural aplicado a um solo laterítico foi um decréscimo linear na produção para o fosfato natural e logarítmico para a fonte solúvel.

Essas observações são explicadas por dois fenômenos que tendem a se anular (NOVAIS e SMITH, 1999): quando aplicado ao solo, a dissolução do fosfato natural tende a ser maior inicialmente, uma vez que os produtos de dissolução da apatita (P e Ca) não estão ainda presentes na vizinhança das partículas de apatita.

À medida que isso vai ocorrendo com a dissolução, a continuidade do processo de dissolução é restringido. Como a transformação de P lábil a não-lábil é maior inicialmente e exponencialmente decrescente, os dois processos tendem a anular o acúmulo inicial de P lábil no solo, levando seu decréscimo à linearidade. O forte efeito negativo do tempo de incubação sobre a disponibilidade de P de uma fonte solúvel, devido à formação de P não-lábil, é bem menos intenso para as fontes pouco reativas, como é o caso dos fosfatos brasileiros, cuja lenta solubilização ao longo do ciclo da planta faz com que haja menos P em solução para formação de P não-lábil (NOVAIS e SMITH, 1999).

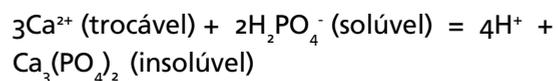
A precipitação química de P com íons Fe e Al em solos ácidos ou com o Ca em solos neutros ou calcários podem formar compostos pouco solúveis.

A precipitação do Al em solução com o fosfato adicionado ao solo é representada na equação:



Essa reação é eliminada pela precipitação do Al na forma de gibbsita, fazendo-se a correção do solo anteriormente à adição de P.

Em solos com pH elevado, com muito Ca trocável, natural ou em consequência de supercalagem a precipitação do P com o Ca é representada por retrogradação (MALAVOLTA, 1967):



A utilização direta na agricultura de fosfatos naturais brasileiros tem como principal restrição a baixa reatividade dos mesmos. No entanto, tem se observado o uso de fosfatos naturais como fosfatagem corretiva, com aplicação sobre toda a área, visando corrigir parcialmente a carência de P dos latossolos, enquanto a adubação com a fonte solúvel, nos sulcos de plantio, se encarrega do suprimento de P mais imediatamente. Uma das condições favoráveis à solubilização de fosfatos naturais apatíticos é sua aplicação em solos ácidos. No entanto, a maior acidez leva a uma maior formação de P não-lábil. Novais e Smith (1999) questionam se a maior dissolução de fosfatos naturais em solos ácidos mostrada em vários trabalhos (CHU *et al.*, 1962; MACKAY *et al.*, 1986) deve ser atribuída ao  $\text{H}^+$  ou ao  $\text{Al}^{3+}$ . A questão é polêmica, visto que outros autores encontraram efeito contrário: Novais e Ribeiro (1982) e Couto e Novais (1986) verificaram que o Al adsorvido/precipitado às partículas de apatita poderia restringir-lhes a solubilização. Braga e Neves (1981) verificaram que, em solos com menores teores de Al trocável, o fosfato natural testado foi fonte de P mais eficaz.

Outra questão acerca da solubilidade de fosfatos naturais, discutida por Novais e Smith (1999), é a importância relativa dos drenos P e Ca. Robinson e Syers (1990) mostraram que o dreno Ca foi o parâmetro mais importante para a dissolução do fosfato natural testado do que o pH, ou dreno P,

daí a dissolução de fosfatos ser maior em solos com maior CTC ou maiores teores de matéria orgânica.

O efeito acidificante da rizosfera de algumas plantas também favorece a solubilização de fosfatos naturais. Embora a soja seja a espécie que mantém os maiores valores de pH do solo, sua eficiência em absorver P de fosfatos naturais foi atribuída a sua grande absorção de Ca. O dreno Ca é mais importante do que o dreno P para uma maior dissolução de fosfatos naturais. Daí solos com maior CTC e com maiores teores de matéria orgânica devem promover uma dissolução mais intensa de fosfatos naturais.

Miller e Wali (1995) destacam que a ocupação do solo para a agricultura provocou, nos últimos 300 anos, diminuições de 1,2 bilhões de hectares em sistemas florestais e de 508 milhões de hectares em campos nativos, sendo que mais de 50% destes foram ocupados após 1950. Mais de 1,9 bilhão de hectares de solos cultivados estão degradados quanto às suas características físicas, químicas e biológicas, inadequando-os para a agricultura. Mais recentemente, por ter-se tornado economicamente viável, vem ocorrendo a expansão no sistema de plantio direto no Brasil. Nesse sistema, os processos de degradação são minimizados, com incremento na quantidade de resíduos na superfície do solo, e conseqüentemente aumento nos teores de matéria orgânica. A ação da matéria orgânica sobre a disponibilidade de P é controversa. Appelt *et al.* (1975), mencionados por Santos (2000), postulam que a matéria orgânica forma complexos insolúveis com o Al ( $MO-Al(OH)_x$ ), que resultam em novos sítios de adsorção de P, ou pela ligação direta à matéria orgânica. Bennoah e Acquaye (1989) atribuíram a correlação positiva entre os teores de matéria orgânica e adsorção de P ao fato de haver sítios no solo que absorvem tanto o P como os ácidos orgânicos. Outros trabalhos mostraram que a interação dos colóides do solo com a matéria orgânica promove a diminuição da área superficial dos mesmos, tornando parte desta inacessível à adsorção de P (HAYNES, 1984; HUE, 1991). Sibanda e Yong (1986) sugerem que os ácidos orgânicos competem com o P pelos sítios dos colóides.

No sistema plantio direto, como o solo não é revolvido, os fertilizantes fosfatados permanecem no local de aplicação, facilitando a saturação dos sítios de adsorção e permitindo que o P adicionado permaneça por maior período na forma lábil. Santos (2000) concluiu que a adoção do sistema de plantio direto aumenta os teores de P orgânico, P microbiano e das frações mais lábeis de P orgânico e do P inorgânico lábil e não-lábil ligado ao Ca.

## 4. Produção de fertilizantes fosfatados

Como já se referiu, devido ao componente fósforo, a principal aplicação da apatita é na fabricação de ácido fosfórico para fertilizantes que, tanto em escala mundial quanto nacional, consome cerca de 90% da sua produção, portanto apenas 10% se destinam a outras aplicações. Dos fertilizantes fosfatados, 90% são obtidos por via química, 2% por via térmica e 6% são aplicados sob a forma natural. O restante (2%) é obtido de forma específica para outras aplicações.

No Brasil, cerca de 95% da capacidade nominal de produção de concentrados apatíticos resulta de minérios associados a complexos alcalino-carbonatíticos, com composição mineralógica muito variável, até dentro da mesma jazida.

Uma opção para atender ao conceito de desenvolvimento sustentável na produção de fertilizantes fosfatados e reduzir impactos ambientais seria o aproveitamento de subprodutos de bom valor comercial e a criação de campos de aplicação para os enormes volumes de fosfogesso, gerados na produção de ácido fosfórico pela rota sulfúrica. Porém, para recuperação de subprodutos como as TR (terras-raras), geração de rejeitos de valor comercial (cloreto ou nitrato de cálcio) e separação/eliminação do Ra, seria necessário passar a recorrer-se às rotas nítrica ou clorídrica.

### 4.1. Lavra e Processamento

No Brasil, a lavra das jazidas de fosfatos, totalmente mecanizada, é realizada a céu aberto. Os equipamentos utilizados variam de empresa para empresa e de mina para mina.

Em Tapira (MG), a maior mina produtora de concentrados fosfáticos do Brasil, as bancadas têm 13 metros de altura. Já em Catalão I (GO), na área da Ultrafertil, com lavra executada em duas cavas, os bancos têm de 5 a 10 metros de altura e as bermas são de 15 metros. Nas minas de Araxá (MG) e de Cajati/Jacupiranga (SP), ambas da empresa Bunge Fertilizantes, a altura das bancadas é de 10 metros, na primeira, e de 10-20 metros, na segunda. O desmonte é também variável. Com explosivos, em malha de detonação de 3x5 m na mina de Cajati (SP)/Bunge Fertilizantes, passa a ser executado predominantemente com retroescavadeiras, na mina da Ultrafertil em Catalão I, devido ao minério ser friável: apenas cerca de 4% do material lavrado exige desmonte por explosivos.

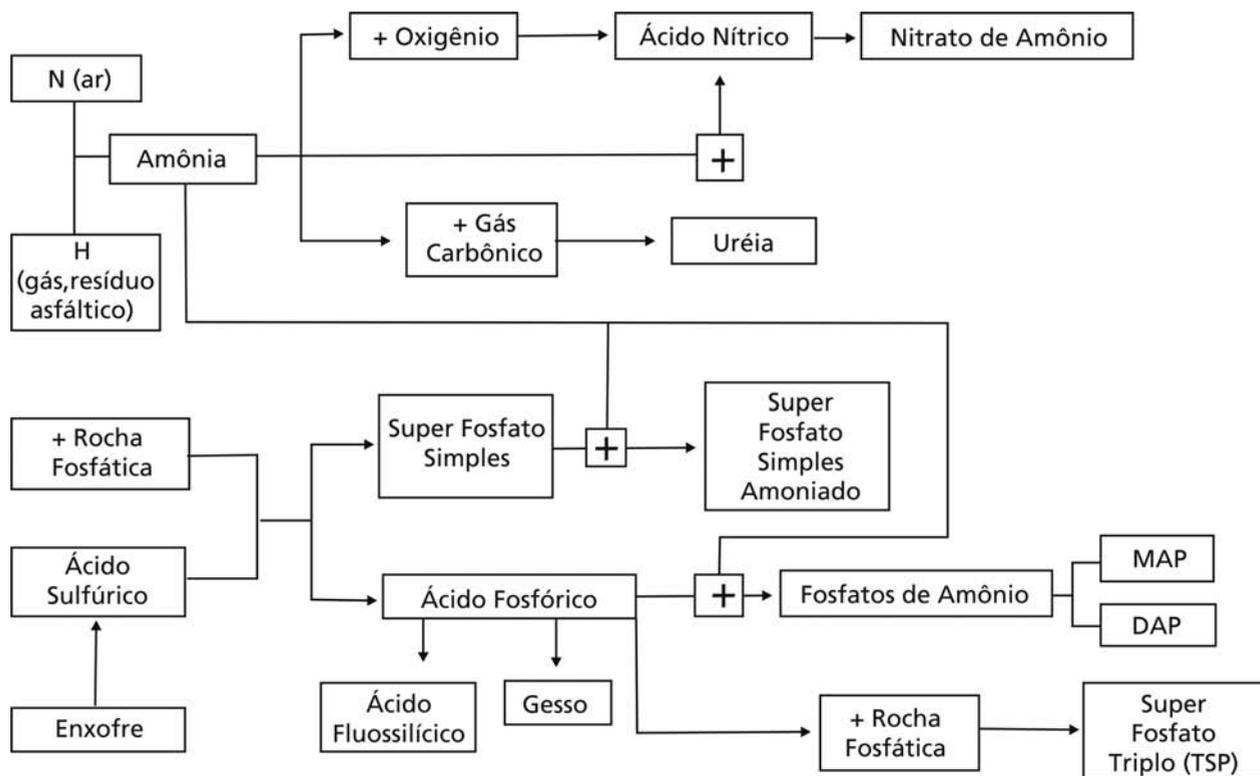
A relação estéril/minério e o teor de corte variam de mina para mina e até entre frentes de lavra. Na mina de Cajati, por exemplo, é de 1,4 e o teor de

corte de 3% de  $P_2O_5$ . Em Catalão I (Ultrafertil), a relação estéril/minério é de 0,8 a 1,0.

Os processos de beneficiamento de minérios fosfáticos, no Brasil, compreendem, normalmente:

- britagem (primária, secundária e até terciária, por vezes);
- estocagem e homogeneização;
- moagem primária e separação magnética de baixo campo;
- moagem secundária e classificação;
- deslamagem;
- concentração por flotação e espessamento.

A produção de fertilizantes a partir de minérios fosfatados naturais é realizada em complexos industriais constituídos por unidades que podem agrupar-se numa mesma área ou atuarem separadamente (Figura 4.1).



Fonte: FOSFERTIL.

Figura 4.1 - Esquema simplificado da produção de fertilizantes.

Na produção de ácido fosfórico a partir de concentrados apatíticos, são seguidos dois caminhos: hidrometalúrgico, utilizando-se predominantemente o ataque sulfúrico, e térmico, no qual o concentrado é reduzido a fósforo elementar e, em seguida, oxidado e hidratado para dar origem ao ácido fosfórico.

O processo hidrometalúrgico (*WPA – Wet Process Phosphoric Acid*) consiste em três estágios principais (SCHORR e LIN, 1997):

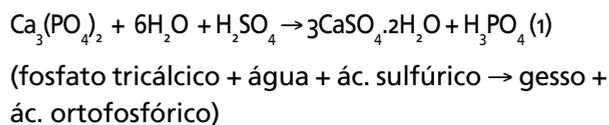
- ataque (*acidulation*) pelo ácido sulfúrico;
- filtração para separar os sólidos, principalmente gesso, do licor (30% de  $P_2O_5$ );
- concentração, por evaporação, até obtenção do teor comercial (52-54% de  $P_2O_5$ ),

#### 4.2. Produção de ácido fosfórico pela rota sulfúrica

No Brasil, o processo para obtenção de ácido fosfórico, a partir de concentrados apatíticos, pela rota sulfúrica, a única seguida no País, pode ser dividido em três etapas/subunidades: produção de ácido fosfórico diluído (27-30%), filtração/clarificação e concentração do ácido produzido (52%) (Figura 4.2).

O ataque do concentrado fosfático com ácido sulfúrico ocorre em reator agitado (para homogeneização do meio reacional e aumento da velocidade de reação), no qual é produzido ácido fosfórico 27 a 30% de  $P_2O_5$  e sulfato de cálcio dihidratado (fosfogesso),  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ , como resíduo (cada tonelada de  $P_2O_5$  contido no ácido fosfórico gera cerca de 5 t de fosfogesso) (*op. cit.*).

O produto principal da reação entre o concentrado fosfático e o ácido sulfúrico é o ácido ortofosfórico, reação essa que pode ser representada pela seguinte equação:



Devido às impurezas existentes no concentrado fosfático, podem ocorrer outras reações secundárias no reator.

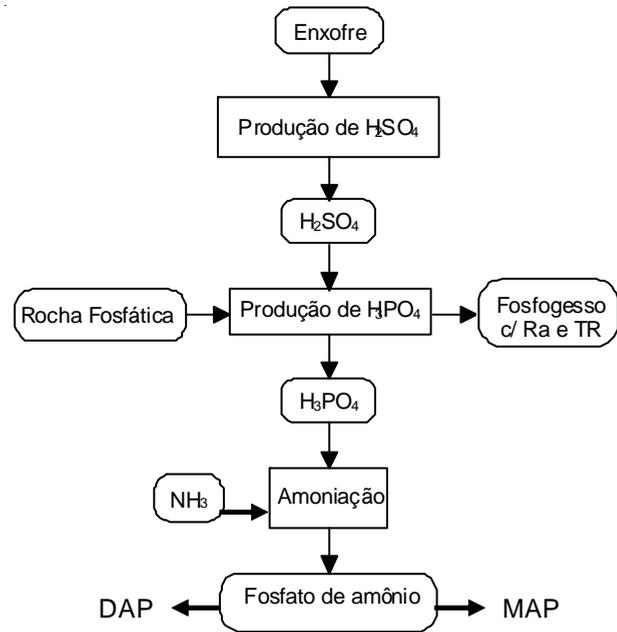
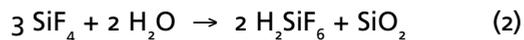


Figura 4.2 - Fluxograma simplificado da rota sulfúrica.

Na lavagem d[os efluentes gasosos do reator e do evaporador que contêm fluoretos, ocorrem as seguintes reações:



(fluoreto de silício + água → ác. fluossilícico + sílica)



(ác. fluorídrico + sílica → ác. fluossilícico + água)

Como as reações que ocorrem no reator são exotérmicas e liberam gases nocivos, como os fluoretos, um sistema de exaustão e lavagem é utilizado, de modo a controlar a temperatura do reator e evitar o lançamento de gases poluentes na atmosfera.

A suspensão (35 a 40% de sólidos) proveniente do reator, composta de gesso e ácido fosfórico diluído, é bombeada para a etapa de filtração (filtro rotativo), no qual é separado o ácido do gesso. Este passa por um sistema de lavagem de dois estágios. Do ácido fosfórico filtrado nesta etapa, parte é utilizada como reciclo no reator e o restante destina-se para a etapa de clarificação, sendo posteriormente concentrado. O gesso é raspado por um parafuso de rosca sem fim e, em seguida, bombeado para uma bacia de rejeito.

A clarificação consiste em promover a decantação de sólidos que não foram separados na etapa de filtração ou que ainda estejam dissolvidos, possibilitando sua remoção. O ácido fosfórico clarificado (teor de 27 a 30% em  $P_2O_5$ ) é então enviado para estocagem e, em seguida, para a etapa de concentração.

O ácido fosfórico diluído é aquecido em um trocador de calor de blocos de grafite, a 80 °C, antes de entrar no evaporador a vácuo, no qual é separado o ácido concentrado da água contendo resíduos de flúor. O vapor d'água passa por uma torre de absorção, na qual compostos de flúor e sílica são transformados em ácido fluossilícico e retirados juntamente com outras impurezas, antes de serem condensados em um condensador barométrico.

O ácido fosfórico, depois de passar no evaporador, já então com concentração de 52% em  $P_2O_5$  e isento de impurezas, é enviado para estocagem, para, em seguida, ser utilizado na fabricação de fertilizantes MAP (fosfato monoamônio) e DAP (fosfato diamônio), bem como, após reação com a rocha fosfática, de TSP (superfosfato triplo).

Na Figura 4.3 apresentam-se esquematicamente os valores obtidos na extração de  $P_2O_5$  pela rota sulfúrica, numa amostra de minério (concentrado) de Itataia.

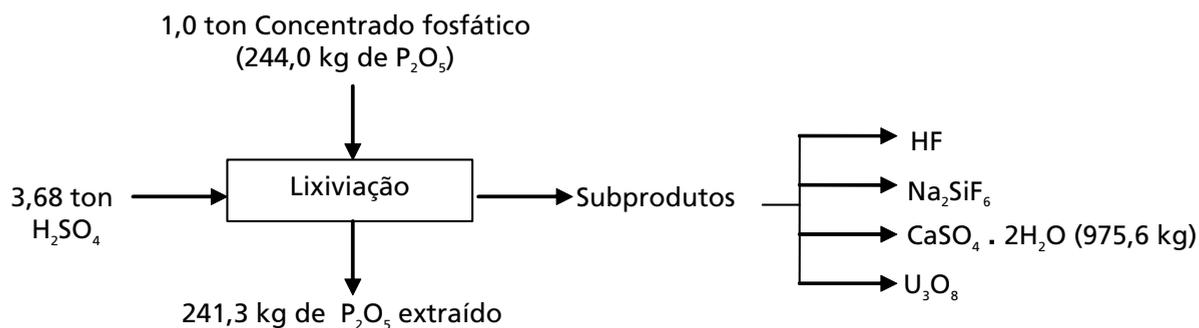


Figura 4.3 - Esquema quantitativo simplificado da rota sulfúrica.

### 4.3. Rotas alternativas de produção de ácido fosfórico

No Brasil, uma opção para diluir custos e reduzir impactos ambientais na produção de fertilizantes fosfatados, atendendo ao conceito de desenvolvimento sustentável, seria o aproveitamento de subprodutos de bom valor comercial e a criação de campos de aplicação para os enormes volumes de fosfogesso, gerados na produção de ácido fosfórico.

Para recuperação de subprodutos como as TR (terras-raras), geração de rejeitos de valor comercial (cloreto ou nitrato de cálcio) e separação/eliminação do Ra, seria necessário recorrer às rotas nítrica ou clorídrica.

As rotas clorídrica e nítrica, embora apresentando os inconvenientes de preço e da maior complexidade do processo e de manuseio dos ácidos, oferecem, em contrapartida, algumas importantes vantagens, destacando-se: i) a possibilidade de recuperação de subprodutos de bom valor comercial, o que pode reverter o problema do maior custo dos ácidos; ii) a redução drástica no volume de rejeitos poluentes e invasivos (fosfogesso); iii) a geração de fosfato monocálcico de elevado grau de pureza (sem os metais pesados tóxicos), excelente complemento nutritivo em pecuária; iv)

a possibilidade de aproveitamento de mais de 95% do flúor das apatitas, que sai no *offgas*, o qual, tratado com uma solução de nitrato de alumínio, dá origem a fluoreto de alumínio, matéria-prima da criolita artificial, usada na indústria do alumínio; v) a possibilidade de obtenção, a partir do nitrato de cálcio, do nitrato de cálcio-amônia, importante fertilizante nitrogenado e vi) o aproveitamento dos excedentes de HCl das indústrias brasileiras.

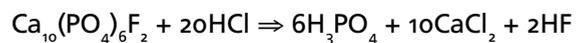
Verifica-se assim que os ácidos nítrico e clorídrico apresentam a vantagem de solubilizarem, não apenas o  $P_2O_5$  contido na rocha, mas também o urânio, os lantanídeos e o rádio. No tratamento nítrico, dada a facilidade com que esses metais podem ser recuperados sem interferência na produção dos fertilizantes, torna-se evidente que a rocha representa importante fonte desses elementos.

#### 4.3.1. Rota clorídrica

A idéia da utilização de ácido clorídrico na decomposição de minérios fosfatados data de meados do século XIX. Com efeito, já em 1865, Liebig e posteriormente outros químicos, como Horsford, Koefoed, Newberry e Barrett, Glaser, Pike, Seyfried, Fox e Wittaker e Fox e Clark, sugeriram a aplicação do ácido clorídrico na decomposição de rochas fosfatadas (WAGAMAN, 1969a). Fathi

Habashi também mostrou, em laboratório, a viabilidade técnico-econômica da utilização dos ácidos clorídrico e nítrico na produção de ácido fosfórico, o que permitiria a recuperação de subprodutos, a produção de rejeitos de valor econômico e a redução de impactos ambientais (HABASHI, 1994).

A rota clorídrica para produção industrial de ácido fosfórico pode ser esquematizada pelas reações:



No Brasil, com capacidade instalada subaproveitada e até com excedentes de produção de HCl, deveria ser estudada, atentamente, a possibilidade de seu aproveitamento na produção de ácido fosfórico.

Um esquema simplificado da rota clorídrica é apresentado na Figura 4.4, que mostra também a possibilidade de recuperação de subprodutos e a relação entre a quantidade de ácido clorídrico consumida para cada tonelada de concentrado fosfático (estudo feito com minério de Itataia – CE).

Nos ensaios de extração de  $P_2O_5$ , verificou-se que, para cada tonelada de concentrado fosfático, são necessárias 2,38 toneladas de ácido clorídrico concentrado, obtendo-se, neste processo, uma extração de 239,6 kg de  $P_2O_5$ .

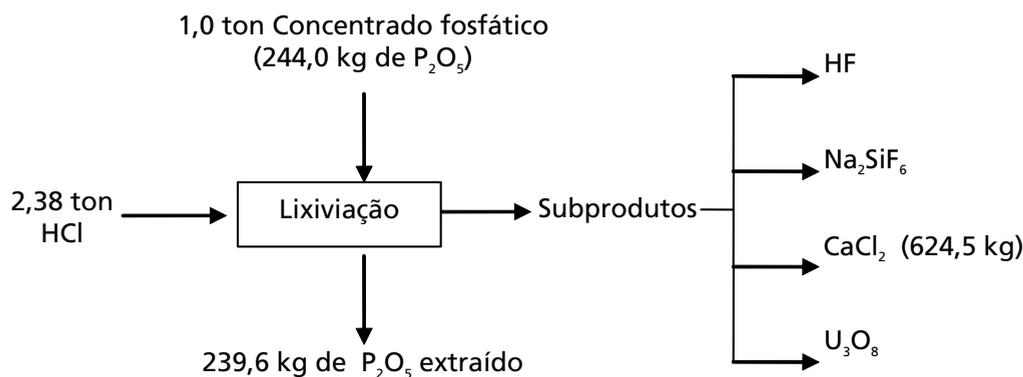


Figura 4.4 – Esquema quantitativo simplificado da rota clorídrica.

### 4.3.2. Rota Nítrica

Um uso “potencialmente muito importante do ácido nítrico” seria, segundo Shreve e Brink (1977), a substituição do ácido sulfúrico pelo nítrico, na acidulação da rocha fosfática. O ataque nítrico é um processo complexo, executado em várias etapas, requerendo baixas temperaturas da ordem de  $-5^{\circ}\text{C}$  para separação de sais. A empresa *Norsk Hydro* (atual YARA) utiliza-o para produzir fertilizantes fosfatados, na Noruega. Na indústria de fertilizantes, na península de Kola, Rússia, também era utilizado.

No Brasil, a rota nítrica nunca foi encarada como alternativa na produção industrial de fertilizantes fosfatados.

Na Figura 4.5 é apresentada, de forma esquemática, a quantidade de ácido nítrico necessária para solubilizar uma tonelada de concentrado fosfático de Itataia no processo de lixiviação, bem como a quantidade de  $\text{P}_2\text{O}_5$  extraída e os

subprodutos passíveis de serem aproveitados/comercializados.

Observa-se que são necessárias 2,84 toneladas de ácido nítrico para o ataque de uma tonelada de concentrado, obtendo-se neste processo, uma extração de 218,1 kg de  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

### 4.3.3. Parâmetros comparativos

Para uma avaliação comparativa, apresentam-se na Tabela 4.1 os resultados de extração de  $\text{P}_2\text{O}_5$  nos ensaios de lixiviação efetuados com os ácidos nítrico, clorídrico e sulfúrico no minério (concentrado) de Itataia (CE).

Verifica-se que os melhores resultados obtidos na extração de  $\text{P}_2\text{O}_5$  nas amostras A e B, nas 4 e 5 primeiras horas, respectivamente, foram conseguidos com ácido clorídrico. Nos ensaios de lixiviação com ácido sulfúrico nas três primeiras horas foram inferiores aos obtidos com ácido clorídrico (Tabela 4.2 e Figura 4.6).

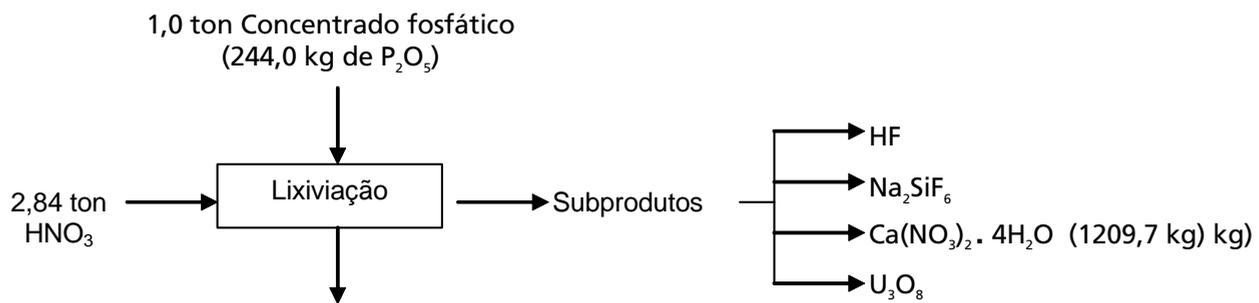


Figura 4.5 – Esquema quantitativo simplificado da rota nítrica.

Tabela 4.1 – Quantidade de  $\text{P}_2\text{O}_5$  extraído do concentrado fosfático de Itataia em função do tempo de lixiviação (amostra A).

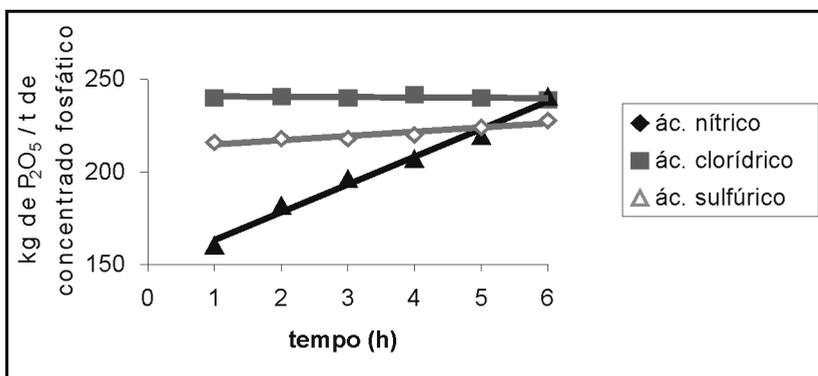
Ácidos e Concentrações	Quantidade de $\text{P}_2\text{O}_5$ extraída kg/t					
	1 hora	2 horas	3 horas	4 horas	5 horas	6 horas
$\text{HNO}_3$ (16M) <sup>(a)</sup>	202,0	204,0	205,9	205,9	208,1	208,1
$\text{HCl}$ (12M) <sup>(a)</sup>	232,0	234,0	235,5	237,2	238,1	240,1
$\text{H}_2\text{SO}_4$ (18M) <sup>(a)</sup>	180,1	198,9	217,2	236,4	243,3	242,0

<sup>(a)</sup> Concentração molar referente à forma concentrada do ácido (P.A.)

**Tabela 4.2** - Quantidade de  $P_2O_5$  extraída por tonelada de concentrado fosfático versus tempo de lixiviação (amostra B).

Ácidos / concentração	Quantidade de $P_2O_5$ extraída (kg)/ tonelada de concentrado fosfático					
	1 hora	2 horas	3 horas	4 horas	5 horas	6 horas
$HNO_3$ (16M)*	215,9	217,9	217,9	220,1	224,0	227,9
HCl (12M)*	240,1	240,8	240,1	241,8	240,1	239,1
$H_2SO_4$ (18M)*	160,1	181,8	196,2	206,7	219,1	240,6

(\*) Concentração molar referente à forma concentrada do ácido (P.A.).



**Figura 4.6** - Quantidade de  $P_2O_5$  extraída (kg) por tonelada de concentrado fosfático versus tempo de lixiviação.

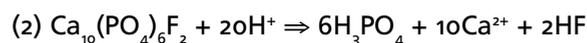
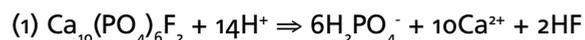
#### 4.4. Lixiviação em pilhas ou tanques de minérios fosfatados

Habashi e Awadalla, da Universidade Laval, no Québec - Canadá, na década de 80, estudaram a lixiviação de rochas fosfáticas (minério, não o concentrado) utilizando os ácidos clorídrico e nítrico diluídos. Seria uma metodologia aplicável à lixiviação em pilhas ou tanques (cubas), como eles próprios afirmam, o que pode revestir-se de grande interesse para minérios sem carbonatos, como, por exemplo, o de Angico dos Dias (BA).

Os estudos daqueles autores incidiram sobre amostras de minérios fosfáticos da Flórida (EUA), com 18,22% de  $P_2O_5$ , compostas por 40% de apatita e 60% de ganga insolúvel, formada principalmente por argila e quartzo.

Constataram haver uma concentração ácida ideal para se obter a recuperação máxima de  $P_2O_5$ : 10% para HCl e 20% para  $HNO_3$ . Os autores explicam-na pela formação de: i) fosfato monocálcico no ataque com ácido pouco concentrado (1); ii) ácido

fosfórico, quando se utiliza ácido fortemente concentrado (2).



Quando o fosfato monocálcico é o principal produto em solução, o ataque ácido inicial dissolve grande parte do  $P_2O_5$  do minério, o que requer um certo tempo para digestão (8 - 12 horas). Depois, a lixiviação passa a desenvolver-se de forma relativamente rápida (2 - 5 horas) porque o material se torna poroso. Com ácido concentrado, condição favorável à formação de fosfato dicálcico, o material fica compacto e a percolação demora alguns dias.

Em condições de baixa concentração dos ácidos, favoráveis à formação de fosfato monocálcico, a recuperação de  $P_2O_5$  é superior a 90%, e de apenas 50%, quando se forma fosfato dicálcico.

Aqueles autores inumeram as seguintes vantagens para a lixiviação com ácidos clorídrico e nítrico dilu-

idos: i) possibilidade de lixiviação direta do concentrado ou do minério moído na boca da mina; ii) controle/eliminação da radioatividade em rejeitos; iii) possibilidade de recuperação, como subprodutos, de elementos raros (ETR, por exemplo), de bom valor comercial; iv) formação de fosfato monocálcico, de elevado grau de pureza, isento de elementos pesados tóxicos, que pode ser comercializado, como aditivo para rações, na indústria pecuária.

#### 4.5. Termofosfatos

A produção de termofosfatos no Brasil, realizada apenas por uma empresa, foi de 135.000 t em 2004. Não há produção de termofosfatos potássicos.

O termofosfato fabricado no Brasil, e comercializado com o nome de *yoorin*, é um fertilizante fosfatado que contém, além do P, Ca e Mg, micronutrientes silicatados. Obtém-se por fusão de fosfato natural, em forno elétrico, à temperatura de 1.500°C. O produto incandescente é submetido a choque térmico com jato de água.

O *yoorin* é um produto não higroscópico, cujos componentes são caracterizados por alta eficiência nutritiva, reação rápida e efeito duradouro (FERTILIZANTES MITSUI, 2005).

*“A presença de silicato em sua fórmula diminui a fixação de fósforo e dos excessos de alumínio e manganês, reduz a incidência de doenças e pragas, mantém o balanço hídrico e aumenta a atividade fotossintética. Yoorin torna-se solúvel em contato com os ácidos fracos do solo e das raízes, disponibilizando os elementos de acordo com a necessidade da planta” (op. cit.).*

São comercializadas sete variedades de termofosfato cujas especificações são apresentadas em 4.7.3., Tabela 4.5.

A utilização de rochas feldspáticas, enriquecidas em potássio e calcários (magnesianos), muito abundantes na natureza, é um caminho, potencialmente promissor, para a produção de termofosfatos potássicos, como já foi demonstrado em trabalhos realizados pelo IPT – IG/USP (VALARELLI e GUARDANI, 1981; VALARELLI *et al.*, 1993).

Naquela ocasião, testes realizados em escala piloto, por uma empresa da área de fertilizantes, com, entre outros materiais, a «Rocha Potássica» do Planalto de Poços de Caldas, obtiveram resultados considerados muito bons pelos parâmetros de qualidade atingidos pelo termofosfato potássico gerado.

Seria um caminho aberto para a produção de um fertilizante de solubilização lenta, adaptado às condições climáticas dominantes no Brasil, contendo os macronutrientes fósforo e potássio, dos quais o Brasil é grande importador.

#### 4.6. Fertilizantes organo-fosfatados

Utilizando como matéria-prima minérios fosfatados, pobres (minérios marginais) ou não, e matérias-primas, tais como turfa, bagaço, palha, poderão ser produzidos fertilizantes organo fosfatados (OBA, 2004).

Segundo referem Oba e Chaves (2000), trata-se de um processo desenvolvido em laboratório, na França, pelos pesquisadores F. Sternicha e A. Bernard (patente nº 87-13177, na França). O princípio deste novo processo baseia-se no tratamento de uma mistura de fosfato e matéria orgânica por óxidos de nitrogênio, que se transformam em ácido nítrico em contato com a umidade da mistura. O ácido nítrico formado ataca a apatita e a matéria orgânica, formando ácidos húmicos que também atuam na dissolução da apatita. “O produto final aporta para as culturas um fosfato parcialmente solúvel, matérias orgânicas pré-humidificadas e nitratos” (OBA, 2004).

As etapas químicas determinantes do processo são: i) combustão da amônia com formação de óxidos nitrosos; ii) sua transformação em óxidos nítricos por oxidação; e iii) ataque dos fosfatos (*op. cit.*).

Partindo de minérios marginais e/ou de rejeitos fosfatados é possível, como afirmam aqueles autores, produzir-se um produto fosfatado, de solubilização lenta, contendo, além do fósforo, nitrogênio sob a forma de nitratos e matérias orgânicas pré-humidificadas.

#### 4.7. Matérias-primas, produtos industriais e comerciais

A Lei nº 86.955, de 18.02.82, que dispõe sobre a fiscalização da produção e comércio de fertilizantes, define-os como “substância mineral ou orgânica, natural ou sintética, fornecedora de um ou mais nutrientes das plantas” (Decreto nº 86.955, publicado no DOU, em 24.02.82).

Os **fertilizantes minerais** são constituídos por compostos inorgânicos e orgânicos sintéticos obtidos por processos industriais (ex.: uréia). Podem ser **simples** (com um único composto químico, mas com um ou mais nutrientes, macro e/ou micro) ou **mistos** (resultam da mistura de dois ou mais fertilizantes simples). Os fertilizantes mistos subdividem-se em vários tipos, sendo os mais conhecidos, as **misturas** (mistura física de dois ou mais fertilizantes simples que podem estar individualmente na forma granulada ou em pó) e os fertilizantes **complexos** ou granulados complexos (são preparados por processo químico contendo dois ou mais compostos químicos em cada unidade de grânulo) (KULALF, 1997).

O fósforo é um dos 16 nutrientes considerados essenciais e/ ou necessários ao crescimento e à reprodução das plantas. Em função das quantidades necessárias e importância no processo de desenvolvimento das plantas, os nutrientes classificam-se em (FERREIRA e CRUZ, 1991; FAO/IFA, 2002; POTAFOS/NUTRI-FATOS, 2005; RESENDE, 2005):

- macronutrientes principais - N, P, K;
- macronutrientes secundários - Ca, Mg, S;
- micronutrientes ou oligoelementos: i) metálicos - Fe, Mn, Zn, Mo, Cu, Ni; ii) não metálicos - B, Cl; iii) benéficos para algumas plantas - Na, Si, Co, Al, clorina (IFA, 2005).

Na China as terras-raras são largamente utilizadas como micronutrientes.

A necessidade de fertilizantes nos solos exprime-se em kg/ha para os macronutrientes e em g/ha para os micronutrientes.

Os fertilizantes fosfatados mais comuns podem ser classificados com base no número de nutrientes e na sua composição química:

- a) Com um macronutriente primário (P): superfosfato simples (SSP); superfosfato triplo (TSP); termofosfato magnesiano.
- b) Com dois macronutrientes primários (NP): fosfato monoamônico (MAP); fosfato diamônico (DAP).
- c) Formulações NPK: binária; baixa concentração; alta concentração fosfatada; alta concentração nitrogenada.

Em função da sua solubilidade, os fertilizantes fosfatados podem ser divididos em (IFA, 2005):

- a) Solúveis em água: superfosfatos simples – SSP (18-20% de  $P_2O_5$ ); superfosfato triplo – TSP (45% de  $P_2O_5$ ).
- b) Parcialmente solúveis: fosfatos parcialmente acidulados (23-26% de  $P_2O_5$ , com pelo menos 1/3 solúvel em água).
- c) Solubilização lenta: fosfato dicálcico solúvel em citrato.
- d) Solubilização muito lenta: rochas fosfáticas finamente moídas (30% de  $P_2O_5$ ) com a reatividade indicada pela solubilidade em ácido fórmico (limite permitido: 1/2 do  $P_2O_5$  contido).
- e) Multinutrientes: NPK => contendo 1/3 ou mais de P para consumo rápido e 2/3 para absorção lenta (fonte contínua); NP => nitrofosfato NP (20-23%  $P_2O_5$ ), monoamôniofosfato = MAP (11% N; 50% de  $P_2O_5$ ), diamôniofosfato = DAP (18% N; 46% de  $P_2O_5$ ), polifosfatos líquidos de amônio (12% N; 40% de  $P_2O_5$ ); PK => mistura muito usada, com proporções variadas de P e de K.

Há dois tipos de empresas na indústria de fertilizantes: mineradoras/produzoras de matérias-primas e de produtos intermediários e misturadoras/vendedoras de fertilizantes. No Brasil, são exemplos do primeiro tipo as empresas: Fosfertil/ Ultrafertil, Bünge/Serrana, Copebras (Anglo

American) e Galvani S.A. As empresas misturadoras/revendedoras são numerosas e têm a sua Associação, a AMA (Associação dos Misturadores de Adubos do Brasil).

#### 4.7.1. Matérias-primas básicas

Designa-se por *rocha fosfática*, rochas ricas de minerais do grupo da apatita (não confundir, como acontece frequentemente, com o termo *concentrado fosfático*, produto que resulta do beneficiamento da rocha fosfática). No Brasil, as rochas fosfáticas apresentam teores de  $P_2O_5$  oscilando entre 5% (Jacupiranga - SP) e 22% (Paulista - PE).

Depois do beneficiamento o concentrado fosfático atinge teores de  $P_2O_5$  que variam entre 32% e 38%. O teor de fósforo é medido sob a forma de  $P_2O_5$  (pentóxido de difósforo) contido, ou em BPL (*Bone Phosphate Lime*) que exprime o P em termos de fosfato tricálcico –  $Ca_3(PO_4)_2$ , isto é, 1% de  $P_2O_5$  = 2,185% de BPL. Na Tabela 4.3 resumem-se as especificações para os concentrados de rocha fosfática (*phosphate rock*).

As empresas produtoras atuam também como misturadoras e ainda no campo da química. Estruturam-se em complexos industriais principalmente nas regiões Centro-Sul, Sudeste e Sul do Brasil.

**Tabela 4.3** - Especificações para o concentrado de rocha fosfática (*phosphate rock*).

Itens	Valores	Considerações
$P_2O_5$	Até 42%	
CaO : $P_2O_5$	1,32 – 1,61	Deve ser o mais baixo possível para diminuir o consumo de $H_2SO_4$ .
Fe e Al	$Fe_2O_3$ ou $Al_2O_3$ < 3-4%. $P_2O_5/R_2O_3 \approx 20$ Desejável: 0,1-2% de $Fe_2O_3$ ou 0,2-3% de $Al_2O_3$ com 60-90% passando para o ácido	Formam fosfatos complexos; influenciam a viscosidade do ácido; originam resíduos de pós-precipitação.
Mg	05-1,5% na apatita. Desejável $P_2O_5/MgO \approx 78\%$ com 0,2-0,6% de MgO	Forma fosfatos coloidais complexos com Al e F que entopem os filtros.
F	F: 2-4%; $P_2O_5/F$ : 6-11 nas apatitas; Si/F pode ser maior. F passando 25-75% para o ácido	Corrosivo. Pode modificar a formação de cristais. Possível co-produto.
$SiO_2$	1-10%. 5-40% passando para o ácido	Em quantidades elevadas causa abrasão. Transforma o HF em ác. Fluossilícico, menos corrosivo. Forma complexos com Al, Na, Mg e Fe.
Si:F	Baixa razão dá origem a ácido com teor de F elevado	
Sr	0-3% de SrO	Inibe a recristalização de gesso hemihidratado.
Cl	0-0,055% passa totalmente para o ácido	Acima de 0,03% provoca forte corrosão.
Carbonato	0,7-8%	Aumenta o consumo de $H_2SO_4$ .
Matéria orgânica	0,1-1,5%	Dificulta a filtração. Estabiliza a espuma durante o ataque ácido.
Elementos menores	Mn, Fe, Zn, Ti e Cu	Pode contribuir para a pós-precipitação de fosfatos insolúveis.
Elementos tóxicos	Cd, Hg, Cr, As, Pb, Se, U-Th, V Impõem teores baixos (< 0,8- 255 ppm de Cd, por exemplo)	Podem ser micronutrientes potenciais. Passam para o ácido proporções significativas.
U	35-400 ppm $U_3O_8$ . 75-80% passando para o ácido	Recuperável podendo constituir um subproduto.

Fonte: *The Industrial Minerals HandyBook*.

A indústria dos fertilizantes fosfatados recorre a **matérias-primas básicas** (*rocha fosfática, enxofre e amônia anidra*) e **produtos intermediários** (*ácidos fosfórico, sulfúrico e nítrico*).

No Brasil, cerca de 95% da capacidade nominal de produção de concentrados apatíticos resulta de minérios associados a complexos alcalino-carbonatíticos cuja composição mineralógica é muito variável, até dentro da própria jazida.

Os concentrados de minérios de apatita de origem ígnea, como os do Brasil, atingem teores de  $P_2O_5$  superiores aos das rochas sedimentares. Por exemplo: Flórida/EUA (31,3%), Khouribga/Marrocos (32,9%), El Hassa/Jordânia (32,8%), Abu Tartur/Egito (30,0) e, no caso das rochas ígneas, de Phalaborwa/República da África do Sul, Palfos 80M (36,5%), Palfos 88S (40,2%), Palfos 88I (39,9%) (SCHORR e LIN, 1997 e *Phosphorus & Potassium*, nº 169, 1990). No Brasil oscilam entre 33,5% (Tapira) e 38,0% (Catalão).

O produto comercial típico de fósforo é um *concentrado cálcio-fosfatado* com 36% de  $P_2O_5$  e 3 a 4% de flúor, tendo como principais impurezas óxi-hidróxidos de ferro, argila, fosfatos de alumínio e sílica, geralmente sob a forma de grãos de quartzo. Elementos-traço comuns são os ETR (por vezes com teores significativos), Th-U, Sr, Ba, Mg, Zn e outros elementos raros, ainda mal definidos.

*Enxofre* - Não são conhecidos depósitos econômicos de enxofre natural (elementar) no Brasil, onde toda a produção provém de gás de refinaria de sulfetos de cobre (Caraíba Metais - BA) e de sulfetos de zinco (Paraíbuna Metais - MG). Para complementar a demanda interna, o País foi obrigado a importar US\$ 124 milhões em 2003.

*Amônia anidra* ( $NH_3$ ) - Obtém-se por reação entre o nitrogênio e o hidrogênio, à pressão e temperatura elevadas, na presença de catalisador. O nitrogênio provém do ar e o hidrogênio pode ter várias fontes, sendo as mais comuns o gás natural e os derivados do petróleo. A amônia, matéria-prima básica para fabricação de fertilizantes nitrogenados, é utilizada na produção de uréia, nitrato de amônio, fosfato monoamônio (MAP), fosfato de diamônio (DAP) e sulfato de amônio.

#### 4.7.2. Produtos intermediários

*Ácido fosfórico* ou, mais corretamente, *ácido ortofosfórico* ( $H_3PO_4$ ) - É a matéria-prima utilizada na produção de fertilizantes fosfatados de alta concentração. Aplica-se também em nutrição animal.

Ácido fosfórico é uma designação imprecisa, dado que são conhecidos oito ácidos de fósforo dos quais quatro são fosfóricos, hipofosfórico ( $H_4P_2O_6$ ), pirofosfórico ( $H_4P_2O_7$ ), metafosfórico ( $HPO_3$ ), ortofosfórico ( $H_3PO_4$ ) e os outros quatro, fosforosos, hipofosforoso ( $H_3PO_2$ ), metafosforoso ( $HPO_2$ ), pirofosforoso ( $H_4P_2O_5$ ) e fosforoso ( $H_3PO_3$ ). Na agroindústria, quando não se especifica, ácido fosfórico designa o ácido ortofosfórico.

O ácido fosfórico obtém-se por dois processos: via úmida e via térmica. Na via úmida faz-se reagir a rocha (ou o concentrado) fosfática com um ácido ( $H_2SO_4$ ,  $HNO_3$ , HCl), separando-se e concentrando-se posteriormente o ácido fosfórico. Utiliza-se a via térmica quando o objetivo é a obtenção de ácido fosfórico de grau alimentar. No ácido fosfórico, obtém-se uma concentração de  $P_2O_5$  da ordem de 52-54%. Exemplo: Fosfertil/Complexo Industrial de Uberaba:  $P_2O_5$  total (52% mín.).

Especificações padrão para o ácido fosfórico:

- concentração em  $P_2O_5$  => 52,00%
- sólidos =>  $\leq$  2,00%
- $SO_4^{2-}$  (sulfato livre) =>  $\leq$  1,85%
- densidade => 1,7 (35 °C)

*Ácido sulfúrico* - É fabricado principalmente pelo processo de absorção dupla, a partir da oxidação do enxofre, e por ustulação de piratas, obtendo-se um produto a 98,5%. Fator de consumo médio: 0,35t de S por tonelada de  $H_2SO_4$  produzido.

Especificações para o ácido sulfúrico:

- Concentração: 98 a 99% (em peso)
- Densidade:  $>$  1,84 g/cm<sup>3</sup> (30°C)
- MgO:  $\leq$  1,10%

*Ácido nítrico* - É produzido comercialmente pelo processo de oxidação da amônia e absorção na água a pressão variável.

No Brasil, o ácido clorídrico não é utilizado na produção de ácido fosfórico, embora sua indústria apresente forte capacidade ociosa e até produção de excedentes. É obtido, principalmente, como produto da fabricação da soda. Segundo o Anuário da Indústria Química Brasileira (ABIQUIM) de 2003, a capacidade instalada, produção e vendas, em 2002, foram, respectivamente, 283.100t, 131.632t e 131.342t, o que traduz forte capacidade ociosa (53,5%).

### 4.7.3. Principais produtos da indústria dos fertilizantes fosfatados e suas especificações

**Concentrado fosfático** - Depois do beneficiamento, a rocha fosfática atinge concentrações de  $P_2O_5$  que variam entre 32% e 38%. Os valores de BPL oscilam, normalmente, entre 55 e 77%, e a umidade, limitada a 3%, raramente excede 1,5% nos produtos comerciais. Na Tabela 4.4 apresentam-se as especificações e a composição do concentrado produzido em Tapira, a maior mina do Brasil.

**Concentrado Fosfático Seco Microgranulado** ("Rocha Fosfática Seca"), 90 a 95% <200#, é comercializado, para aplicação direta, com base nos teores de  $P_2O_5$ . Exemplo: Fosfertil =>  $P_2O_5$  (36,0% máx.);  $Fe_2O_3$  (3,0% máx.);  $SiO_2$  (2,8% máx.); umidade (0,5% máx.).

**Rocha Fosfática sem Umidade** - É comercializada tendo como base o teor de  $Ca_3(PO_4)_2$  - fosfato tricálcico (BPL - Bone Phosphate Lime), sendo fatores de penalização teores de óxidos de Fe e Al (I&A - Iron and Aluminium - sigla internacional) que ultrapassem os limites estabelecidos. Os valores de BPL oscilam, normalmente, entre 55 e 77% e a umidade, limitada a 3%, raramente excede 1,5% nos produtos comerciais.

**Tabela 4.4** - Especificações e composição do concentrado fosfático de Tapira, a principal mina do Brasil.

Composição (%)	$P_2O_5$	CaO	$Fe_2O_3$	$Al_2O_3$	MgO	F
Especificações	≥ 34,7	≤ 52,5	≤ 1,60	≤ 0,4	≤ 1,1	
Tapira	35,0	50,8	1,2	0,2	0,8	1,3

**Rocha Fosfática com Umidade** - É aplicada na produção de fertilizantes de aplicação direta. Exemplo: Ultrafertil/Catalão =>  $P_2O_5$  (36,0 ± 0,5%);  $Fe_2O_3$  (2,5 ± 0,5%);  $SiO_2$  (1,8 ± 1,0%); +325 # (78 ± 12%); umidade (10 ± 5%).

**Superfosfato Simples (SSP)** - É o principal ingrediente de fertilizantes mistos. Resulta da acidulação da rocha fosfática. A presença de Fe e Al na produção de superfosfato aumenta o consumo de ácido sulfúrico na acidulação, dando origem, além disso, a um produto de menor qualidade. Por outro lado, teores elevados de Fe são indesejáveis em fornos elétricos porque o ferro, combinando-se com o fósforo, origina o ferrofósforo, produto de difícil venda. Exemplos: superfosfato simples farelado produzido no complexo industrial da Fosfertil/Uberaba =>  $P_2O_5$  CNA + água (18,0%);  $P_2O_5$  sol. água (16,0%); superfosfato simples da Serrana =>  $P_2O_5$  solúvel em CNA + água (18%);  $P_2O_5$  sol. água (16,0%); Ca (18 a 20%); S (12%).

**Superfosfato Simples Amoniado (SSPA)** - Aplicações: fertilizante. Exemplo: Fosfertil/Complexo Industrial de Uberaba e Complexo Minerero-Químico de Catalão => Nitrogênio Amoniacal (3,0%);  $P_2O_5$  CNA + água (17,0%).

**Superfosfato Simples (SSP) Farelado** - Aplicações: fertilizante. Exemplo: Fosfertil/Complexo Industrial de Uberaba e Complexo Minerero-Químico de Catalão =>  $P_2O_5$  CNA + água (18,0%);  $P_2O_5$  Sol. Água (16%).

**Superfosfato Triplo (TSP) Granulado** - Aplicações: fertilizantes. Exemplo: Fosfertil/Uberaba =>  $P_2O_5$  CNA + água (46,0%);  $P_2O_5$  sol. água (39,0%).

**Superfosfato Triplo (TSP) Farelado Grosso** - Aplicações: fertilizantes. Exemplo: Fosfertil/Complexo Industrial de Uberaba =>  $P_2O_5$  CNA + água (44,5%);  $P_2O_5$  sol. água (38,0%).

**Fosfato Diamônico (DAP)** - É aplicado em fertilizantes, no tratamento de efluentes e em fermentação alcoólica. Exemplo: Fosfertil/Piaçaguera => N total (18,0%);  $P_2O_5$  Scan + água (46,0%);  $P_2O_5$  sol. água (38,0%).

**Fosfato Monoamônico (MAP)** - Aplicações em fertilizantes, no tratamento de efluentes e em fermentação alcoólica. Exemplos: Fosfertil/Piaçaguera => N total (11,0%); P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Scan + água (52,5%); P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Sol. Água (43,0%). Fosfertil/Uberaba => N total (10,5%); P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Scan + água (54,0%); P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> sol. água (49,0%); Granulometria – retida 4,0mm (0%); passante < 0,5mm (< 5,0%).

**Termofosfatos** - No Brasil são produzidas e comercializadas sete variedades de termofosfatos cujas especificações são apresentadas na Tabela 4.5.

Na Tabela 4.6, indica-se a capacidade de produção de produtos intermediários fosfatados, em t/ano, e, na Tabela 4.7, apresentam-se, de forma sintética, as características mais comuns dos principais fertilizantes fosfatados.

**Tabela 4.5** – Composição química de termofosfatos produzidos e comercializados no Brasil.

Pro- duto	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		Garantia (%)							
	Total	(*)	Ca	Mg	S	B	Cu	Mn	Si	Zn
(I)	18,0	16,5	18,0	7,0	-	-	-	-	10,0	-
(II)	16,5	12,5	17,0	6,0	6,0	-	-	-	9,0	-
(III)	17,5	16,0	18,0	7,0	-	-	-	-	10,0	0,5
(IV)	17,5	16,0	18,0	7,0	-	0,1	0,05	0,15	10,0	0,55
(V)	16,0	12,0	16,0	6,0	6,0	0,1	0,05	0,15	9,0	0,55
(VI)	16,0	12,0	16,0	6,0	6,0	0,2	0,20	0,40	9,0	0,5
(VII)	17,0	15,5	18,0	7,0	-	0,4	-	-	10,0	-

Fonte: Fertilizantes Mitsui S.A.

(\*) Solúvel em ác. cítrico a 2%; (I) => Yoorin Mg; (II) => Yoorin Mg S; (III) => Yoorin Zn; (IV) => Yoorin Master 1; (V) => Yoorin Master 1S; (VI) => Yoorin Master 2S; (VII) => Yoorin B.

**Tabela 4.6** - Capacidade de produção de produtos comerciais fosfatados das principais empresas do Brasil (t / ano).

Produto / Empresa	Localização	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	Capac. de Prod.
<b>Superfosfato triplo (Pó)</b>			
Copebrás	Catalão (GO)	41,0	40.000
Copebrás	Cubatão (SP)	41,0	28.000
Fosfertil	Uberaba (MG)	44,5	435.000
Roulier	Rio Grande (RS)	42,0	50.000
Trevo	Rio Grande (RS)	42,0	78.000
<b>Fosfato Monoamônio (MAP)</b>			
Copebrás (Pó)	Catalão (GO)	48,0	113.000
Fosfertil (Pó)	Uberaba (MG)	54,0	150.000
Fosfertil (Granulado)	Uberaba (MG)	54,0	460.000
Ultrafertil (Granulado)	Piaçaguera (SP)	52,5	253.000
<b>Fosfato Diamônio (DAP)</b>			
Ultrafertil	Piaçaguera (SP)	46,0	8.000
<b>Termofosfato</b>			
Mitsui do Brasil	Poços de Caldas (MG)	18,0	135.000

Fonte: ANDA (2004), COPEBRÁS (2005), FOSFERTIL, (2005).

**Tabela 4.7** – Síntese com a descrição e especificações dos principais fertilizantes fosfatados (valores médios).

Produto	Descrição	Concentr. Comum	Fatores Técnicos	Principais Usos
Superfosfato Simples: SSP $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{CaSO}_4$ <sup>(a)</sup>	Fertilizante de baixa concentração. Contém dois importantes macronutrientes secundários: Ca e S	20% $\text{P}_2\text{O}_5$ total 18% CNA + Água 16% Solúvel em água	0,374 t $\text{H}_2\text{SO}_4$ 0,575 t de rocha com 36% de $\text{P}_2\text{O}_5$	Aplicação direta no solo ou em formulações NPK
Superfosfato triplo: TSP $\text{Ca} \text{H}_2\text{PO}_4$ <sup>(b)</sup>	Produto solúvel na água. Resulta da reação entre o ác. fosfórico e o concentrado fosfático	46% $\text{P}_2\text{O}_5$ total 42% $\text{P}_2\text{O}_5$ solúvel CNA + Água	0,346 t $\text{H}_3\text{PO}_4$ (100%) 0,393 t rocha 36% $\text{P}_2\text{O}_5$	Empregado para aplicação direta no solo ou em formulações NPK
Fosfato Mono-amônico – MAP $(\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4$	Produto solúvel em água. Resulta da reação entre ác. fosfórico e amônia. Pode ser obtido em pó e granulado, quando a razão molar = 1	10-11% N e 54% $\text{P}_2\text{O}_5$ total 10-11% N e 52% $\text{P}_2\text{O}_5$ Solúvel CNA + água 10-11% N e 48% $\text{P}_2\text{O}_5$ solúvel água	0,136 t amônia 0,540 t $\text{H}_3\text{PO}_4$ (100%)	Fertilizante de aplicação direta no solo ou em formulações NPK
Fosfato Diamônico – DAP $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	Solúvel em água. Resulta da reação entre ác. fosfórico e amônia. Forma-se uma lama com razão molar 1,5 que com uma quantidade adicional de amônia, passa a 2M	18% N e 46% $\text{P}_2\text{O}_5$ total e Solúvel CNA + Água. 18% N e 40% $\text{P}_2\text{O}_5$ solúvel em Água	0,232 t amônia 0,468 t $\text{H}_3\text{PO}_4$ (100%) 0,040 t $\text{H}_2\text{SO}_4$	Aplicação direta no solo ou em formulações NPK
Fosfato Natural, Parcialmente Acidulado - PAPR	É obtido por ataque da rocha fosfática, com baixa concentração de $\text{P}_2\text{O}_5$ , pelo $\text{H}_2\text{SO}_4$	20% $\text{P}_2\text{O}_5$ Total 9% $\text{P}_2\text{O}_5$ e Solúvel CNA + Água 5% $\text{P}_2\text{O}_5$ Solúvel na Água	0,220t $\text{H}_2\text{SO}_4$ 0,780t Fosfato Natural	Fertilizante de aplicação direta no solo
Termofosfato	Obtido pelo processo de desfluorização pelo calor. O fosfato natural, enriquecido com silicato de magnésio, é fundido em forno elétrico à temperatura de 1.500°C	$\text{P}_2\text{O}_5$ 18,2%; CaO 28%; MgO 14,5%; Si 10%; soma de óxidos 42,50%; poder de neutralização 67,00%. Solubilidade praticamente total	Solúvel em ac. Cítrico a 2% Granulometria. ABTN: n° 10 (100%); n° 20 (70%); n° 50 (50%); n° 100; (75%).	Aplicação semelhante ao do adubo básico: na superfície, no sulco, ou na cova, misturado com adubo formulado ou não.

(a) *Superfosfato Simples* – Foi o primeiro fertilizante obtido industrialmente (século XIX).

(b) *Superfosfato triplo* – Resulta do ataque do concentrado por ácido fosfórico. A produção de superfosfato triplo vem aumentando desde o início do século, principalmente em usinas implantadas na boca das minas. A sua composição, com 41 a 48% de  $\text{P}_2\text{O}_5$  disponível, quase todo solúvel na água, tem sido fator decisivo e a principal razão desta grande procura e valorização.

#### 4.7.4. Formulações NPK

Formulações ou misturas NP e NPK resultam da reunião de dois ou mais nutrientes, em proporções tais que atendam às necessidades nutricionais das culturas (Tabela 4.8). Dependem de variáveis como solo, tipo de cultivar, clima e morfologia.

Tabela 4.8 - Exemplos de formulações NPK.

ANDA	YARA
2 - 20 - 20	15 - 15 - 15
4 - 14 - 8	20 - 10 - 10
4 - 20 - 20	13 - 13 - 21
5 - 25 - 15	12 - 12 - 17 - 2 (MgO)
5 - 25 - 25	22 - 14 - 00
12 - 6 - 12	20 - 20 - 00
14 - 7 - 28	
20 - 5 - 20	

Fonte: ANDA, 2004; YARA, 2004.

Na Tabela 4.9 apresentam-se alguns exemplos de teores de P em formulações NPK.

Tabela 4.9 - Teores de P em alguns fertilizantes.

Misturas / Fertilizantes	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)
Fertilizantes NPK	5 - 24
Fertilizantes NP	6 - 34
Fertilizantes PK	5 - 30
DAP	42 - 48
MAP	52

Fonte: YARA, 2004.

## 5. Considerações finais

Segundo estimativas da FAO, em 2025, a produção mundial de alimentos deverá atingir 4 bilhões de toneladas/ano, quantidade necessária para alimentar uma população que ultrapassará os 8 bilhões de pessoas. Esse estudo indica que a produtividade de grãos deverá aumentar substancialmente passando das 2,5 t/ha, verificada em 1990, para 4,5 t/ha (Tabela 5.1).

Para isso, será necessário o uso intenso, mas racional, de fertilizantes e corretivos agrícolas responsáveis,

*“dentre diversos fatores de produção, por cerca de 50% dos aumentos de produção e produtividade na agricultura (...) (o Brasil) possui tecnologias sustentáveis de produção para, no curto prazo, conseguir grandes avanços na produtividade média de muitas culturas, principalmente aquelas que se constituem em alimentos básicos, e dispõe da maior fronteira mundial para expansão da agricultura” (LOPES, GUILHERME e SILVA, 2003).*

Tabela 5.1 – Estimativas de crescimento populacional, demanda de alimentos e produtividade necessária.

	1990	2000	2025
População mundial (10 <sup>9</sup> habitantes)	5,2	6,2	8,3
Demanda de alimentos (10 <sup>9</sup> toneladas)	1,97	2,45	3,97
Produtividade (t/ano)	2,5	2,9	4,5

Fonte: FAO, 2004.

Com efeito, o Brasil utiliza pouco mais do que 10% da área total agricultável, situação bem diferente da que se verifica em países como a China (47,5%), França (50,2%) e EUA (53%). Por outro lado, no Brasil, “o déficit total de nutrientes corresponde a cerca de 30% do consumo atual no país, representando um déficit por área da ordem de 25 a 30 kg de nutrientes por ha” (*op. cit.*), o que deixa em aberto a possibilidade do crescimento da produtividade baseada no aumento do consumo e no uso mais eficiente de fertilizantes.

Especificamente em relação ao fósforo, e segundo os mesmos autores, no Brasil, o déficit anual estimado é superior a 400 mil toneladas de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e

*“o processo produtivo da agricultura, nas taxas atuais de consumo de fertilizantes está, em realidade, minando o recurso solo. Isso pode, no longo prazo, levar a conseqüências altamente danosas para a sustentabilidade da nossa agricultura” (op. cit.).*

O Boletim da FAO, *Fertilizer Use by Crop in Brazil*, reforça esta preocupação ao afirmar, logo nas primeiras páginas, no resumo, que:

*“the nutrient balance in Brazilian agriculture is unsatisfactory. The quantities of nutrients removed are higher than the quantities supplied. Thus soils are being progressively depleted of nutrients. This represents a threat to long-term agricultural sustainability” (FAO, 2004).*

A situação é particularmente preocupante, quantitativamente, no Sul e Centro-Oeste do País, mas no Nordeste, onde se localizam 47,7% das propriedades agrícolas (Tabela 5.2), apenas 4,1% *had “some kind of advice from the official rural extension service”*, segundo revelou estudo efetuado pela FAD, em 1995/1996 (FAD,2004).

Na década de 60, começou a crescer a aplicação de fertilizantes na agricultura brasileira. No período de 1965 a 2003, o consumo de adubos NPK cresceu 39 vezes e o do fósforo, 41 vezes. A sua influência pode ser avaliada pelas taxas de crescimento relativas ao período 1984 e 2004, quase sempre positivas neste período:

- produção agrovegetal => 79%;
- produção de grãos => 101%;
- consumo de adubos NPK => 172%;
- consumo de NPK (kg/ha de área colhida) => 129%;
- produtividade (produção kg/ha) => 50%;
- área colhida das 16 principais culturas => 19%.

O Brasil, como um dos maiores produtores em agropecuária e grande consumidor/importador de fertilizantes, deveria estabelecer, na área dos fertilizantes fosfatados, alvos e políticas, de médio e longo prazos, apoiados em ações integradas do governo, centros de pesquisa, universidades e empresas, visando:

- desenvolver e implantar, de forma generalizada, tecnologias sustentáveis na sua agro-indústria;
- criar e implantar dinâmicas de prospecção e pesquisa, sistemática e abrangente, de novos depósitos, principalmente em complexos carbonatíticos;
- promover a entrada em produção de jazidas já definidas como técnica e economicamente viáveis, mas não ativas, como, por exemplo, Itataia (CE) e Anitápolis (SC);
- pesquisar o aproveitamento de minérios pobres e/ou rejeitos para aplicação direta;
- aumentar a capacidade de produção dos pólos já existentes e criar novos centros de produção;
- incentivar o estudo de novos materiais e novas metodologias para produção de fertilizantes que se adaptem às diferentes condições solo-clima e socioeconômicas do País, pesquisas que deveriam incluir a rochagem, a produção de termofosfatos potássicos, de organofosfatados

**Tabela 5.2** – Balanço de  $P_2O_5$ , por região, no Brasil.

Região	Aplicação (t) <sup>(a)</sup>	Remoção (t $P_2O_5$ )	Balanço (Região)	Balanço (kg/ha)
Norte	10.534	26.322	-15.788	-7,4
Nordeste	61.003	100.210	-39.207	-3,8
Centro-Oeste	292.978	395.454	-102.476	-8,5
Sudeste	184.520	237.292	-52.772	-4,8
Sul	256.372	560.209	-303.837	-17,4

Fonte: FAO, 2004.

(a) Quantidade de nutriente aplicado, considerando uma eficiência de 60%.

e de rotas alternativas para produção de ácido fosfórico;

- pesquisar a aplicação das terras-raras como micronutriente: i) em fertilizantes do tipo “*nong-le*”, desenvolvido na China como foi referido, ou ii) incluídas nos processos de rochagem (os carbonatitos são uma fonte potencial, dado seus habituais teores elevados em TR).

Por outro lado, o crescente recurso à biomassa<sup>6</sup> como fonte de energia<sup>7</sup> deixa prever um forte crescimento na demanda de fertilizantes, em consequência da necessidade de se aumentar a produção, entre outros cultivares, os de cana de açúcar e de oleaginosas. No Brasil, já há grande consumo de álcool como combustível e a participação de biodiesel passará a ser significativa nos próximos anos.

É uma tendência mundial. A EU-25<sup>8</sup> prevê que, em 2010, a energia renovável represente 12% da sua matriz energética que atualmente tem o seguinte perfil: óleo (38%), gás (23%), carvão (18%), nuclear (15%) e outras (6%). Na designação “outras” estão incluídas: biomassa (65%), hidro (27%), geotermia (4%), eólica (3%) e solar (1%) (EUROSTAT, 2005).

Na Tabela 5.3, sintetiza-se o valor energético de alguns produtos vegetais, para assim se poder avaliar melhor o seu potencial.

Valor calórico de alguns tipos de biomassa, em GJ/t: *lignocelulose* seca (18); celulose úmida (9); óleos e gorduras (36), etanol (26) (EUROPEAN COMMISSION, 2005).

**Tabela 5.3** – Valor energético de alguns cultivares.

Espécies	Produção (t <sup>(a)</sup> /ha/ano)	Valor Energético (GJ/ha/ano)
Arbóreas		
Madeira s.l.	1-4	30-80
Plantações Tropicais <sup>(b)</sup>	2-10	30-180
Plantações Tropicais <sup>(c)</sup>	20-30	340-550
Baixa Rotatividade (salgueiro, choupo)	10-15	180-260
Não arbóreas		
Cana-de-Açúcar	15-20	400-500
Beterraba	10-20	30-200

Fonte: European Commission / UNDP World Energy Assessment.

(a) Produto seco; (b) sem fertilizantes nem irrigação; (c) com fertilização e irrigação.

O futuro da indústria dos fertilizantes fosfáticos no Brasil, considerando que os minérios brasileiros exigem um beneficiamento mais complexo, por serem de origem ígnea e metamórfica, ao contrário dos sedimentares dos grandes produtores, deverá levar em consideração vários fatores:

- os depósitos nacionais apresentam boa distribuição geográfica;
- o crescimento da produção agropecuária no Brasil passará a apoiar-se muito mais no aumento da produtividade do que no avanço das suas fronteiras e, em ambos os casos, os fertilizantes desempenham importantíssimo papel, principalmente nos solos do cerrado;
- há necessidade de se implementarem programas de prospecção e pesquisa mineral sistemáticos, para localização de novos depósitos;
- a interiorização dos polos industriais parece ser fundamental, atendendo à atual tendência de as indústrias de fertilizantes se localizarem o mais próximo possível das minas e polos agrícolas;
- deverão ser executados estudos para aproveitamento mais racional e, se possível integral, dos minérios fosfáticos, o que pode representar: i) aumento de competitividade através do aproveitamento de subprodutos de bom valor comercial, como, por exemplo, as terras-raras e, simultaneamente; ii) redução de impactos ambientais, o que atenderá a leis cada vez mais restritivas;
- a aplicação de terras-raras na agricultura, como micronutriente, é um campo aberto: na China, como se referiu anteriormente, são usadas cada vez mais (no Brasil poderá encarar sua inclusão direta num processo de rochagem de rochas carbonatíticas e de silicatos associados, ricos de TR e Si como, por exemplo, no complexo carbonatítico de Catalão-GO);
- sendo a indústria de fertilizantes poluidora e considerando que preocupações e leis ambientais, em escala internacional, estão impondo progressivamente maiores limitações, tanto na qualidade dos insumos produzidos quanto nos enormes volumes de rejeitos, invasivos e

poluentes, gerados na produção de ácido fosfórico pela rota sulfúrica, devem ser intensificados estudos que mostrem a possibilidade de aproveitamento do fosfogesso e, por outro lado, a validade de rotas hidrometalúrgicas alternativas;

- seria desejável que fossem desenvolvidos, em todo o espaço nacional, estudos de viabilização da rochagem como processo natural de remineralização, ou seja, de reposição de macro e micronutrientes, recorrendo-se a vários tipos de rochas;
- para isso, deveriam ser executados estudos sistemáticos, de caráter lito-químico-petrográficos, para caracterização/inventariação, em todo o espaço nacional, de rochas/solos, estérteis/rejeitos de minas e escórias da atividade metalúrgica, para identificação de fontes potenciais de fertilizantes (macro e micronutrientes) para a agricultura.

*“As pessoas são consideradas utopistas até que as idéias se realizem”.*

## 6. Referências Bibliográficas

- ABIQUIM (2005 - 2004 - 2003 - 2002): Anuário da Indústria Química Brasileira.
- ADAS, M. (1985): Panorama geográfico do Brasil. Editora Moderna, São Paulo, 294 p.
- ADLER, H.H. (1977): Geochemical factors contributing to uranium concentration in alkali igneous rocks. IAEA – TC 25/4, Viena.
- ALBUQUERQUE, G.S.C. de (1996): A produção de fosfato no Brasil: uma apreciação histórica das condicionantes envolvidas. CETEM, Série Estudos e Documentos, 31.
- ALCOVER NETO, A. e NEUMANN, R. (1997): Caracterização de concentrado fosfático de Catalão I (Goiasfértil). Rel. Técn., CETEM.
- ALCOVER NETO, A. e TOLEDO, M.C.M. (1989): Anais do Congresso Brasileiro de Geoquímica, v.2, p. 479-486, Rio de Janeiro.
- ANDA (2005 - 2004 - 2003 - 2002- 2001): Anuário Estatístico do Setor de Fertilizantes, Associação Nacional para a Difusão de Adubos 2003, São Paulo, 1987-2004.
- ANDEF (2004): Associação Nacional de Defesa Vegetal, [www.andef.com.br].
- APPELT, H; COLEMAN, T e PRATT, P.F. (1975): Interactions between organic compounds, minerals and ions in volcanic-ash-derived soils: II. Effects of organic compounds on the adsorption of phosphate. Soil Science Society of America Proceeding, Madison n6, p628-630.
- ARAÚJO, R.V. de *et al.* (2004): Lixiviação clorídrica de concentrado fosfático: estudo de caso. XX ENTEMME, vol. I, p. 533-540.
- ARAÚJO, R.V. de (2003): Fosfatos: uma abordagem sobre minérios e produção/consumo no Brasil – Projeto Rotas Alternativas p.243-251. In: NIELSON H. e SARUDIANSKY, R., eds. (2003): Fertilizantes y Enmiendas de Origen Vegetal, Ed. Panorama Minero.
- ARNDT, W. e MCINTYRE, G.A. (1963): The initial and residual effects of superfosfate and rock phosphate for sorghum on a Lateritic Red Earth. Aust. J. Agric. Res., 14:785-795.
- AWADALLA, F.T. e HABASHI, F. (1971): Recovery of uranium and lanthanides from  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  –  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  and  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  –  $\text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ . I&EC Research **28**, p. 1101-3.
- BARR, J.A. (1971): Phosphate rock. Industrial Minerals and Rocks, p 649-68.
- BARROW, N.J. (1974) Effect of previous additions of phosphate on phosphate adsorption by soils. Soil Sci. 118:82-89.
- BELL, K. ed. (1989): Carbonatites genesis and evolution. Hunwin Hyman, Londres.
- BENEDETTO, J. dos S. (1979): Estudos preliminares de abertura química e separação física em amostras de processamento semi-industrial da METAGO. Rel. Interno, NUCLEBRAS, Rio de Janeiro

- BENNOAH, O.E e ACQUAYE, D.K. (1989). Phosphate sorption characteristics of major Ghanaian soils. Soil Science, Baltimore v148 n1, p114-123.
- BORN, H. & KAHN, H. (1990): Caracterização geológica e mineralógica voltada ao aproveitamento de jazimentos fosfáticos. In: *Encontro Nacional de Rocha Fosfática – Anais*, IBRAFOS, p. 213-33.
- BRAGA, J.M. e NEVES, M.J.B. (1981): Alteração da solubilidade do fosfato de Patos. I. Efeito do tamanho de partículas e do tratamento térmico. R. Ceres 28:546-554.
- BÜNGE (2005): [www.bungefertilizantes.com.br].
- CALMANOVICI, C.E.; GIULIETTI, M. e TOSATO, P.M. (1990): Aptidão tecnológica de alguns fosfatos brasileiros. In: *Encontro Nacional de Rocha Fosfática - Anais*, IBRAFOS, p. 329-43.
- CHAVES, A.P. e OBA, C.A.I. (2004): Críticas ao modelo brasileiro de fertilizantes fosfatados de alta solubilidade [www.cetem.gov.br/publicacao/CETEM\_SED\_63.pdf], 25 p.
- CHEN, H.F. *et al.* (1995): Influence of rare earth-vitamin C compound on the growth of livestock and poultry. Journal of Alloys and Compounds, 225, p. 626-8.
- CHU, C.R., MOSCHLER, W.W. e THOMAS, G.W. (1962): Rock phosphate transformations in acid soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 26:476-478.
- COELHO, M.R. *et al.* (2002): O recurso natural solo. In: C.V. Manzanatto, e. De Freitas Júnior e J.R.R. Peres eds.. *Uso agrícola dos solos brasileiros*, pp 1-11, Embrapa Solos, Rio de Janeiro.
- COPEBRAS (2005): www.copebras.com.br
- COUTO, C. e NOVAIS, R.F. (1986) Efeito do Alumínio em soluções tamponadas a diferentes valores de pH sobre a solubilização da apatita de Araxá. R. Brás. Ci. Solo 10:7-10.
- CPRM (1997): Nota Explicativa do Mapa Síntese do Setor de Fertilizantes Mineraiis (NPK) no Brasil, CPRM-Serviço Geológico do Brasil, Rio de Janeiro.
- CRE: China Rare Earth Information. [www.cre.net/english].
- DE FELIPPE Jr., G. (1990): Panorama da rocha fosfática e ácido fosfórico. In: *Encontro Nacional de Rocha fosfática, Anais, São Paulo*.
- DEVINE, J.R., GUNARY, D, e LARSEN, S. (1968): Availability of phosphate as affected by duration of fertilizer contact with soil. J. Agric. Sci. 71:359-364.
- DE VOTO, R. e SEVENS, D.N. (1979): Uraniferous phosphate resources and technology and economics of uranium recovery from phosphate resources, United States and Free World. NTIS, pc a99/mf AO1. 2247100, june 1979, 3vol., 1648p.
- DNPM (2005 - 2004 – 2003 – 2002 – 2001): Sumário Mineral, Departamento Nacional de Produção Mineral, Brasília.
- DUTRA, C.V. e FORMOSO, M.L.L. (1995): Considerações sobre os elementos terras-raras em apatitas. Geochimica Brasiliensis, v. 9 (2), p.185-99
- EMBRAPA (2003): [www.cobveg.cnpem.embrapa.br/resulta/brasil].
- EUROPEAN COMMISSION/COMMUNITY RESEARCH (2005): New and Renewable Energy Sources / Biomass – Green energy for Europe), [http://europa.eu.int/comm/research/energy/index\_en.htm].
- EUROSTAT (2005): [www.epp.eurostat.cec.eu.int].
- FAO (2003): Économie de l'agriculture de conservation, 67 p. [www.fao.org], acesso em 28/03/05.
- FAO (2004): Fertilizer use by crop in Brasil, 52 p. [www.fao.org], acesso em 21/03/05.
- FAO / IFA (2000): Stratégies em matière d'engrais, 110 p. [www.fao.org], acesso em 22/03/05.
- FAO / IFA (2002): Los fertilizantes y su uso, 4ª ed., 77 p. [www.fao.org], acesso em 22/03/05.
- FERNANDES, H.M., RIO, M. A.Pires e FRANKLIN, M.R. (2004): Impactos radiológicos da indústria dos fosfatos [www.cetem.gov.Br] /Publicações / Série Estudos e Documentos nº 56, 46 p.
- FERREIRA, M.E. e CRUZ, M.C.P. eds. (1991): Micronutrientes na agricultura, POTAFOS/CNPq, 734 p.

- FERTILIZANTES MITSUI – Manual Científico [www.fertimitsui.com.br], acesso em 20/12/2005.
- FOSFERTIL (2004): [www.fosfertil.com.br], acesso em 09/11/04.
- GSCHNEIDER Jr., K.A. (1989): Rare earth fertilizer. Rare earth Information Center-Insight, Ames Laboratory, Iowa State University, v. 2, Nr.1, 2p.
- HABASHI, F. (1985): Trends in fertilizer technology and its impact on the environment. *Materials and Society*, 9 (3), p. 393-409.
- HABASHI, F. (1994): Phosphate fertilizer industry. Processing technology, *Industrial Minerals*, p.66-9, março 1994.
- HABASHI, F. e AWADALLA, F.T. (1988): In situ and dump leaching of phosphate rock, *Ind.& Eng. Chem. Res.*, 27, 11, p. 2165-9, 1988.
- HABASHI, F.; AWADALLA, F.T. e ZALALIF, M. (1986): The recovery of uranium and the lanthanides from phosphate rock. *J. Chem. Tech. Biotechnol.*, v. 36, p. 259-67.
- HAYNES, R.J. (1984). Lime and phosphate in the soil plant systems. *Advances in Agronomy*, San Diego, v37, p249-315.
- HEINRICH, E.W. (1980): The Geology of Carbonatites, 607p., *Robert Krieger Publ. Comp. Inc.*, N.Y.
- HOGART, D.D. (1989): Pyrochlore, apatite and amphibole: distinctive minerals in carbonatite. In: K. BEL ed., *Carbonatites genesis and evolution*, p. 105-48
- HUE, N.V. 1991. Effects of organic acids/anions on P sorption and phytoavailability in soil with different mineralogies. *Soil Science*, Baltimore V 152 n6, p463-471
- IFA (2002): Summary Report – Global Agricultural Situation and Fertilizer Demand in 200/01 and 2001/02, 11p.
- IFA (2004): [www.fertilizer.org/ifa].
- IFA (2005): World Fertilizer Use Manual, [www.fertilizer.org/ifa/publicat], acesso em 16/11/05.
- ISHERWOOD, K.E. (2000): O uso de fertilizantes minerais e o meio ambiente, IFA/UNEP/ANDA, 60 p. [www.fertilizer.org], acesso em 08/03/05.
- KAHN, H. (1988): Caracterização mineralógica e tecnológica da jazida de fosfato do maciço alcalino de Anitápolis, SC. Dissertação de Mestrado, IGUSP, 219 p.
- KAHN, H. *Et al.* (1990): Caracterização tecnológica do minério residual de fosfato de Angico dos Dias, BA. In: *Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Hidrometalurgia - Anais*, 14, Salvador, v. 1, p. 196-211.
- KOSYNKIN, V.D.; MOISEEV, S.D.; PETERSON, C.H. e NIKIPELOV, B.V. (1993): Rare earths industry of today in the Commonwealth of Independent States. *Journal of Alloys and Compounds*, 192, p. 118-20
- KULALIF, Y (1997): A nova configuração da indústria de fertilizantes fosfatados no Brasil, CETEM, Série Estudos e Documentos.
- LAPIDO-LOUREIRO, F.E. (1980): Urânio associado a rochas fosfáticas, NUCLEBRAS, Rel. Interno.
- LAPIDO-LOUREIRO, F.E. (1994): Terras-Raras no Brasil: depósitos, recursos identificados, reservas. CETEM, Série Estudos e Documentos, nº 21, 189 p.
- LAPIDO-LOUREIRO, F.E. (1997): A indústria de fosfatos no Brasil: rumos alternativos para aproveitamento de subprodutos e redução de impactos ambientais. CETEM, Monografia, 67 p.
- LAPIDO-LOUREIRO, F.E., MONTE, M.B.M. e NASCIMENTO, M (2005): Fosfato, In: *Rochas e minerais Industriais – Usos e Especificações*, LUZ, A.B. e LINS, F.A.F., p. 141-171
- LAPIDO-LOUREIRO, F.E. e NASCIMENTO, M. (2003): Fertilizantes e Sustentabilidade na Agricultura: Uma Abordagem Mínero-Química-Metalúrgica, CETEM, [www.cetem.gov.br] / Publicações / Série Estudos e Documentos nº 53.
- LENHARO, S.L.H. (1994): Caracterização mineralógica/ tecnológica das apatitas de alguns depósitos brasileiros de fosfatos. USP, Dissert. De Mestrado, 131 p.

- LOPES, A.S. 1983. Solos sob cerrado. Inst. Potassa e Fosfato.
- LOPES, A. S.; GUILHERME, L.R.G.; SILVA, C.A.P. da (2003): Vocação da Terra, ANDA, 23 p.
- LUZ, A.B. da e LINS, F.A.F. (2005) eds. (2005): Rochas & Minerais Industriais – Usos e Especificações, CETEM, 729 p.
- MACKAY, A.D., SYERS, J.K., TILLMAN, R.W. e GREGG, P.E.H. (1986): A simple model to describe the dissolution of phosphate rock in soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 50:291-296.
- MAGNOLI, D. e ARAUJO, R. (2001): Projeto de Ensino de Geografia – Geografia do Brasil, Editora Moderna, São Paulo, 352 p.
- MALAVOLTA, E. (1967): Manual de química agrícola – Adubos e adubação. SP, Agronômica Ceres, 606p
- MANZATO, C.V. *et al.* (2002): Uso agrícola dos solos brasileiros, EMBRAPA SOLOS.
- MARCIANO Neto, A.; RODRIGUES, A.J. e ARAÚJO, A.C. (1990): Caracterização tecnológica do fosfato de Patos de Minas. Simp. EPUSP de Caract. Tecn. na Eng. e Ind. Mineral, 1, p. 281-91, São Paulo
- MASON, B.H (1971): Princípios de Geoquímica, Editora da USP / Ed. Polígono.
- Mc CLELLAN, G.H. e KAUWENBERG, S.J. (1990): Mineralogy of sedimentary apatites. *Phosphorite research and development*, Geol. Special Publ., 52, p. 23-31.
- MELAMED, R. (2004): Implications of soil chemical interactions on the management of fertilizer in oxisols. Série Estudos e Documentos, nº 59 [www.cetem.gov.br/publicacao/CETEM\_SED\_59.pdf].
- MELLO, M.G. de (2001): Energia da biomassa – a grande oportunidade de Minas e do Brasil, CEMIG
- MENZEL, R.G. (?): Uranium, radium, and thorium content in phosphate rocks and their possible radiation hazard. J. Agr. Food Chem, v. 16, p.231-5.
- MILLER, F.P. e WALI, M.K. (1995): Soils, land use and sustainable agriculture: a review. Canadian Journal of Soil Science. Ottawa v.75 n4 p413-422.
- NOVAIS, R.F. e RIBEIRO, A.C. (1982): Efeito do pH e da concentração de Alumínio em solução sobre a solubilização de apatita de Araxá. R. Brás. Ci. Solo 6:66-88.
- MINERAL GALLERY (2004): [http://mineral.galleries.com/minerals/phosphat/apatite], acesso em 16/11/04.
- NOVAIS, R.F. e SMITH, T.J. (1999): Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Universidade Federal de Viçosa, MG.
- OBA, C.A.I. (2004): Fabricação de um fertilizante organo-fosfatado, Série Estudos e Documentos, nº 62, [www.cetem.gov.br/publicacao/CETEM\_SED\_62.pdf].
- OBA, C.A.I. e CHAVES, A.P. (2000): Aproveitamento de materiais fosfáticos marginais para produção de fertilizantes organo-fosfatados, Bol. Técnico EP/USP/Depto. Eng. Minas, 21 p.
- OLIVEIRA, A.U. de (2005): Agricultura brasileira – transformações recentes. In: ROSS, J.L.S. org., Geografia do Brasil, ed. EDUSP, 2005, 549 p.
- PARFITT, R.L., ATKINSON, R.J. e SMART, R.S.T.C. (1975): The mechanism of phosphate fixation by iron oxides. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 39:837-841.
- PEREIRA, F. (2003): Production d'acide phosphorique par attaque chlorydrique de minerais phosphatés avec réduction des nuisances environnementales et récupération des terres rares. Tese de doutorado, Universidade Jean Monnet / Escola de Minas de Saint-Étienne, França, 228 p.
- PHOSPHORUS & POTASSIUM (1990): nº 169, p.28-36.
- POTAFOS (2005): [www.ppi.ppic.org], Publicações POTAFOS, Arquivo do Agrônomo nº 10 – Nutrifatos, 24 p. , acesso em 15/04/05.
- RESENDE, A.V. de (2005): Micronutrientes na agricultura brasileira: disponibilidade, utilização e perspectivas Série Estudos e Documentos, nº 64, [www.cetem.gov.br/publicacao/CETEM\_SED\_64.pdf].

- RIC INSIGHT: Rare earth Information Center Insight, Ames Laboratory, Iowa State University, Ames, Iowa.
- RIC NEWS: Rare earth Information Center News, Ames Laboratory, Iowa State University, Ames, Iowa.
- ROBINSON, J.S. e SYERS, J.K. (1990): A critical evaluation of the factors influencing the dissolution of Gafsa phosphate rock. *J. Soil Sci.* 41:597-605.
- ROEDER, P.K. *et al.* (1987): Cathodoluminescence and microprobe study of rare earth elements in apatite. *Amer. Miner.*, 72, p.801-11.
- RØNSBO, J.G. (1989): Coupled substitution involving REEs and Na and Si in apatites in alkaline rocks from Ilmaussaq, South Greenland and petrological implications. *American Mineralogist*, v. 74, p.896-901.
- SANTOS, D.R. (2000). Dinâmica do Fósforo em Sistemas de Manejo de Solos. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- SCHORR, M. e LIN, I.J. (1997): Wet process phosphoric acid production, problems and solutions, *Industrial Minerals*, abril de 1997, p. 61-71.
- SHREVE, R.N. e BRINK Jr., J.A (1977): *Indústrias de Processos Químicos*. Editora Guanabara, 710 p.
- SIBANDA, H.M. e YONG, S.D. (1986): Competitive adsorption of humic acids and phosphate on goethite, gibbsite and two tropical soils. *Journal of Soil Science*, Oxford, v37 n2, p197-204.
- SKOVAROV, J.I. *et al.* (1992): Recovery of rare earth elements from phosphorites in the USSR. *Journal of Alloys and Compounds*, v. 180, p.71-6.
- SOUSA, D.M.G. e VOLKWEISS, S.J. (1987): Reações do superfosfato triplo em grânulos com solos. *R. Brás. Ci. Solo*, 11:133-140.
- SOUZA, A.E. de (2001): *Fosfato, DNPM, Balanço Mineral Brasileiro*, 37p.
- VALARELLI, J.V. e GUARDANI, R. (1981): Estudos experimentais para utilização das rochas potássicas de Poços de Caldas como Fertilizantes "Fertilizantes" vol.3, nº3.
- VALARELLI, J.V. *et al.* (1993): Ardósias verdes de Cedro do Abaeté na produção de termofosfato potássico fundido e sua eficiência agronômica, *Anais da Ac. Bras. Ciências*, v.65.
- WAGAMAN, W.H. ed. (1969): *Phosphoric Acid and Phosphate Fertilizers*, Hafner Publishing Company, 680 p.
- WILLIAMS, E.H. e REITH, J.W.S. (1971) Residual effects of phosphate and the relative effectiveness on annual and rotational dressings. In: *Residual value of applied nutrients*. London, Min.of Agric. Fisheries and Food. *Tech. Bull.* 20.
- YARA (2004): *Yara with strong growth in Brazil*, [www.yara.com], acesso em 11/11/04.
- ZAPATA, F. e ROY, R.N. eds.(2004): Use of phosphate rocks for sustainable agriculture, *Fertilizer and Plant Nutrition Bull.* 13, FAO, 165 p. [www.fao.org].
- ZHOU, C. (1993): Rare earth industry of China. *Journal of Alloys and Compounds*, 192, p.111-113.

## Notas

- 1 O termo deriva da palavra *huano*, que significa excremento na língua quíchua (ALBUQUERQUE, 1996).
- 2 Em 1974 e 1975, o valor do fosfato natural, a preços constantes (80,7 e 86,0 US\$/t, respectivamente), mais do que triplicou no mercado internacional, em relação a 1973 (25,6 US\$/t).
- 3 Fosfato Monoamônico – MAP; Fosfato Diamônico – DAP; Superfosfato Simples - SS; Superfosfato Triplo – TSP; Termofosfatos; Misturas NPK, PK, NP etc.).
- 4 É preparado por síntese química e tem a seguinte fórmula molecular:  $TR(OH)(C_6H_7O_6)_2 \cdot 2H_2O$ . É um pó amarelo-acastanhado contendo 30% de  $TR_2O_3$  (CHEN *et al.*, 1995).

- 5 RIC – *Rare-earth Information Center, Ames Laboratory, Iowa State University* - EUA.
- 6 **Biomassa** é definida pela legislação da União Européia como: *“biodegradable fraction of products, waste and residues from agriculture (including vegetable and animal substances) forestry and related industries, as well as the biodegradable fraction of industrial and municipal waste [...] Biomass thus includes trees, arable crops, algae and other plants, agricultural and forest residues, effluents, sewage sludge, manures, industrial by-products and the organic fraction of municipal solid waste” (EUROPEAN COMMISSION, 2005).*
- 7 **Energia da biomassa** – *“Toda a energia proveniente das plantas verdes, algumas de altíssima produtividade nos países tropicais, tais como cana, mandioca, dendê, florestas de rápido crescimento etc, capazes de serem transformadas em energia líquida, sólida, gasosa ou elétrica” (MELLO, 2001).*
- 8 **EU-25** – União Européia alargada a 25 países.
- 9 O **negrito** é de responsabilidade dos autores.

## Anexo I

### TÓPICOS SOBRE A EVOLUÇÃO DA ESTRUTURA AGRÁRIA DO BRASIL

Na primeira História do Brasil, Frei Vicente do Salvador (1627) “lamentava o caráter predatório da colonização e o fato de que os portugueses tinham sido até então incapazes de povoar o interior da nova terra ‘arranhando as costas como Caranguejos’” (BORIS FAUSTO, 1995).

A propriedade da terra era obtida por doação da coroa portuguesa aos grandes senhores e pessoal militar, sob a forma de “sesmarias”, unidades de extensão variável, mas sempre de grandes proporções. O Brasil ficou assim dividido em imensas propriedades ao longo da costa, com prolongamento para o interior, que deram origem aos latifúndios.

Por outro lado, no Período Colonial,

*“existiam pessoas que se estabeleceram em um pedaço de terra que não havia sido doado pela coroa, para dedicar-se à agricultura de subsistência, constituindo a gênese dos pequenos agricultores. A sua posse, dentro dos parâmetros oficiais, era ilegal; contudo, foi desse modo que se formaram as pequenas propriedades rurais no Brasil”* (ADAS, 1985).

Desconhece-se a data exata em que os portugueses introduziram a cana-de-açúcar no Brasil, mas sabe-se que tanto a produção como o comércio se estabeleceram em bases sólidas, nas décadas de 1530 e 1540. “Os grandes centros açucareiros na Colônia foram Pernambuco e Bahia” (BORIS FAUSTO, 1995).

Na faixa costeira do Nordeste (então designado por “Norte”) se estabeleceu o primeiro centro de colonização e de urbanização, e a empresa açucareira constituía o núcleo central de sua ativação socioeconômica (*op. cit.*).

A expansão da agropecuária na região de São Paulo iniciou-se no final do século XVI. “Os povoadores combinaram o plantio da uva, do algodão e sobretudo do trigo, com outras atividades que os levaram a uma profunda interiorização nas áreas desconhecidas ou pouco exploradas do Brasil” (*op. cit.*).

Ainda segundo Boris Fausto (1995), no Período Colonial, a renda das exportações de açúcar sempre ocupou o primeiro lugar, mesmo no auge das exportações do ouro. Em 1760, correspondeu a 50% do valor total das exportações e o ouro a 46%.

Outra cultura que surgiu foi a do fumo, mas enquanto a produção de cana-de-açúcar estava associada a grandes proprietários, a de fumo era viável em escala bem menor, o que deu lugar ao surgimento de um setor de pequenos proprietários. A grande região produtora foi o Recôncavo Baiano.

Por outro lado, nas proximidades dos engenhos, desenvolveu-se a criação de gado, proibida a partir de 1701, numa faixa de 80km de largura a partir da costa, o que obrigou a atividade pecuária a deslocar-se cada vez mais para o interior.

A partir de 1820, o aumento do número e fracionamento de propriedades resultou da ocupação ilegal das terras porque, embora o sistema de sesmarias tivesse acabado, não fora substituído por nova legislação. Esta situação acelerou a ocupação de terras e a expansão do número de pequenas unidades de produção.

Em meados do século XIX, a agricultura brasileira retomava o seu desenvolvimento por meio da exportação, agora associada à produção de café – “ciclo do café”. Em 1850, com o Brasil já independente era publicada a *Lei das Terras*, que abolia o antigo regime das propriedades. A terra tornou-se domínio público e o direito de posse só era conseguido pela compra em leilão com pagamento à vista. O produto da venda das terras destinava-se a financiar a imigração de colonos, trabalhadores para a grande lavoura (ADAS, 1985; MAGNOLI e ARAUJO, 2001).

A produção de café atingiu o seu auge no final do século XIX e início do século XX. O aumento do número de plantações ficou associado ao

desmatamento de inúmeras áreas. Quando a elevada produtividade inicial começou a declinar por exaustão dos solos, entre outros fatores, causado pela falta de adubação que na época, ou não era praticada, ou apenas se realizava de forma insipiente, passou a desenvolver-se uma agricultura itinerante, em busca de solos férteis provocando o progressivo desmatamento de vastas áreas, principalmente no norte do estado de São Paulo e nos estados do Rio de Janeiro e do Paraná. Em muitos casos, aquelas antigas propriedades abandonadas foram divididas e adquiridas pelos emigrantes que tinham chegado ao Brasil na fase inicial do Ciclo do Café.

Para se entender tal afirmação transcrevem-se alguns tópicos dos capítulos sobre “A economia Cafeeira” e “Expansão Cafeeira no Oeste Paulista”, da “HISTÓRIA DO BRASIL”, de Boris Fausto (1995).<sup>9</sup>

*“A grande novidade na economia brasileira das primeiras décadas do século XIX foi o surgimento da produção do café para exportação. A introdução do café no Brasil deveu-se a Francisco de Melo Palheta, que em 1727 trouxe para o Pará as primeiras sementes da planta. Utilizado no consumo doméstico, o café chegou ao Rio de Janeiro por volta de 1760, misturando-se aos pequenos cultivos de pomares e hortas dos arredores da capital da Colônia.*

*(...) A implantação das fazendas se deu pela forma tradicional da ‘plantation’ com o emprego da força de trabalho escrava. Não era impossível produzir café exportável em pequenas unidades, como o exemplo da Colômbia iria demonstrar. Entretanto, nas condições brasileiras de acesso à terra e de organização e suprimento de mão-de-obra, a grande propriedade se impôs.*

*(...) A história da ocupação das terras seguiu um padrão que vinha do passado e iria se repetir ao longo da história do Brasil. Havia uma total indefinição dos limites das propriedades e muitas terras não eram exploradas. Os títulos de proprie-*

*dade, quando existentes, podiam ser contestados (...).*

*Em um quadro deste tipo, prevaleceu a lei do mais forte. O mais forte era quem reunia condições para manter-se na terra, desalojar posseiros destituídos de recursos, contratar bons advogados, influenciar juizes e legalizar assim a posse de terras.*

*(...) Durante quase todo o período monárquico, o cultivo do café foi feito com emprego de técnicas bastante simples. Algumas dessas técnicas de uso do solo, ou, em certos aspectos, de deprecação dos solos, existem até hoje. A produção era extensiva, isto é, não havia interesse ou preocupação com a produtividade da terra. Esgotado o solo, pela ausência de adubos e outros cuidados, estendia-se o cultivo a outras áreas, ficando a antiga em abandono, ou destinada a roças de alimentos.*

*(...) Do ponto de vista socioeconômico, o complexo cafeeiro abrangia um leque de atividades que deslocou definitivamente o pólo dinâmico do país para o Centro-Sul. Em função do café aparelharam-se portos, criaram-se empregos e novos mecanismos de crédito, revolucionaram-se os transportes. (...) Houve um processo relativamente longo de decadência do Nordeste e de fortalecimento do Centro-Sul, que se tornou irreversível por volta de 1870.*

*(...) A expansão cafeeira ocorreu também pela gradativa ocupação das terras escassamente exploradas de São Paulo, que constituíam um grande espaço, sobretudo na direção oeste, chegando ao Rio Paraná, na divisa com Mato Grosso. Essa ocupação se fez no curso de muitos anos, e seu apogeu foi um fenômeno das décadas de 1930 e 1940”.*

Das diversas fases da agricultura brasileira, foram as da cana-de-açúcar e a do café, principalmente esta última, que mais marcaram a estrutura agrária e socioeconômica do País, até à recente explosão da indústria agropecuária e do agro-negócio, que introduziram novos parâmetros tecnológicos e novas preocupações socioeconômico-ambientais.

## Anexo II

### MINERAIS COM TEORES DE P SUPERIORES AOS DA APATITA

% P	Mineral	Fórmula Química	Peso Mol.
26,75	Litiofosfato	$\text{Li}_3\text{PO}_4$	115,79
25,75	Bifosfamita	$(\text{NH}_4, \text{K})\text{H}_2\text{PO}_4$	120,29
25,40	Berlinita	$\text{AlPO}_4$	121,95
24,97	Hurlbutita	$\text{CaBe}_2(\text{PO}_4)_2$	248,05
24,39	Berilonita	$\text{NaBePO}_4$	126,97
23,68	Archerita	$(\text{K}, \text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4$	130,82
23,57	Farringtonita	$\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$	262,86
23,54	Haigerachita !	$\text{KFe}^{+++}_3(\text{H}_2\text{PO}_4)_6(\text{HPO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1.052,58
23,49	Nalipoíta	$\text{NaLi}_2\text{PO}_4$	131,84
23,45	Fosfamita	$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	132,06
23,11	Florenskyita !	$(\text{Fe}, \text{Ni})\text{TiP}$	134,03
22,77	Monetita	$\text{CaHPO}_4$	136,06
22,64	Simferita	$\text{Li}(\text{Mg}, \text{Fe}^{+++}, \text{Mn}^{+++})_2(\text{PO}_4)_2$	273,61
22,40	Tiptopita	$\text{K}_2(\text{Na}, \text{Ca})_2\text{Li}_3\text{Be}_6(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	829,47
22,14	Pretulita !	$\text{ScPO}_4$	139,93
21,93	Chladniita	$\text{Na}_2\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe}^{++})_7(\text{PO}_4)_6$	847,39
21,82	Nahpoíta	$\text{Na}_2\text{HPO}_4$	141,96
21,65	Mundrabillaíta	$(\text{NH}_4)_2\text{Ca}(\text{HPO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	286,13
21,65	Swaknoíta	$(\text{NH}_4)_2\text{Ca}(\text{HPO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	286,13
21,52	Tancoíta	$\text{HNa}_2\text{LiAl}(\text{PO}_4)_2(\text{OH})$	287,86
21,50	Barringerita	$(\text{Fe}, \text{Ni})_2\text{P}$	144,09
21,20	Pirofosfita *	$\text{K}_2\text{CaP}_2\text{O}_7$	292,22
21,16	Pirocoproíta *	$(\text{Mg}(\text{K}, \text{Na}))_2\text{P}_2\text{O}_7$	292,70
21,16	Montebrasita	$\text{LiAl}(\text{PO}_4)(\text{OH}, \text{F})$	146,40
21,04	Pahasapaita	$\text{Li}_8(\text{Ca}, \text{Li}, \text{K}, \text{Na})_{11}\text{Be}_{24}(\text{PO}_4)_{24} \cdot 38\text{H}_2\text{O}$	3.532,65
21,03	Rosemaryita	$(\text{Na}, \text{Ca}, \text{Mn}^{++})(\text{Mn}^{++}, \text{Fe}^{++})(\text{Fe}^{+++}, \text{Fe}^{++}, \text{Mg})\text{Al}(\text{PO}_4)_3$	441,80
20,93	Trolleíta	$\text{Al}_4(\text{PO}_4)_3(\text{OH})_3$	443,86
20,92	Fransoletita	$\text{H}_2\text{Ca}_3\text{Be}_2(\text{PO}_4)_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	592,22
20,81	Ferrorosemaryita !	$[\text{NaFe}^{++}\text{Fe}^{+++}\text{Al}(\text{PO}_4)_3$	446,58
20,66	Purpurita	$\text{Mn}^{+++}\text{PO}_4$	149,91
20,65	Merrillita-(Ca) *	$(\text{Ca}, [\text{I}])_{19}\text{Mg}_2(\text{PO}_4)_{14}$	2.099,61
20,63	Brianita	$\text{Na}_2\text{CaMg}(\text{PO}_4)_2$	300,31
20,60	Wyllieita	$(\text{Na}, \text{Ca}, \text{Mn}^{++})(\text{Mn}^{++}, \text{Fe}^{++})(\text{Fe}^{++}, \text{Fe}^{+++}, \text{Mg})\text{Al}(\text{PO}_4)_3$	451,11
20,56	Parafransoletita	$\text{Ca}_3\text{Be}_2(\text{PO}_4)_2(\text{PO}_3, \text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	527,22
20,54	Heterosita	$\text{Fe}^{+++}\text{PO}_4$	150,82
20,54	Rodolicoíta !	$\text{Fe}^{+++}\text{PO}_4$	150,82
20,50	Stanfieldita	$\text{Ca}_4(\text{Mg}, \text{Fe}^{++}, \text{Mn})_5(\text{PO}_4)_6$	906,55
20,50	Lazulita	$\text{MgAl}_2(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_2$	302,23
20,48	Allabogdanita !	$(\text{Fe}, \text{Ni})_2\text{P}$	145,21

## Anexo II (Continuação)

### MINERAIS COM TEORES DE P SUPERIORES AOS DA APATITA

% P	Mineral	Fórmula Química	Peso Mol.
20,46	Ambligonita	$(\text{Li}, \text{Na})\text{Al}(\text{PO}_4)(\text{F}, \text{OH})$	151,41
20,41	Tuíta !	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	306,55
20,32	Bertossaíta	$\text{Li}_2\text{CaAl}_4(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_4$	609,80
20,24	Whitlockita	$\text{Ca}_9(\text{Mg}, \text{Fe}^{++})(\text{PO}_4)_6(\text{PO}_3\text{OH})$	1.071,45
20,21	Merrillita-(Na) *	$\text{Ca}_{18}\text{Na}_2\text{Mg}_2(\text{PO}_4)_{14}$	2.145,59
20,15	Qingheiita	$\text{Na}_2(\text{Mn}^{++}, \text{Mg}, \text{Fe}^{++})(\text{Al}, \text{Fe}^{+++})(\text{PO}_4)_3$	461,08
19,94	Francoanellita	$\text{H}_6(\text{K}, \text{Na})_3(\text{Al}, \text{Fe}^{+++})_5(\text{PO}_4)_8 \cdot 13\text{H}_2\text{O}$	1.242,49
19,94	Dittmarita	$(\text{NH}_4)\text{Mg}(\text{PO}_4) \cdot \text{H}_2\text{O}$	155,33
19,87	Olympita	$\text{LiNa}_5(\text{PO}_4)_2$	311,83
19,75	Litiofilita	$\text{LiMnPO}_4$	156,85
19,72	Bearthita	$\text{Ca}_2\text{Al}(\text{PO}_4)_2(\text{OH})$	314,09
19,72	Sicklerita	$\text{Li}(\text{Mn}^{++}, \text{Fe}^{+++})\text{PO}_4$	157,08
19,66	Ferrisicklerita	$\text{Li}(\text{Fe}^{+++}, \text{Mn}^{++})\text{PO}_4$	157,53
19,63	Trifilita	$\text{LiFe}^{++}\text{PO}_4$	157,76
19,61	Metavariscita	$\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	157,98
19,61	Variscita	$\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	157,98
19,60	Buchwaldita	$\text{NaCaPO}_4$	158,04
19,56	Ferroalluaudita	$\text{NaCaFe}^{++}(\text{Fe}^{++}, \text{Mn}, \text{Fe}^{+++}, \text{Mg})_2(\text{PO}_4)_3$	474,99
19,55	Natromontebasita (-)	$(\text{Na}, \text{Li})\text{Al}(\text{PO}_4)(\text{OH}, \text{F})$	158,44
19,45	Johnsomervilleíta	$\text{Na}_2\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe}^{++}, \text{Mn})_7(\text{PO}_4)_6$	955,37
19,45	Hannayita	$(\text{NH}_4)_2\text{Mg}_3\text{H}_4(\text{PO}_4)_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	637,03
19,42	Ferrowyllieita	$(\text{Na}, \text{Ca}, \text{Mn})(\text{Fe}^{++}, \text{Mn})(\text{Fe}^{++}, \text{Fe}^{+++}, \text{Mg})\text{Al}(\text{PO}_4)_3$	478,55
19,37	Gainesita	$\text{Na}_2\text{Zr}_2\text{Be}(\text{PO}_4)_{4,1} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	639,49
19,29	IMA2004-009 !	$\text{Mg}_2(\text{PO}_4)(\text{OH})$	160,59
19,25	Alluaudita	$\text{NaCaFe}^{++}(\text{Mn}, \text{Fe}^{++}, \text{Fe}^{+++}, \text{Mg})_2(\text{PO}_4)_3$	482,77
19,23	Hidroxilherderita	$\text{CaBe}(\text{PO}_4)(\text{OH})$	161,07
19,23	Althausita	$\text{Mg}_2(\text{PO}_4)(\text{OH}, \text{F}, \text{O})$	161,09
19,18	Panethita	$(\text{Na}, \text{Ca}, \text{K})_2(\text{Mg}, \text{Fe}^{++}, \text{Mn})_2(\text{PO}_4)_2$	323,06
19,10	Schertelita	$(\text{NH}_4)_2\text{MgH}_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 4(\text{H}_2\text{O})$	324,40
19,09	Bobfergusonita	$\text{Na}_2\text{Mn}^{++}\text{Fe}^{+++}\text{Al}(\text{PO}_4)_6$	973,33

## Anexo II (Continuação)

### MINERAIS COM TEORES DE P SUPERIORES AOS DA APATITA

% P	Mineral	Fórmula Química	Peso Mol.
19,04	Merrillita-(Y) *	$\text{Ca}_{16}\text{Y}_2\text{Mg}_2(\text{PO}_4)_{14}$	2.277,42
19,04	Wagnerita	$(\text{Mg},\text{Fe}^{++})_2(\text{PO}_4)\text{F}$	162,71
19,01	Scorzalita	$(\text{Fe}^{++},\text{Mg})\text{Al}_2(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_2$	325,88
19,00	Herderita	$\text{CaBe}(\text{PO}_4)\text{F}$	163,06
18,96	Palermoita	$(\text{Sr},\text{Ca})(\text{Li},\text{Na})_2\text{Al}_4(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_4$	653,48
18,89	Lacroixita	$\text{NaAl}(\text{PO}_4)\text{F}$	163,94
18,83	Bederita !	$([\text{I}],\text{Na})\text{Ca}_2(\text{Mn}^{++},\text{Mg},\text{Fe}^{++})_2(\text{Fe}^{+++},\text{Mg}^{++},\text{Al})_2\text{Mn}^{++}_2(\text{PO}_4)_6 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	986,80
18,81	Serrabrancaíta !	$\text{MnPO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	164,70
18,76	Garyansellita	$(\text{Mg},\text{Fe}^{+++})_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH},\text{O}) \cdot 1,5\text{H}_2\text{O}$	330,29
18,68	Holtedahllita	$\text{Mg}_{12}(\text{PO}_3\text{OH},\text{CO}_3)(\text{PO}_4)_5(\text{OH},\text{O})_6$	953,53
18,66	Canafita	$\text{CaNa}_2\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	332,06
18,63	Faheyita	$(\text{Mn},\text{Mg})\text{Fe}^{+++}\text{Be}_2(\text{PO}_4)_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	664,98
18,63	Maghagendorfita	$\text{NaMgMn}(\text{Fe}^{++},\text{Fe}^{+++})_2(\text{PO}_4)_3$	498,84
18,54	Hagendorfite	$\text{NaCaMn}(\text{Fe}^{++},\text{Fe}^{+++},\text{Mg})_2(\text{PO}_4)_3$	501,07
18,50	Hidroxilapatita	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$	502,31
18,46	Taranakita	$\text{K}_3\text{Al}_5(\text{HPO}_4)_6(\text{PO}_4)_2 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$	1.342,30
18,45	Grifita	$\text{Ca}(\text{Mn},\text{Na},\text{Li})_6\text{Fe}^{++}\text{Al}_2(\text{PO}_4)_6(\text{F},\text{OH})_2$	1.007,43
18,44	Gatumbaíta	$\text{CaAl}_2(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	336,01
18,43	Tinsleyita	$\text{KAl}_2(\text{PO}_4)_2(\text{OH}) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	336,04
18,43	Fluorapatita	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$	504,30
18,40	Bakhchisaraitsevitá	$\text{Na}_2\text{Mg}_5(\text{PO}_4)_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	673,50
18,38	Selwynita	$\text{NaK}(\text{Be},\text{Al})\text{Zr}_2(\text{PO}_4)_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	673,96
18,38	Nefedovita	$\text{Na}_5\text{Ca}_4(\text{PO}_4)_4\text{F}$	674,14
18,37	Wicksita	$\text{NaCa}_2(\text{Fe}^{++},\text{Mn}^{++})_4\text{MgFe}^{+++}(\text{PO}_4)_6 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1.011,64
18,36	Samuelsonita	$(\text{Ca},\text{Ba})\text{Ca}_8(\text{Fe}^{++},\text{Mn})_4\text{Al}_2(\text{PO}_4)_{10}\text{OH}_2$	1.653,71
18,35	Kosnarita	$\text{KZr}^{++++}_2(\text{PO}_4)_3$	506,46
18,33	Ferrohagendorfita *	$(\text{Na},\text{Ca})_2\text{Fe}^{++}(\text{Fe}^{++},\text{Fe}^{+++})_2(\text{PO}_4)_3$	506,98
18,32	Englishita	$\text{K}_3\text{Na}_2\text{Ca}_{10}\text{Al}_{15}(\text{PO}_4)_{21}(\text{OH})_7 \cdot 26\text{H}_2\text{O}$	3.550,62
18,31	Collinsita	$\text{Ca}_2(\text{Mg},\text{Fe}^{++})(\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	338,32
18,25	APATITA (a)	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH},\text{F},\text{Cl})$	509,12

Fonte: <http://webmineral.com> (acesso em 12/04/2005). O *Mineralogy Database* lista 535 minerais com P.

\* O nome do mineral não está aprovado pela IMA. O professor Daniel Atencio (IG-USP) considera 'um desserviço para a mineralogia colocar nomes não aprovados' como os de merrillita (3), pirocproíta e pirofosfita.

! 'Tuíta', apesar de estar no *Danas New Mineralogy* é mineral não aprovado' (Daniel Atencio).

(-) 'Natromontebrasita' - Acaba de ser desacreditado, segundo informação do professor Daniel Atencio (22/02/06)

(a) O termo APATITA refere-se a um grupo de minerais com as seguintes espécies: fluorapatita, clorapatita e hidroxilapatita.

# Capítulo 9 - O potássio na agricultura brasileira: fontes e rotas alternativas

## Os autores

### Marisa Nascimento

Engenheira Química, D.Sc., Professora da UFF. E-mail: marisanascimento@gmail.com

### Francisco E. Lapido Loureiro

Geólogo, D.Sc. em Geoquímica, Pesquisador Emérito do CETEM/MCT. E-mail: flapido@cetem.gov.br

## 1. Preâmbulo

O termo “potash”, criado por Sir Humphrey Davy quando isolou este elemento, a partir da potassa cáustica, em 1807 (*Handbook of Chemistry and Physics – 75th Edition, 1994*), inspirou-se numa prática pioneira de produção de potássio como fertilizante. Consistia na lixiviação das cinzas das árvores, seguida de evaporação, com auxílio de potes de ferro. O produto residual era chamado “pot ash”.

Tal processo originou o primeiro pedido de patente registrado nos EUA, em 31 de julho de 1790. Samuel Hopkins, de Pittsford, Vermont, foi seu autor. A patente citava um novo aparelho e um novo processo para produção de “potash”. Seu registro foi assinado pelo presidente George Washington, pelo general Edmund Randolph e pelo secretário de estado, Thomas Jefferson.

O potássio é usado como fertilizante desde o século III a.C., na forma de adubo ou cinzas. Na América do Norte, os índios assim procediam, com cinzas de árvores, quando chegaram os primeiros colonizadores europeus (CANADIAN POTASH PRODUCERS, 2001).

Assim como o fósforo é um elemento indispensável à vida porque entra na composição do núcleo das células de todos os seres vivos, o potássio é um nutriente versátil envolvido em vários processos metabólicos das plantas, como, por exemplo, ativação enzimática, controle osmótico de fluxo de

água, produção e quebra das cadeias de carboidratos e balanço ânion/cátion.

Os macronutrientes potássio e fósforo não têm recebido a mesma atenção no Brasil. Enquanto os fertilizantes fosfatados possuem, em âmbito nacional, o Instituto Brasileiro do Fosfato, que realiza encontros periódicos – Encontros Nacionais de Rocha Fosfática têm dado lugar ao desenvolvimento de teses e à publicação de livros e de numerosos artigos – o potássio não tem captado igual interesse/dinâmica. No entanto, os solos brasileiros são tão carentes de potássio quanto de fósforo, e a dependência externa de importações é muito maior em relação ao potássio.

Nos solos, o potássio existe essencialmente sob três formas: potássio mineral (minerais primários e secundários), potássio trocável e potássio da solução. Normalmente em equilíbrio dinâmico na natureza, a agricultura intensiva provoca-lhes perdas que devem ser compensadas pela adubação.

Deve ser sempre lembrado que o potássio é um elemento essencial para todos os organismos vivos, como é referido, constantemente, pelos pesquisadores, tanto das áreas biomédicas como das de ciências agrônomicas. Como principais funções do potássio podem citar-se (YAMADA, 1994):

- influência no transporte de elétrons durante a fotossíntese, com reflexo direto numa melhor capacidade energética da planta e, conseqüentemente, maior assimilação de carbono;

- maior síntese de carboidratos, proteínas e lipídeos;
- maior translocação de produtos fotossintetizados nas folhas;
- uso mais eficiente da água devido ao melhor funcionamento dos mecanismos de abertura e fechamento dos estômatos;
- maior resistência a pragas e doenças;
- melhor qualidade do produto colhido.

Levando-se em consideração tais fatos, surgiu a idéia da elaboração de um trabalho, no âmbito da temática “Fertilizantes e Sustentabilidade na Agricultura: uma Abordagem Mínero-Química-Metalúrgica”, que sintetizasse a situação e importância deste bem mineral e sugerisse caminhos que pudessem contribuir para o equacionamento da problemática do potássio na indústria de fertilizantes do Brasil. É uma abordagem que se considera de interesse, dado que:

- no Brasil, o consumo de fertilizantes por ha agricultável é de 120 kg/ha, muito baixo se comparado aos da Malásia (633,5), Holanda (604), Reino Unido (386), Japão (376,2), China (367,2), Egito (349,3), França (262,8), Vietnã (248,8), Alemanha (244,2) e Itália (201,7), mas, mesmo assim, pela dimensão da sua área plantada, é um dos maiores importadores mundiais, com destaque para o potássio, e o 4o maior consumidor, atrás da China, EUA e Índia e à frente de países como a França, a Alemanha e o Canadá;
- em 2006 importaram-se 5.938 Mt de nutrientes, no valor de US\$ 2,7 bilhões (ANDA, 2007);
- solos naturalmente pobres em potássio e fósforo, como os do Brasil, necessitam, cada vez mais, de maiores quantidades de nutrientes para aumento do rendimento da produção agrícola e, também, para compensação da “mineração” desses elementos pelas plantas, de forma a atender os requisitos de sustentabilidade;
- a produção interna de potássio, proveniente de uma única mina (403.000 t), representou

apenas 12,4% das importações que foram 3,2 Mt (DNPM, 2006), sendo premente encontrar caminhos/soluções para modificar tão forte dependência externa;

- é pouco conhecida e está insuficientemente divulgada a importante função do potássio na agricultura;
- se reveste de grande interesse/necessidade para o País, no caso do potássio, a implantação de projetos de P,D&I que viabilizem o aproveitamento de depósitos conhecidos e de novas fontes, a pesquisa de rotas alternativas e o desenvolvimento de novos produtos.

Segundo estimativas do Instituto Internacional de Pesquisa sobre Políticas Alimentares:

*“o Índice de Degradação de Terras para a agricultura atinge cerca de 40%. e a ação humana está diretamente relacionada a esta degradação de terras, seja pelo esgotamento de nutrientes em terras cujo uso foi abusado nos últimos anos, seja pela ação da erosão em solos abandonados ou mal cultivados pelo homem” (Boletim Pecuário, 2003);*

*“.../ao mesmo tempo que é necessário o incremento da produção e melhoria da qualidade dos alimentos, o manejo correto dos componentes ambientais é imprescindível para garantir a produção agrícola sustentável” (Anna C. Lanna Embrapa).*

## 2. O potássio como fertilizante

Mais de 95% da produção mundial de potássio é usada como fertilizante. Outros usos dos compostos de potássio estão ligados à indústria de detergentes, cerâmicas, produtos químicos e farmacêuticos (GREENWELL, 1999).

### 2.1. Introdução

O símbolo K do potássio provém da palavra latina *kalium* derivada do árabe *qali*, que significa álcali.

O seu número atômico é 19, peso atômico 39,0983 e apresenta a configuração eletrônica [Ar]4s<sup>1</sup>. É um dos metais mais reativos e eletropositivos e o

segundo mais leve depois do lítio. Foi o primeiro metal a ser isolado por eletrólise.

Nos séculos XVIII e XIX, o cloreto de potássio era exportado em volumes substanciais da América do Norte para Inglaterra. A produção comercial em larga escala, foi iniciada na Alemanha em meados do século XIX. Este país foi o principal produtor até o início da década de 30 do século XX.

A interrupção das vendas, pela Alemanha, devido à primeira guerra mundial, estimulou, nos Estados Unidos, não só a produção de KCl, mas também a prospecção e pesquisa de novas fontes, o que levou à descoberta de extensos depósitos próximos de Carlsbad, Novo México, em 1921. A produção comercial começou dez anos mais tarde. Hoje, mais de 80% da produção americana é proveniente do Novo México (Canadian Potash Producers, 2001), mas bem insuficiente para o consumo interno: 90% do KCl de que os EUA necessitam são provenientes do Canadá.

O potássio, pelas suas dimensões e carga iônica, tem tendência a concentrar-se nas fases finais da atividade magmática e, embora exista com certa abundância na natureza - é o sétimo elemento mais comum na crosta terrestre à frente do magnésio (8º), titânio (9º), hidrogênio (10º), fósforo (11º), etc, raramente forma depósitos econômicos.

Em todo o hemisfério sul, há apenas uma mina em operação, a de Taquari-Vassouras, em Sergipe. Com a sua produção de 337 mil toneladas de  $K_2O$  equivalente em 2002, satisfaz menos de 12% das necessidades do País em potássio: 2,9 Mt (DNPM, 2003).

Os melhores minerais de potássio, formadores de minérios (minerais de minério), são a silvita, cloreto de potássio e a carnalita, cloreto duplo de potássio e magnésio hidratado ( $KMgCl_3 \cdot 6H_2O$ ). O minério silvinita é uma mistura de halita (NaCl) e silvita (KCl).

Rochas ou minerais que apresentem teores elevados de potássio (ANEXO I) poderão ser fontes alternativas potenciais para produção de sais de potássio e/ou de termofosfatos potássicos ou ainda para aplicação direta nos solos como fertilizantes de potássio de solubilização lenta.

Na natureza são comuns esses minerais e rochas. Por exemplo, o ortoclásio ( $KAlSi_3O_8$ ), componente habitual de muitas rochas, tem, em média, 17% de potássio. Rochas ígneas, como os granitos (feldspatos alcalinos, quartzo e micas), os sienitos (ortoclásio/microclínio, principalmente, e minerais ferro-magnesianos), e rochas sedimentares, como os arcósios (rochas constituídas predominantemente por feldspatos potássicos e quartzo), apresentam, em regra, teores elevados de potássio.

No caso dos arcósios (arenitos de origem continental), rochas originadas pela alteração/desagregação, transporte e deposição de material proveniente de granitos s.l., a separação dos seus dois principais minerais constituintes, feldspato e quartzo, é fácil e daria lugar a dois concentrados de valor econômico potencial.

Outros minerais do grupo das micas, como a glauconita e a biotita, ou as vermiculitas, que constituem um grupo de minerais micáceos, argilosos, de composição química muito variada, derivados habitualmente da alteração de micas, como a biotita e a flogopita, são também fontes potenciais de potássio. As vermiculitas apresentam alta capacidade de troca iônica e o cátion trocável mais típico é o  $Mg^{+2}$ .

Potássio e fósforo revestem-se de grande importância na agricultura brasileira, pelas características dos solos nacionais, muito carentes de ambos. Com efeito, a proporção média N:P:K nos fertilizantes consumidos no Brasil em 1999, por exemplo, foi de [1:1,4:1,5] (ANDA, 2007), enquanto para outros países produtores de alimento, como França, EUA e China, essas relações são respectivamente [1:0,4:0,6], [1:0,4:0,4] e [1:0,4:0,1] (ARMELIN, 1999), ou seja, uma proporção de potássio muito superior no caso brasileiro.

## 2.2. Geoquímica do potássio

Enquanto a Mineralogia é a ciência que estuda os minerais, a Petrografia a que descreve as rochas e a Petrologia a que se debruça sobre a sua gênese e evolução, a Geoquímica estuda o comportamento das partículas elementares que formam esses materiais.

*“A geoquímica ocupa-se em larga escala com a transformação da matéria de um estado em outro, como exemplificado pela cristalização dos magmas, pelo intemperismo das rochas, pela deposição de sais de uma solução e, em geral, pela formação de minerais em uma faixa ampla de temperaturas, pressões e ambientes químicos” (MASON, 1971).*

Na crosta terrestre, em cada 100 átomos, mais de 60 são de oxigênio, mais de 20 de silício, 6 a 7 de alumínio e uns dois de ferro, cálcio, magnésio, sódio e potássio. Pode-se, pois, considerar a crosta terrestre como uma rede de íons de oxigênio unidos em estruturas mais ou menos complexas a íons silício e alumínio, menores e com carga elevada. Por isso, os minerais que predominam na crosta terrestre, incluindo os do solo agrícola, são os silicatos e os óxidos. Os interstícios desta rede O-Si-Al são ocupados por íons Mg, Fe, Ca, Na e K.

Sendo o potássio um elemento particularmente móvel, a análise do comportamento geoquímico é fundamental e de grande interesse para a compreensão da distribuição nos minerais e nas rochas e para se entender a importância na vida dos vegetais.

Como é do conhecimento geral, o caráter geoquímico de um elemento é muito influenciado pela configuração eletrônica de seus átomos. Os elementos classificam-se em siderófilos, calcófilos, litófilos e atmófilos, o que corresponde, respectivamente, a fases, metálica, sulfurosa, silicatada e com oxigênio (DE LA ROSA, 2003), atendendo às suas afinidades para o ferro metálico, sulfetos, silicatos e elementos da atmosfera. São elementos litófilos Li, Na, K, Rb, Cs, Be, Mg, Ca, Sr, Ba, Si, P, entre outros.

Tabela 2.1 - Composição da crosta terrestre.

Autores	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O
Clark/Washington	60,18	15,61	3,14	3,88	-	3,56	5,17	3,91	3,19	1,06	0,30	-
Goldschmidt	59,12	15,82	6,99 <sup>#</sup>		-	3,30	3,07	2,05	3,93	0,79	0,22	3,02
Poldervaart*	55,2	15,3	2,8	5,8	0,2	5,2	8,8	2,9	1,9	1,6	0,3	-

Fonte: Mason, 1991.

# Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + FeO; \* média reduzida a uma base isenta de água.

Os teores de potássio na crosta começaram a ser estabelecidos após trabalho exaustivo de Clark e Washington (MASON, 1971) para determinarem uma composição média das rochas ígneas, trabalho esse baseado numa compilação feita por Washington de 5.159 análises confiáveis.

Seguiram-se as abordagens de Goldschmidt em 1954 (MASON, 1971), que considerou a argila glacial, amplamente distribuída no sul da Noruega como uma “amostra média” representativa, e a de Poldervaart em 1955 (MASON, 1971), que definiu a composição da crosta considerando quatro macrodivisões geológicas: região oceânica profunda, escudos continentais, cinturões de dobramento recente e plataforma continental/encostas.

Resumem-se, na Tabela 2.1, os valores obtidos nas três abordagens.

Goldschmidt, citado por MASON (1971), foi o primeiro a acentuar a importância da diferenciação geoquímica primária dos elementos.

Brown e Petterson (MASON, 1971) mostraram que, se o calor de formação de um óxido é maior que o do FeO, o elemento é litófilo. A medida entre calores de formação, segundo aqueles autores, é uma medida de intensidade do caráter litófilo, e os calores de formação mais baixos do que o do FeO correspondem a elementos calcófilos e siderófilos.

O potencial do eletrodo pode dar, também, uma medida semiquantitativa do caráter litófilo, siderófilo ou calcófilo do elemento. Os metais alcalinos e alcalino-terrosos, litófilos, têm potenciais positivos altos (13 volts).

A distribuição do potássio nas rochas é irregular. Enquanto nos granitos o teor médio é de 4,5%,

em diabásios é de apenas 0,53% e nos basaltos dos fundos oceânicos é sempre inferior a 0,3% (MASON, 1971).

Na evolução da Terra, durante o arrefecimento do magma primitivo, os elementos escalonavam-se e migravam, segundo o seu grau de mobilidade, disponibilidade. Formavam gases voláteis ou partículas em constante movimento. O potássio situava-se neste último caso.

O potássio é um elemento alcalino, tipicamente ímpar - número atômico 19 e peso atômico 39. Só se une, solidamente, com elementos halogêneos, como, por exemplo, o cloro. Litófilo, de acordo com as suas afinidades geoquímicas, entra na composição de mais de uma centena de minerais e, sob a forma de elemento menor, em mais outros cem (Anexo I). Daí o potássio ser um dos elementos mais abundantes na crosta terrestre (é o sétimo): 2,59% (MASON, 1971) ou 2,4% segundo o Handbook of Chemistry and Physics, 1994. Nos solos o potássio está estreitamente relacionado com o tipo de material parental e com a pedogênese, sendo a sua principal fonte os minerais argilosos (CONTI, 2002).

Segundo Mengel e Rahmatullah (MASON, 1971), o teor de potássio na litosfera é da ordem de 1,58%, com variações acentuadas em função da variedade litológica. É, pois, importante conhecer-se bem a geoquímica e a mineralogia/cristaloquímica do potássio para uma correta avaliação da capacidade agrícola dos solos e como ela deve ser complementada por uma fertilização racional. Acentue-se que o conteúdo de K total no solo não é, apenas por ele próprio, um índice de fertilidade, porque pode existir sob diferentes formas com índices de liberação distintos.

Estudos de laboratório mostraram, claramente, que uma parte é facilmente extraível por agentes naturais, como a água ou soluções salinas diluídas, e outras frações apenas com reagentes fortes como o ácido nítrico em ebulição. Numerosas pesquisas demonstraram que tais formas extremas se refletem, como é óbvio, na facilidade ou dificuldade/impossibilidade de as plantas extraírem o potássio (CONTI, 2002).

As formas mais comuns em que o K é encontrado no solo são: i) em solução; ii) sob a forma iônica unido eletrostaticamente aos materiais que constituem a parte sólida; iii) ligado fortemente à fase sólida mineral (“K fixado” e “K estrutural”) – é o potássio de reserva ou de reposição dos solos.

Verifica-se, por um lado, que as reservas intercambiáveis dependem fundamentalmente da quantidade e tipo de argilas presentes e que, por outro lado, são os fertilizantes que compensam desequilíbrios provocados pela “exportação” resultante da atividade agrícola, principalmente quando ela é intensiva. Sobre este assunto recomenda-se, entre muitos outros trabalhos, a leitura do artigo Dinâmica de la Liberation y Fixación de Potássio en el Suelo, de autoria da professora de Edafologia da Universidade de Buenos Aires, Maria Elvira Conti, disponível no “site” [www.ppi-ppci.org], pela clareza e forma didática como é apresentado.

Como já foi dito, na formação de rochas ígneas, as fases târdi-magmáticas podem promover enriquecimento de vários elementos, como é o caso da “Rocha Potássica” do Planalto de Poços de Caldas (MG), fortemente enriquecida em potássio. Este enriquecimento resultou da alteração, por processos hidrotermais, de rochas feldspatóidicas (fonólitos/tinguaítos), que transformou todos os feldspatos  $[MAI(Al,Si)_3O_8]$ <sup>1</sup> em feldspatos potássicos puros, a nefelina  $[(Na,K)AlSiO_4]$  em ilita  $[(H_3OK)_Y(Al_4Fe_4Mg_4Mg_6)(Si_{8-Y}Al_Y)O_{20}(OH)_4]$ <sup>2</sup>, a caolinita  $[Al_2Si_2O_5(OH)_4]$  e os clinopiroxênios  $[ABSi_2O_6]$ <sup>3</sup>, carreadores primários dos ETR<sup>4</sup>, numa mistura de minerais ricos em TiO<sub>2</sub>, minerais argilosos e pirita. Esta transformação mineralógica traduziu-se num enriquecimento em K, S, U, Th, Pb, Rb, Ba, Mo e diminuição de Ca, Na, Mg e Sr (VALARELLI e GUARDANI, 1981).

### 2.3. Mineralogia do potássio

Um dos objetivos deste capítulo é mostrar a existência, além dos minerais de minério, largamente utilizados, de outros minerais e de rochas ricos de potássio, suscetíveis de serem aproveitados como fontes alternativas para fertilizantes. O seu possí-

vel aproveitamento irá requerer, porém, trabalhos de PD&I complexos, mas os resultados que venham a ser conseguidos, se positivos, terão enorme impacto na indústria dos fertilizantes potássicos. Para tal será necessário um conhecimento aprofundado da cristalquímica e geoquímica do potássio.

Como referimos, embora o potássio exista em numerosos minerais, apenas dois deles são largamente utilizados como minerais de minério: a **silvita** (KCl) e a **carنالita** ( $\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ). Os outros são os sulfatos **langbainita** ( $\text{KMg}_2(\text{SO}_4)_3$ ), **polyhalita** ( $\text{K}_2\text{MgCa}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) e **kainita** ( $4\text{KCl} \cdot 4\text{MgSO}_4 \cdot 11\text{H}_2\text{O}$ ).

A silvita é o mineral de minério com a maior percentagem de potássio (cerca de 52,5%). Cristaliza em estrutura hexoctaédrica (Figura 2.1), a mesma do sal gema, cúbica de face centrada, porém sua célula unitária tem maiores dimensões (BETEJTIN, 1977).



Fonte: Barthelmy, 2003.

**Figura 2.1** – Sistema cristalino da silvita: hexoctaédrico.

Constitui ainda minério comum de potássio, uma mistura de silvita (KCl) e halita (NaCl), que se designa por **silvinita**.

Cloretos e sulfatos de potássio (Tabela 2.2) ocorrem em antigos lagos e extensos depósitos de origem marinha. Nestes casos o potássio é recuperado com relativa facilidade. O problema é serem pouco abundantes e quase não existirem no hemisfério sul onde há apenas uma mina em operação, a de Taquari-Vassouras, em Sergipe.

Canadá (60,2%) e Rússia/Bielorússia (19,8%) detêm 80% das reservas mundiais, consideradas econômicas.

A maioria dos minerais com potássio são insolúveis, e o metal só é obtido com grande dificuldade (LIDE, 1994), como é o caso dos silicatos. Daí o fato de não serem considerados como minerais de minério.

Os silicatos revelaram-se rebeldes a classificações químicas. Nas primeiras tentativas imaginaram-se uma série de ácidos silícicos hipotéticos a partir do ácido ortossilícico  $\text{H}_4\text{SiO}_4$ . Chegou-se a estabelecer uma classificação meramente química para os minerais silicatados, mas tal caminho não se mostrou compatível com a realidade mineralógica e cristalquímica. Desta fase apenas o conceito de acidez, que surgiu com a adoção dos diversos ácidos silícicos, se prolongou até nossos dias, porém com um significado muito particular<sup>5</sup>.

O problema das classificações dos feldspatos ficou resolvido com o conhecimento de suas redes estruturais.

Os silicatos são minerais formados essencialmente por grupos tetraédricos  $\text{SiO}_4$ , ligados diretamente entre eles por cátions. São os componentes mais importantes das rochas e constituem, incluindo-se o quartzo, 95% da parte conhecida da crosta terrestre. É a classe mais rica em espécies.

Na “trama silicatada” dos tetraedros ( $\text{SiO}_4$ ), o Al pode estar, tanto no centro ( $\text{AlO}_4$ ), em substituição de Si (*alumino-silicatos*), quanto no centro de octaedros ( $\text{AlO}_6$ ) (*silicatos de alumínio*), como é de conhecimento geral. Pelo contrário, Mg, Fe, Ti, Na, Ca, K estão no centro de octaedros ( $\text{XO}_6$ ) que têm vértices e arestas em comum ( $\text{AlO}_6$ ,  $\text{MgO}_6$ ,  $\text{FeO}_6$ ,  $\text{TiO}_6$ ), ou mesmo faces comuns ( $\text{NaO}_6$ ,  $\text{CaO}_6$ ,  $\text{KO}_6$ ).

Os diversos tipos de associação de tetraedros  $\text{SiO}_4$  levaram à seguinte classificação estrutural dos silicatos: nesossilicatos (tetraedros isolados), sorossilicatos (dois tetraedros ligados entre si), ciclossilicatos (tetraedros em anéis), inossilicatos (tetraedros em cadeia), filossilicatos (tetraedros em folha) e tectossilicatos (tetraedros em três dimensões).

**Tabela 2.2** - Minerais de potássio e seus teores equivalentes em peso (%).

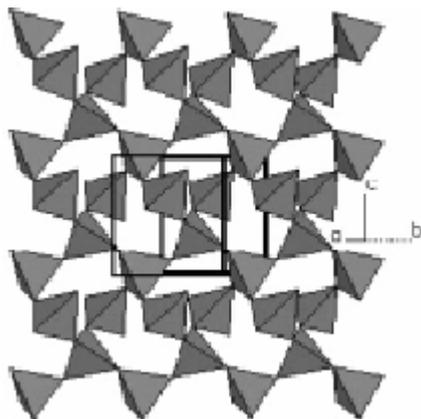
Minerais	Fórmula	Teores Equivalentes (%)			
		K	KCl	K <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Silvita*	KCl	52,44	100,00	63,17	-
Camalita*	KCl.MgCl <sub>2</sub> .H <sub>2</sub> O	14,07	26,83	16,95	-
Silvinita*	KCl + NaCl	-	-	10-35	-
Kainita**	4 KCl.4MgSO <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O	15,71	29,94	19,26	-
Arcanita	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	44,88	-	54,06	100,00
Glaserita	3 K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	35,29	-	42,51	78,63
Langbeinita**	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .2MgSO <sub>4</sub>	18,84	-	22,69	41,99
Leonita	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .2MgSO <sub>4</sub> .4H <sub>2</sub> O	21,33	-	25,69	47,52
Polyhalita**	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .MgSO <sub>4</sub> .2CaSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	12,97	-	15,62	28,90

Fonte: The Industrial Minerals Handbook II

\*Principais minerais de minério

\*\* Minerais de minério secundários

A estrutura tridimensional dos tectosilicatos é apresentada na Figura 2.2. Nota-se o compartilhamento dos íons O<sup>2-</sup> formadores de tetraedros juntamente com o silício, compartilhados com outros tetraedros vizinhos.



Fonte: Shrank/IGE-UNICAMP

**Figura 2.2** - Estrutura geral dos tectosilicatos.

O **grupo dos feldspatos** é o mais abundante conjunto de minerais da crosta terrestre (mais de 90%) (PERONI, 2003). A palavra 'feldspato' deriva da língua alemã antiga e significa 'campos de pedra', em referência à sua abundância. Os feldspatos são minerais de importância econômica, pois são utilizados para a manufatura de porcelanas e vidro.

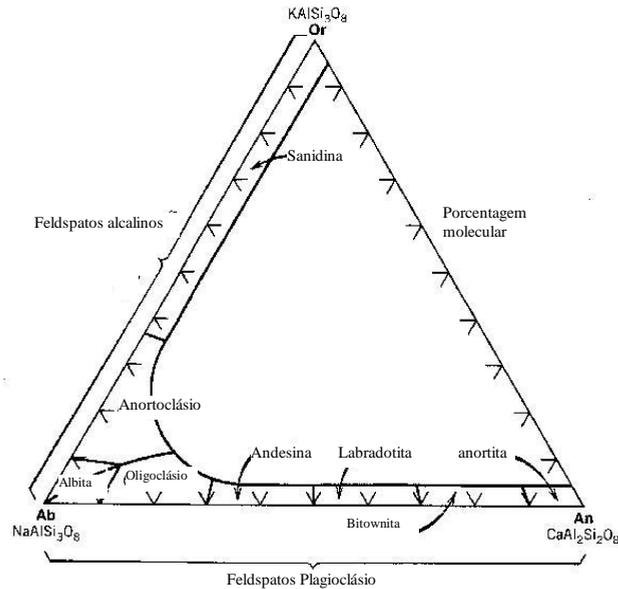
Os feldspatos cristalizam nos sistemas monoclinico, tanto o ortoclásio, feldspato comum, como as suas variedades sanidina e adularia e no triclinico, o microclíneo e os plagioclásios.

Sob o ponto de vista químico os feldspatos dividem-se em feldspatos alcalinos e feldspatos calcosódicos ou plagioclásios. Os plagioclásios são soluções sólidas cujos termos extremos são a albita, sódico-cálcica e a anortita, cálcico-sódica, tendo como termos intermédios e progressivo enriquecimento em cálcio, o oligoclásio, a andesina, o labrador e a bitownita.

A fórmula geral do grupo dos feldspatos pode ser representada por  $AT_4O_8$ , onde T é o sítio tetraédrico, com número de coordenação igual a 4, ocupado por íons Si<sup>4+</sup> e Al<sup>3+</sup>; A corresponde a um sítio geralmente ocupado por elementos de raio iônico grande com números de coordenação maiores ou iguais a 8, tais como Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, mais freqüentemente, e/ou Ba<sup>2+</sup>, Sr<sup>2+</sup> e Pb<sup>2+</sup>, elementos menores. (SHRANK, www.ige.unicamp.br)

Quando Al<sup>3+</sup> substitui Si<sup>4+</sup>, na coordenação tetraédrica, neste tipo de estrutura, faz-se necessária a adição de cátions para o equilíbrio de sua neutralidade eletrostática. Estes cátions entram nos espaços da estrutura cristalina. Algumas séries

desses minerais (série ortoclásio – albita e série albita – anortita encontram-se na Figura 2.3.



**Figura 2.3** - Diagrama mostrando as duas séries composicionais de feldspatos.

Na série ortoclásio – albita, o  $Al^{3+}$  não é um constituinte substitutivo cuja percentagem varia de amostra para amostra. É um componente essencial, presente em quantidade estequiométrica e não pode ser substituído pelo  $Si^{4+}$  sem haver a desintegração da estrutura, ou seja, não há substituição iônica entre  $Si^{4+}$  e  $Al^{3+}$ .

Os feldspatos alcalinos, ortoclásio (potássico) e albita (sódica) somente a temperaturas altas

(>600°C) se apresentam como soluções sólidas, ou seja, quando cristalizam a partir de um magma. Nestas condições a estrutura do feldspato encontra-se suficientemente expandida para acomodar as diferenças entre os raios iônicos do  $Na^+$  e do  $K^+$  e promover solução sólida simples (Tabela 2.3).

A temperaturas mais baixas (durante o resfriamento do magma, por exemplo), a estrutura contrai-se, não mais suportando as diferenças entre os raios iônicos do  $K^+$  (maior) e  $Na^+$  (menor), e os átomos de Al e Si reorganizam-se, impedindo que os átomos de Al ocupem sítios tetraédricos. Como resultado há a separação destes dois minerais novamente, microclínio e albita, formando uma textura de exsolução denominada de pertita.

Os feldspatos potássicos ( $KAlSi_3O_8$ ) agrupam-se em três polimorfos<sup>6</sup> estáveis a temperaturas diferentes: sanidina (monoclínico; alta temperatura – rochas ígneas, fases magmáticas); ortoclásio (monoclínico; temperatura intermediária – rochas ígneas intrusivas); microclínio (triclínico; baixa temperatura – granitos e pegmatitos). Na estrutura da sanidina,  $KAlSi_3O_8$ ,  $Si^{4+}$  e  $Al^{3+}$  ocupam as posições tetraédricas de forma aleatória.

A cor dos feldspatos pode ser influenciada pela presença de elementos traço: os feldspatos alcalinos são geralmente de coloração branca, mas pequenas quantidades de  $Fe^{3+}$  podem conferir ao mineral uma cor rosa ou avermelhada; a presença de pequenas quantidades de  $H_2O$  e Pb resultam

**Tabela 2.3** – Propriedades dos feldspatos.

Propriedades	Ortoclásio	Plagioclásio
Retículo Espacial	Monoclínico C	Triclínico P
Hábito	Prismático	Tabular
Clivagem	Perfeita, 2 direções (90°)	Perfeita, 2 direções (90°)
Dureza	6	6 – 6,5
Cor	Branco, róseo	Incolor, branco, cinzento
Traço	Branco	Branco
Peso Específico	2,55	2,63 – 2,76
Ponto de Fusão	> 1000°C	>1000°C

Fonte: Xavier, 2001.

na cor azul ou verde, como na amazonita (tipo de microclínio), que é considerada uma gema.

Os **feldspatóides** são silicatos anidros, similares aos feldspatos, porém com quantidades menores de  $\text{SiO}_2$  (Figura 2.4).

Os principais minerais deste grupo são indicados na Tabela 2.4.

A fórmula dos feldspatóides pode ser derivada dos plagioclásios: perda de um  $\text{SiO}_2$  para a leucita ou de um  $\text{Si}_2\text{O}_4$  para a nefelina. A estrutura dos feldspatóides é similar à do feldspato, mas contém sítios ou cavidades estruturais maiores, que permitem a entrada de ânions de raio iônico grande ou grupos aniônicos (e.g.  $\text{SO}_4^{2-}$ ). São muito menos abundantes que os feldspatos na crosta terrestre e geralmente associam-se a rochas ígneas intrusivas alcalinas como, por exemplo, os nefelina sienitos e seus correspondentes extrusivos (fonolitos), que são rochas ricas de álcalis (Na e K) e deficientes em sílica.

## 2.4. Geologia e metalogenia do potássio

Depósitos de minerais como a halita ( $\text{NaCl}$ ), muito abundante, silvita ( $\text{KCl}$ ) e carnalita ( $\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) formaram-se por evaporação gradual de águas salinas, em bacias fechadas, pouco profundas. As “capas” de sal assim formadas, principalmente no hemisfério norte, durante o Paleozóico, Devoniano (417 a 354 M.a.) e Permiano (290 a 248 M.a.) foram recobertos, no tempo geológico, por outros depósitos sedimentares.

O mecanismo de formação destas “capas” de sais, que podem ter espessuras consideráveis, hoje encontradas, com frequência, a grandes profundidades, é o seguinte: a água dos rios transportam, em solução, diversos sais solúveis e, quando deságuam em mares fechados cuja evaporação seja igual ou superior ao aporte das águas fluviais, a concentração dos sais passa a aumentar progressivamente. Pela subida do nível dos oceanos, essas bacias podem ser invadidas por águas de mar

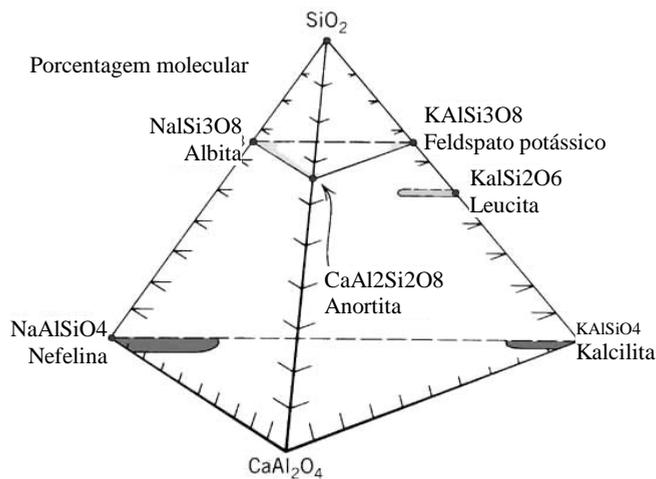


Figura 2.4 - Composição comparativa de feldspatos e feldspatóides.

Tabela 2.4 – Principais minerais do grupo dos feldspatóides.

Leucita	$\text{KAlSi}_2\text{O}_6$	Tetragonal (T-elevada)/Cúbico
Nefelina/ Kalsilita	$\text{NaAlSiO}_4/\text{KAlSiO}_4$	Hexagonal
Sodalita	$\text{Na}_8(\text{AlSiO}_4)_6\text{Cl}_2$	Cúbico
Lazurita	$(\text{Na,Ca})_8(\text{AlSiO}_4)_6(\text{SO}_4\text{S,Cl})_2$	Cúbico

Fonte: Xavier, 2001.

aberto, ricas de NaCl. Pelo contrário, em períodos de estações chuvosas podem perder a saturação.

Desta forma se explica a alternância, de camadas mais ricas de sais de Na – K – Mg ou de argilas estéreis.

Depósitos de halita podem também formar-se quando volumes consideráveis de água marinha são isolados dos oceanos, por formação de barras arenosas e subsequente concentração de NaCl por evaporação.

Não se deve esquecer que a formação dos depósitos acontece em escala de tempo geológico: a dos milhões de anos.

Constata-se assim que os minérios de potássio típicos são, do ponto de vista genético, sedimentos formados por deposição química. Constituem camadas (estratos) de espessuras muito variáveis (de alguns centímetros até centenas de metros), podem estender-se por superfícies consideráveis, formando enormes províncias salinas. Frequentemente as camadas de sais de potássio apresentam-se interestratificadas com as de outros sais comuns, como o cloreto de sódio.

No Canadá, na Província de Saskatchewan, a mais importante em escala mundial, ocorrem a profundidades que oscilam entre 1000m, na parte central, e 3000m junto da fronteira com os EUA. Nesta região as camadas mineralizadas em potássio apresentam-se quase horizontais, com espessuras de 2,5 a 3,5 m.

Deformações tectônicas podem dar origem a morfologias especiais, complexas, devido à grande plasticidade do material salino e à sua propriedade de passar ao estado fluido quando sujeito a grandes pressões. Domas, "stocks" e elevações em forma de vaga são comuns.

São exemplos de jazidas de potássio:

- Saskatchewan, Canadá, na Província do mesmo nome (10 minas em produção), prolongando-se para norte na Província de Manitoba e para sul no estado de North Dakota – EUA.
- New Brunswick, no extremo leste do Canadá (duas minas em produção);
- Stassfurt, Alemanha, na depressão Magdeburg – Halberstadt – sete jazidas, sendo a camada Stassfurt a mais importante;
- Solikamsk, Rússia, com grandes reservas.

Além destas províncias, ocorrem depósitos de potássio em várias regiões dos EUA, principalmente na parte sudeste do estado de Novo México e ocidental do Texas, no Reino Unido, na Espanha e na França. No Brasil há uma mina em produção e importantes ocorrências de carnalita no estado de Sergipe e na região amazônica.

Quantidades significativas de potássio encontram-se em salmouras e lagos naturais, como no Mar Morto, com um teor de sais de 24,5%: MgCl<sub>2</sub> (9,1%), NaCl (8,5%), CaCl<sub>2</sub> (3,5%) e KCl (1,4%). Suas reservas de sais de potássio são da ordem 1,8Mt (DOROKHINE *et al.*, 1967).

Israel e Jordânia produzem potássio a partir das águas do Mar Morto, por um processo de evaporação solar.

Novas minas na Tailândia poderão contribuir para um aumento significativo da produção mundial de potássio para fertilizantes. O *Udon Thani Potash Exploration Program* revelou reservas superiores a 200 Mt de minério de alto teor de silvinita com 25 a 30% de K<sub>2</sub>O a profundidades de 250 a 370 metros (Fonte: [www.miningwatch.ca](http://www.miningwatch.ca)).

A *Asia Pacific Potash - APP* (Canadá) e a *Norsk Hydro Asia*, da Noruega, realizaram um estudo de viabilidade econômica para a mina de potássio de Somboon, com reservas recuperáveis de 120 Mt de teor de 23% de K<sub>2</sub>O.

Os principais depósitos de sais de potássio formaram-se no Paleozóico, Permiano no caso de Stassfurt (Alemanha), de Solikamsk (Rússia), de Carlsbad (República Tcheca) e Devoniano em Saskatchewan (Canadá).

Os depósitos mais recentes apresentam reservas menores.

## 2.5. Produção e consumo de potássio no Brasil

O Brasil, devido à dimensão da sua produção agrícola, às características dos seus solos, muito pobres nos macronutrientes potássio e fósforo e à insuficiente produção doméstica de potássio, de fosfatos, de compostos nitrogenados e de enxofre, é um dos grandes importadores mundiais de fertilizantes. Foram mais de 2,7 bilhões de dólares em 2006, correspondentes a 12,4 Mt de produtos intermediários e 5,5 Mt de matérias-primas para fertilizantes, num total de 17,9 Mt. Desse total de US\$ 2,7 bilhões, o potássio foi responsável por US\$ 950 milhões (Tabela 2.5) (ANDA, 2007 e DNPM, 2007).

**Tabela 2.5** - Importação de produtos intermediários de potássio para fertilizantes, em toneladas de nutrientes.

Produtos	2004	2005
Cloretos de potássio	3.838.430	3.032.236
Sulfato de potássio	42.247	20.635
Salitre potássico	24.654	20.517
Nitrato de potássio	15.238	19.905
Fertilizantes complexos	21.167	?
<b>TOTAL</b>	<b>3.941.736</b>	<b>3.093.293</b>

Fonte: ANDA, 2007.

O problema é mais grave em relação ao potássio. Em 2006 foram importadas 3,1 Mt de  $K_2O$  (equivalente a US\$ 950 mil) e produzidas apenas 0,424 Mt, que representam apenas 13% das necessidades do País em potássio.

Além da mina de Taquari-Vassouras, em produção, são conhecidos, na região, em Santa Rosa de Lima, depósitos de potássio arrendados à CVRD. Os depósitos de Fazendinha e Arari, no estado do Amazonas, também aguardam definição por parte da Petrobras, atual detentora dos direitos de lavra.

Se a dependência econômica é grande, a fragilidade física não é menor. O Brasil tem uma única mina em operação, que é uma mina de risco pelas suas características geológicas. O Canadá, por exemplo,

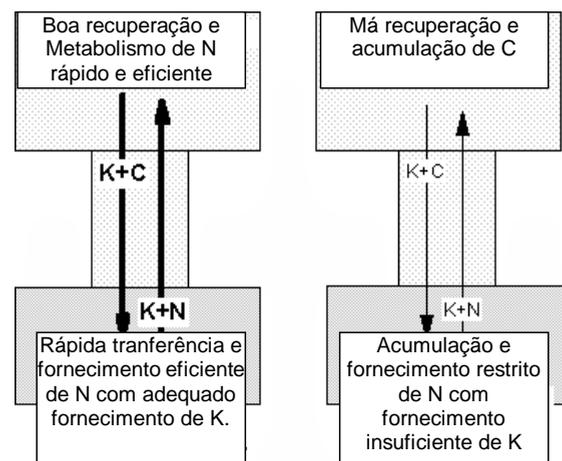
tem 12 minas em produção, sendo 10 subterrâneas e duas de extração por solventes. Destas 12 unidades, 10 situam-se na Província de Saskatchewan, no centro sul do Canadá, e duas a sudeste, na Província de New Brunswick.

## 2.6. Importância e função do potássio na agricultura

O potássio, como já foi referido, é um nutriente essencial para todos os organismos vivos. Tem como principal função promover a reciclagem dos nutrientes necessários ao crescimento das plantas. Desempenha uma função importante na ativação de enzimas (mais de 60 são ativados por este cátion, que atua em diversos processos metabólicos tais como a fotossíntese, síntese de proteínas e carboidratos). Tem também incidência no balanço de água e no crescimento de meristemas (CONTI, 2003).

Os efeitos de uma fertilização bem balanceada no rendimento da produção agrícola estão documentados em numerosos trabalhos.

O gráfico de Marschner *et al.*, 1996 (KRAUSS, 2000)(Figura 2.5) sintetiza, por exemplo, a importante função do K no ciclo de outros nutrientes.



Fonte: Krauss, 2000.

**Figura 2.5** – Participação do K no ciclo dos outros nutrientes.

Os resultados obtidos nos mais recentes trabalhos de pesquisa experimental, realizados no âmbito de um dos programas do *International Potash*

*Institute – IPI*, na Europa Central e Oriental (KRAUSS, 2000), mostraram, por exemplo:

- aumento de até 36% no rendimento de produção de batata na Polônia com uma fertilização balanceada que incluiu NPK+S+Mg, comparada com a utilização de apenas NP;
- acréscimo de 8% e de até 17% no rendimento de produção de beterraba e de açúcar, respectivamente, com NPK+S+Mg, na República Tcheca;
- produção 18% mais elevada de beterraba, com mais 20% de açúcar; na Hungria (NP versus NPK+S+Mg);

A respeito da qualidade da beterraba, foi ainda relatado que, para a produção de uma tonelada de açúcar a partir de beterraba de baixa qualidade, são necessárias 10 toneladas de raízes com um teor médio de 13% e um rendimento de extração de 80%. Com beterraba de elevada qualidade, obtida com fertilização adequada, o índice de açúcar nas raízes subiu para 17% e o rendimento na extração para 95%.

Obtiveram-se também:

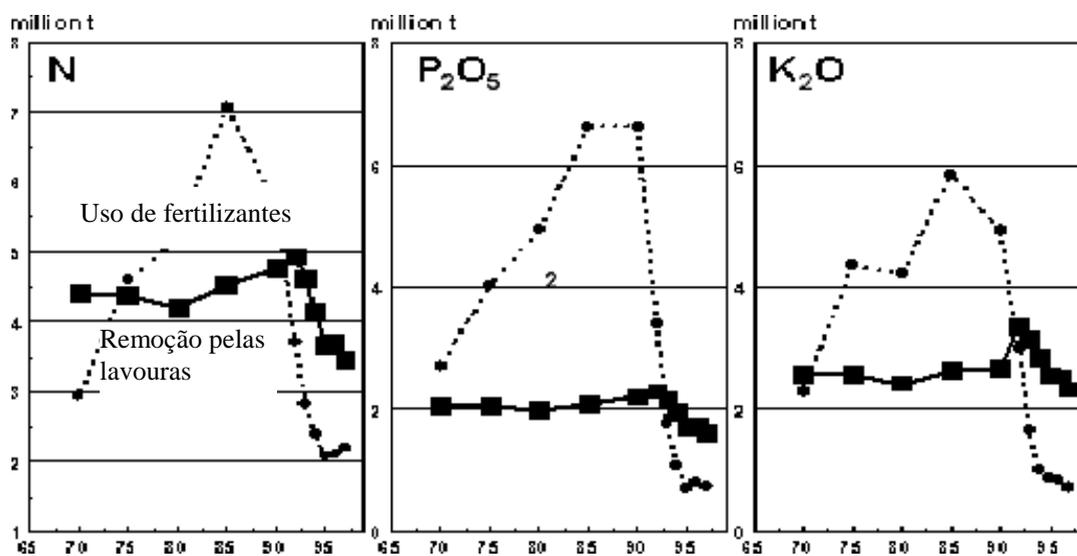
- rendimento 29% maior para o feijão e de 11% para a batata, na Bulgária;
- rendimento 23% mais elevado para o milho, 8% para a beterraba, 29% para a batata e 18% para o tomate, com dosagens adequadas de NPK, na Romênia;
- produção 51% superior de trigo e maior rendimento por hectare, com aplicação correta de NPK, na Rússia. Além disso, as plantações de repolho e cenouras tiveram seus rendimentos elevados pela fertilização equilibrada e ainda uma menor perda durante o armazenamento;
- na Índia, fazendeiros tiveram um ganho de 10 a 15% no preço da soja e do trigo com uma boa administração de potássio fertilizante. Nesse caso, as sementes de soja se mostraram mais sãs e brilhantes, enquanto as proteínas no trigo tiveram seu rendimento aumentado em 37,5%;

- as plantações de chá verde na China que receberam potássio, em combinação especial com enxofre, tiveram índices de aminoácidos e de cafeína mais elevados, dando ao produto uma melhor qualidade;
- no Irã as plantações de beterraba de açúcar tiveram seus rendimentos elevados em até 17%.

A. Krauss, Presidente do *International Potash Institute – IPI*, em conferências proferidas, i) no Cairo, em fevereiro de 2001, na AFA - 7<sup>th</sup> *International Annual Conference*, ii) na Lituânia, em outubro de 2000, durante o *Regional IPI Workshop on Potassium and Phosphorus*, iii) em Hanover, Alemanha, durante a realização da *Expo 2000, Science in Dialogue* (15 de agosto de 2000) e iv) em Suceava, na Romênia, por ocasião do 12<sup>th</sup> *CIEC International Symposium on “Role of fertilizers in sustainable agriculture”*, deixou bem claro a importância do potássio como nutriente na agricultura moderna. Acentuou que, se por um lado se precisa, cada vez mais, de mais e melhor alimentação, por outro a abertura de novas fronteiras agrícolas torna-se cada vez mais limitada. Por isso, se diz que hoje são os fertilizantes a “alimentarem” o mundo.

Na ex-URSS, em consequência da crise que atravessa, e também em outras regiões, o correto balanceamento de nutrientes começa a não ser respeitado (KRAUSS, 2000) (Figura 2.6).

Apoiado em estudos realizados na Europa, na Ásia (principalmente na China e na Índia) e na África, o citado autor destacou vários aspectos da problemática do potássio como fertilizante. Não deixou de alertar que a falta do potássio, entre outros danos, restringe o transporte de  $\text{NO}_3^-$ , o que conduz à redução do nitrato nas raízes e na acumulação dos aminoácidos. Refere ainda que menores densidade e comprimento das raízes estão relacionadas com a diminuição de potássio no solo. Kerschberger e Richter (KRAUSS, 2000) fizeram em torno de 650 experimentos na Alemanha, e concluíram que, em ambientes com níveis baixos de K trocável, as colheitas de raízes perderam 38% do seu rendimento potencial, enquanto, no caso de cereais, essa perda foi de somente 18%.



Fonte: Krauss, 2000.

Figura 2.6 – Balanço da aplicação/consumo de fertilizantes na ex-URSS.

Estimativas de Nikolova e de Samalieva (KRAUSS, 2000) mostraram que a perda na colheita de trigo foi de 135 mil toneladas, de 28 mil toneladas em sementes de milho e em torno de 53 mil toneladas na de girassol. Isso equívale a um prejuízo de 30 milhões de dólares, a preços locais, causado somente por uma fertilização desequilibrada. Prokoshe (KRAUSS, 2000) calculou para 17 regiões na Rússia uma perda de 1,24 milhão de toneladas de cereais, 150 mil toneladas de beterraba para produção de açúcar e 300 mil toneladas de batata, pela deficiência de potássio na fertilização. Esses valores são correspondentes a uma perda de 680 bilhões de rublos (preços de 1996).

O potássio é um fator de qualidade na produção. A participação do potássio na qualidade do vegetal está relacionada com o transporte dos aminoácidos e açúcares para os órgãos de armazenamento, como grãos, tubérculos e raízes, e com a ativação da conversão em amido, proteínas gordurosas, vitaminas etc.

A complementação de potássio em solos deficientes produz uma melhora no rendimento das colheitas e torna o vegetal mais resistente a pragas e doenças. A carência de potássio ocasiona um

comportamento inadequado dos estômatos, restringindo a fotossíntese e, assim, o rendimento das safras.

Ao sintetizar todas estas informações, Krauss resalta alguns aspectos que devem merecer uma atenção muito especial. Por exemplo: a ausência de K fertilizante pode ser substituído, em alguns casos, pelo K da solução e pelas reservas de K “não-trocáveis” ou lentamente disponíveis. Porém, essa “mineração” contínua do solo pelo cultivo intensivo pode causar a exaustão das reservas de K e privar a capacidade de proteção de pragas do solo, o que significa uma ameaça ao meio ambiente.

Verifica-se, pelo que ficou exposto, a enorme importância do potássio como macronutriente na agricultura.

### 3. A indústria de fertilizantes de potássio no Brasil

No Brasil as reservas de potássio são da ordem de 1,5 bilhão de toneladas (DNPM, 2003), incluindo-se aí as reservas de silvinita e carnalita. Atualmente há uma única mina em produção, no estado de Sergipe.

### 3.1. Fontes de potássio no Brasil: depósitos, jazidas e minas

Os depósitos de Sergipe foram descobertos em 1963 pela Petrobras (BALTAR *et al.*, 2001) durante estudos de prospecção de petróleo na região em domos salinos. Lá, as reservas de minérios de potássio totalizam cerca de 508,6 milhões de toneladas de silvinita e 12,9 bilhões de toneladas de carnalita. Seus teores são, respectivamente, de 9,7 e 8,3% de  $K_2O$  contido. Esses depósitos encontram-se nas sub-bacias evaporíticas de Taquari-Vassouras e Santa Rosa de Lima, municípios de Rosário do Catete, Carmópolis e Santa Rosa de Lima. Daquele montante de silvinita, apenas 129,6 milhões de toneladas se definiram como recuperáveis, após a introdução de índices de abatimento geológico e parâmetros de minerabilidade. Dessas reservas já foram mineradas cerca de 21,71 milhões de toneladas de minério, desde 1985 (DNPM, 2003).

Segundo Santos (1981), os depósitos na Amazônia foram descobertos em 1955, durante o programa de pesquisa de petróleo pela Petrobras. Lá, as camadas de salgema estão associadas à seqüência de evaporitos do Paleozóico Superior na região de Nova Olinda. Posteriormente, sondagens efetuadas em outras áreas do médio Amazonas revelaram, nas regiões do Tapajós, de Nhamundá-Trombetas e de Nova Olinda-Maués, outras ocorrências de sais de potássio.

De acordo com o Sumário Mineral Brasileiro (2003), as reservas de silvinita na Amazônia estão em torno de 1 bilhão de toneladas.

O depósito de Nova Olinda é formado por sedimentos químicos-evaporíticos que se localizam na parte superior do Carbonífero da Bacia do Amazonas. Existem, nessa região, horizontes de salgema, sais de potássio, gipsita, anidrita e calcário.

Em Taquari-Vassouras localiza-se a única mina de potássio em operação no Brasil, como já foi referido. No início de 1985, a mina pertencia à extinta PETROMISA e, a partir de 1991, os direitos minerários passaram para a Petrobras, que arrendou a jazida à Vale por 25 anos. A Vale vem lavrando, no local, desde 1992, a silvinita sob condi-

ção de arrendatária. A unidade operacional está localizada no município de Rosário do Catete, no estado de Sergipe. A mina produz KCl por método de lavra subterrânea.

A produção do complexo mina/usina de Taquari/Vassouras foi de 403 mil t de  $K_2O$  equivalente em 2006 (DNPM, 2007).

São conhecidas reservas da ordem de 13 milhões de toneladas de KCl, e a Vale possui um plano de expansão que prevê a produção de 850 mil toneladas anuais.

### Fontes potenciais de potássio para fertilizantes

A agricultura do Brasil e a de outros países grandes produtores de alimentos, como a China, por exemplo, consomem grandes quantidades de fertilizantes, com a agravante no caso brasileiro, de a produção interna ser pequena e não crescer de forma a compensar o constante aumento de consumo. Países carentes de potássio são obrigados a importá-lo por ser fundamental para seus solos.

O crescente aumento do uso de potássio fertilizante na agricultura fez com que pesquisas sobre minerais alternativos para produção de fertilizantes de potássio ganhassem importância ao longo dos últimos anos.

Os feldspatos alcalinos e os feldspatóides devem ser considerados como fontes potenciais de potássio para fertilizantes, quer através da produção de sais de potássio, quer de termofosfatos potássicos, ou ainda em aplicação direta na agricultura como fertilizante de solubilização lenta. Entre os feldspatos destacam-se o ortoclásio e o microclínio. Feldspatóides como a leucita (mineral pouco abundante) e outros silicatos, como, por exemplo, as micas, pelos seus teores, poderão ser fontes potenciais de potássio para a agricultura.

### 3.2. Aspectos econômicos e geoestratégicos

A Figura 3.1 representa o consumo mundial de fertilizantes durante o ano de 1999. Das 140 Mt consumidas no mundo, 15% correspondem a fertilizantes potássicos, o que representa, aproximadamente, a 21Mt (POTAFOS, 2002).

Podemos destacar que o consumo do Brasil fica em torno de 10% da produção mundial o que corresponde a 2,3Mt/ano de  $K_2O$  (Figura 3.2). Isso leva o Brasil à posição de terceiro maior consumidor mundial de fertilizantes potássicos.

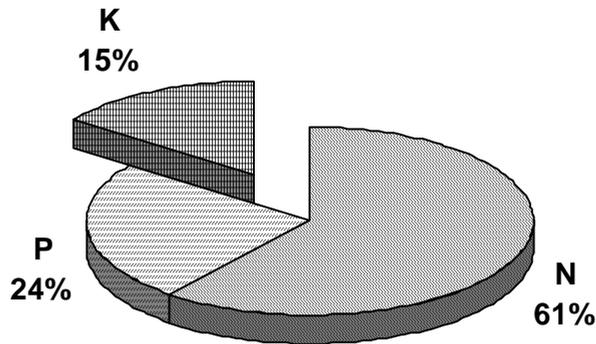
No cenário mundial, o Brasil apresenta, em termos de produção, números modestos. É o 11º colocado. Tratando-se de reservas medidas, o Canadá possui 60,2% do total mundial, enquanto o Brasil, com 1,9%, localiza-se na 8ª colocação, com 303,8 Mt de  $K_2O$ .

Salvo no período imediato ao da entrada em produção da mina de Taquari-Vassouras e nos três últimos anos da década de 90, no Brasil, as importa-

ções de potássio sempre aumentaram. Esse comportamento pode ser visualizado na Figura 3.3.

No Brasil, as maiores reservas encontram-se em Sergipe, na região de Taquari/ Vassouras e Santa Rosa de Lima, com minérios de carnalita, silvinita e silvita, e no Amazonas, com reservas totais em torno de 525 milhões de toneladas, com teor médio de 23,7%. Aproximadamente 63 milhões de toneladas dessas reservas vem sendo mineradas desde 1985, tendo sido explorados, nesse período, cerca de 13,6 milhões de toneladas de minério. Por causa do método de lavra, a taxa de recuperação de Taquari/Vassouras é próxima de 50% da reserva minerável.

A Tabela 3.1 mostra os valores das reservas em 2006 e da produção mundial de  $K_2O$  em 2005-6.



Fonte: POTAFOS, 2002.

Figura 3.1 – Representação da distribuição percentual das 140Mt de fertilizantes consumidas no ano de 1999.

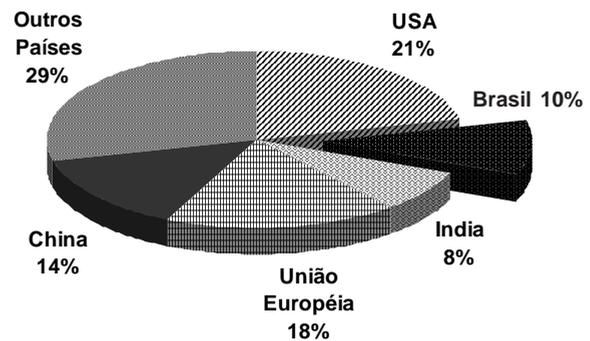
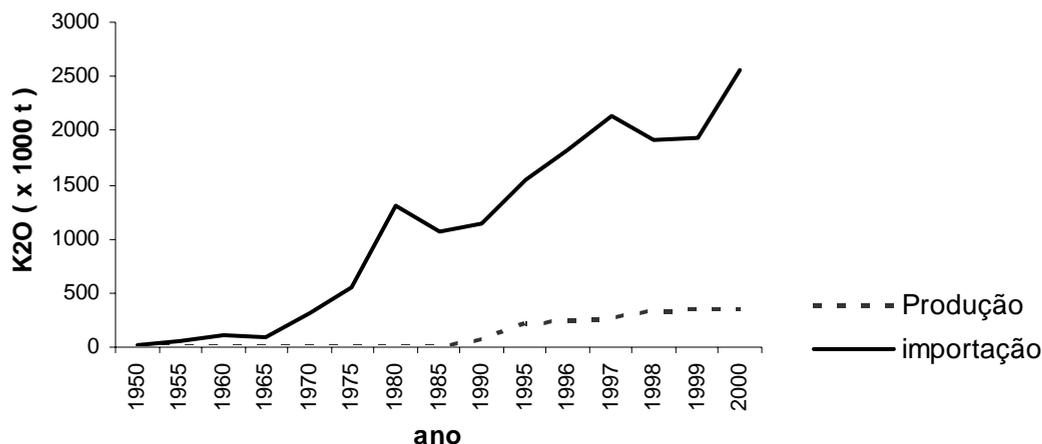


Figura 3.2 – Representação do consumo mundial de compostos de Potássio como fertilizantes no ano de 1999.



Fonte: POTAFOS, 2002.

Figura 3.3 – Evolução da produção e importação de potássio no Brasil.

Tabela 3.1 – Reserva e produção mundial.

Discriminação	Reservas (10 <sup>3</sup> t K <sub>2</sub> O)		Produção (10 <sup>3</sup> t K <sub>2</sub> O)		
	2006	(%)	2005	2006	(%)
<b>Países</b>					
Brasil	234.399	1,4	405	403	1,4
Alemanha	850.000	5,3	3.600	3.660	12,1
Bielorrússia	1.000.000	6,2	4.800	4.000	13,2
Canadá	9.700.000	59,9	10.120	10.200	33,7
Chile	50.000	0,3	370	350	1,2
China	450.000	2,8	600	700	2,3
Espanha	35.000	0,2	500	500	1,7
Estados Unidos	300.000	1,9	1.200	1.200	3,9
Israel	580.000	3,6	2.060	2.100	6,9
Jordânia	580.000	3,6	1.230	1.200	3,9
Reino Unido	30.000	0,2	600	600	1,9
Rússia	2.200.000	13,6	5.500	5.300	17,5
Ucrânia	30.000	0,2	65	65	0,2
Outros Países	140.000	0,9	....	....	-
<b>TOTAL</b>	<b>16.179.339</b>	<b>100</b>	<b>31.050</b>	<b>30.278</b>	<b>100</b>

Fonte: DNPM, 2007.

### 3.3. Características e especificações dos fertilizantes potássicos

Cerca de 95% da produção mundial de potássio é utilizada como fertilizante e, desse montante, 90% sob forma de KCl. Outros sais utilizados são K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (sulfato de potássio), K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>MgSO<sub>4</sub> (sulfato duplo de potássio e magnésio), KNO<sub>3</sub> (nitrato de potássio) e KNO<sub>3</sub>.NaNO<sub>3</sub> (salitre potássico). A escolha da forma de aplicação deve ser baseada nas necessidades/características do solo, no tipo da cultura, nos métodos de aplicação, no preço e na disponibilidade (POTAFOS, 1996).

Na Tabela 3.2 apresentam-se as composições dos diferentes sais de potássio utilizados na agricultura.

Verifica-se que o KCl é o fertilizante com mais alta concentração de potássio - cerca de 60 a 62% de K<sub>2</sub>O - o que representa mais de 95% de KCl. Tal característica contribui para tornar seu preço mais competitivo em relação a outras formas de fertilizantes potássicos. No Brasil, é exigida, na comercialização do cloreto de potássio, um teor mínimo de 58% de K<sub>2</sub>O, o que equivale a 91,81% de KCl.

O sulfato de potássio contém cerca de 50% de K<sub>2</sub>O e 18% de enxofre. Como a concentração de cloretos nesse tipo de material é geralmente menor que 2,5%, é utilizado em cultivos que apresentam certa sensibilidade a altas concentrações de íons cloretos, como tabaco, frutas e alguns

Tabela 3.2 – Sais de potássio utilizados como fertilizantes e sua composição em nutrientes.

Composto	Fórmula química	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	S	Mg
Cloreto de potássio	KCl	-	-	60-62	-	-
Sulfato de potássio	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	-	-	50-52	18	-
Sulfato de potássio e magnésio	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .2MgSO <sub>4</sub>	-	-	22	22	11
Nitrato de potássio	KNO <sub>3</sub>	13	-	44	-	-
Nitrato de potássio e sódio	KNa(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	15	-	14	-	-
Carbonatos de potássio	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	-	-	<68	-	-
	KHCO <sub>3</sub>	-	-	-	-	-
Ortofosfatos de potássio	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	-	30-60	30-50	-	-
	K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	-	-	-	-	-
Polifosfatos de potássio	K <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	-	40-60	22-48	-	-
Metafosfatos de potássio	KPO <sub>3</sub>	-	55-57	38	-	-

vegetais que necessitam de enxofre como nutriente.

O sulfato duplo de potássio e magnésio é um fertilizante normalmente processado a partir da langbeinita ( $K_2Mg_2(SO_4)_3$ ). Contém aproximadamente 22% de  $K_2O$ , 11% de magnésio e 22% de enxofre. A concentração de cloretos nesse material normalmente é inferior a 2,5%.

O nitrato de potássio é o composto recomendado para cultivos que necessitem de baixos teores de enxofre e cloreto. Tem a vantagem de fornecer, ao mesmo tempo, potássio e nitrogênio como nutrientes. Contém aproximadamente 44% de  $K_2O$  e 13% de N (THOMPSON, 2002).

A granulometria dos sais de potássio varia em função da sua aplicação. Korndörfer (2003) apresenta algumas faixas de granulometria para os sais mais utilizados: o KCl e o  $K_2SO_4$  (Tabela 3.3). Em termos de KCl, o produto é vendido em quatro tipos distintos de granulometria: *Granular* (partículas com diâmetro compreendido entre 0,8 e 4,4 mm), *Grossoiro* (diâmetro de partículas variando entre 0,6 e 2,4 mm), *Comum* (diâmetro de partículas entre 0,2 e 1,7 mm) e *Solúvel* (partículas com diâmetro variando entre 0,15 e 0,4 mm).

A produção em Taquari-Vassouras é de potássio fertilizante, sendo produzidos os tipos *Granular* (partículas com diâmetro na faixa de 0,8 a 3,4 mm) e *Standard* (partículas com diâmetro na faixa de 0,2 a 1,7 mm) (DNPM, 2003).

### 3.4. Características e perspectivas da demanda/consumo

Tanto no Brasil como em outros países do Mercosul, o agronegócio tem grande participação na economia. No Brasil, é responsável por cerca de 40% do produto interno bruto. A agricultura e a pecuária representam uma boa parte desse montante (25%).

De acordo com o professor Alfredo Sheid Lopes, em sua palestra realizada no CETEM, em 2002, durante o Encontro sobre Fertilizantes na Iberoamérica e depois publicado no livro *Fertilizantes y Enmiendas de Origen Mineral* (NIELSON & SARUDIANSKY, Editores, 2003), editado em Buenos Aires, em 2003, o agronegócio é responsável por 50% dos empregos no País e 40% das exportações brasileiras.

Lopes (2002) ainda refere que, somente em fertilizantes, o Brasil movimentava cerca de 4,5 bilhões de dólares anuais. Verifica-se, por estes números, que o agronegócio brasileiro tem grande importância no cenário internacional. Além disso, alguns produtos agrícolas ocupam, internacionalmente, posições de destaque, como é o caso do café, da laranja, da soja e do açúcar, mesmo com as enormes barreiras tarifárias que lhes são impostos na Europa e EUA.

No mercado de fertilizantes o Brasil ocupa lugar de grande destaque. É o quarto maior consumidor de fertilizantes do mundo atrás da China, dos EUA e da Índia. Mais especificamente, no caso do potássio, sua posição sobe para terceiro lugar.

Tabela 3.3 - Granulometria dos adubos potássicos

Tipo	Faixas das partículas			
	% de $K_2O$	Malha	mm	Produto
Granular	61	6-20	3,4-0,8	Cloreto
Granular		6-35	3,4-0,5	Sulfato
Grossoiro (coarse)	61	8-28	2,4-0,6	Cloreto
Comum (standard)	61,5	10-65	1,7-0,2	Sulfato e Cloreto
Suspensão	61,5	10-200	1,7-0,075	Sulfato e Cloreto
Solúvel	62	35-100	0,4-0,15	Cloreto
Comum especial	61	35-200	0,4-0,075	Cloreto
Puro	63	fina	-	Cloreto

Fonte: Korndörfer, 2003.

Isso se deve a um maior aumento de produtividade, que se apoia num mais elevado consumo de fertilizantes.

O que se verifica hoje se deve principalmente a mudanças ocorridas na década de 80. Nesse período, ocorreu um decréscimo sensível nos financiamentos do governo no setor agrícola e, como consequência, os produtores necessitaram aumentar sua produtividade e conseguiram-no. Mesmo com uma diminuição da área cultivada de cerca de 11,4% entre 1988 e 1999, a produção cresceu 22,5%, o que requereu um maior recurso aos fertilizantes, sustentado pelas importações que passaram de 35% para 49% do total consumido em 1988. A tendência de aumento é clara, dada a falta de ações para a entrada em produção de novos depósitos ou de novos materiais fertilizantes.

O consumo de potássio aumentou em média 9,2% nos primeiros anos do século XXI. Hoje cerca de 90% do potássio consumido no país provém de importações.

Outra característica interessante é o surgimento de um período de fusões e compra de companhias. Em 1988, 19 importadores de KCl representavam 80% das importações brasileiras. Dez anos depois eram 13 os responsáveis pelos mesmos 80%.

O Brasil é o país com o maior potencial de expansão na agricultura no mundo. A área agricultável no Brasil chega a 550 milhões de hectares. Isso corresponde a uma área maior do que a soma de área total de 32 países da Europa: Áustria, Hungria, Romênia, Holanda, Lituânia, Itália, Polônia, Estônia, Tchecoslováquia, França, Irlanda, Bélgica, Albânia, Portugal, Espanha, Bulgária, Reino Unido, Alemanha, Letônia, Dinamarca, Suécia, Grécia, Ucrânia, Bósnia, Croácia, Macedônia, Islândia, Iugoslávia, Noruega, Finlândia, Suíça e Bielo Rússia (LOPES, 2002).

#### 4. Pesquisas realizadas e a desenvolver

Como já foi anteriormente citado, o Brasil possui um enorme potencial de crescimento na área da agricultura. A demanda de fertilizantes, inclusive de potássio, vem crescendo a cada ano. Com apenas uma mina em operação para produção de fertilizan-

tes potássicos, o Brasil encontra-se em uma posição crítica, fortemente dependente de importações. Além disso, o potássio importado pelo Brasil é proveniente de poucos países. É uma situação preocupante do ponto de econômico e estratégico.

Há, pois, necessidade de serem desenvolvidos trabalhos sistemáticos de prospecção e pesquisa geológica e estudos abrangentes para aproveitamento de depósitos já conhecidos e de fontes não convencionais, seja na forma de aplicação direta ou no desenvolvimento de novos processos para a produção de fertilizantes potássicos.

#### 4.1. Prospecção e estudos geológicos

Dada a escassez de minérios de potássio tradicionais no Brasil, com a agravante de tal fato se verificar em todo o Hemisfério Sul, e a forte dependência do País de importações de matérias-primas para fertilizantes (mais de 2,5 Mt anuais a um custo superior a US\$ 530 milhões) com reflexo negativo na balança comercial, há necessidade de se buscarem caminhos e se encontrarem soluções que resolvam o problema, não só por razões econômicas, mas também estratégicas, insista-se.

Rumos a serem seguidos poderiam envolver, no que diz respeito ao potássio para a agricultura:

- A criação de uma entidade coordenadora das atividades de P&D composta por representantes dos ministérios da Agricultura, de Minas e Energia e de Ciência e Tecnologia, por pesquisadores e técnicos de Centros de Pesquisa, Universidade, CPRM (Serviços Geológicos), DNPM, Petrobras e ANDA, que, pelo seu saber, experiência e espírito inovador pudessem contribuir, de forma efetiva, na resolução do problema da grande dependência externa de importações de potássio para fertilizantes (cerca de 90% do consumo do País, como já foi dito), produto indispensável à importante, dinâmica e competitiva indústria agropecuária nacional.
- A realização de estudos intensivos, que deveriam ser considerados como prioritários, para o aproveitamento dos depósitos de carnalita e silvinita de Sergipe e Amazônia.

- Estabelecimento de um plano de prospecção e pesquisa mineral, sistemática e abrangente, de novos depósitos em que a Petrobras poderia desempenhar papel fundamental, como já aconteceu em relação à única mina em produção, em Sergipe, e às importantes reservas que definiu na Amazônia.
- O incentivo ao estudo de novos materiais e novos caminhos para produção de fertilizantes que se adaptem às diferentes condições solo/clima e socioeconômicas do Brasil.
- A inventariação sistemática e a definição geológica e geoquímica de ocorrências de rochas e minerais que pudessem vir a constituir fontes alternativas, tanto para a produção de sais de potássio para fertilizantes, como de materiais para utilização direta na agricultura ou ainda para produção de termofosfato potássico, produto de solubilização lenta, não fabricado no Brasil, que poderia ser uma boa opção nas condições climático-pedológicas prevalentes no País.

#### 4.2. Produção de sais de potássio a partir de minerais silicatados

São apresentadas algumas rotas alternativas de produção de sais solúveis de potássio, ainda sem viabilidade econômica estabelecida, que utilizam minerais feldspáticos e outros silicatos.

As ações de vários agentes lixiviantes sobre o feldspato alcalino foram estudadas ao longo das últimas décadas.

Nos anos 80, o IPT (Instituto de Pesquisa Tecnológica de São Paulo) realizou alguns experimentos, em laboratório, de ataque da rocha potássica de Poços de Caldas por hidróxido de potássio sob pressão. Os resultados indicaram a obtenção de um produto totalmente solúvel em ácido cítrico (VALARELLI, 1981). O IPT também realizou estudos para obtenção de termofosfatos potássicos para fertilizantes utilizando os estéreis (“rocha potássica”) da mina de urânio Osamo Utsumi situada no Planalto de Poços de Caldas - MG.

O processo de produção do termofosfato potássico baseou-se na fusão, em forno elétrico a arco

submerso, de uma mistura de rocha fosfática, rocha potássica e outras rochas de alta disponibilidade no Brasil. A mistura é fundida a altas temperaturas e, em seguida, o produto é resfriado rapidamente, por contato direto com jatos de água, tornando-se granuloso, com características vítreas. Finalmente é seco, moído e ensacado.

O produto contendo fósforo e potássio como macronutrientes primários e cálcio e magnésio como macronutrientes secundários fica praticamente todo disponível para os vegetais (avaliado segundo o método oficial utilizando-se ácido cítrico como extrator) (VALARELLI e GUARDANI, 1981).

Estudos de Leite (1985) e Valarelli *et al.* (1993) apresentam o desenvolvimento de um tipo de “Termofosfato Potássico Cálcico-Magnésiano” e “Termofosfato Potássico”, respectivamente, a partir da mistura de rocha potássica (verdete) de Abaeté, rocha fosfatada de Araxá e, no primeiro caso, calcário magnésiano. O processo de Leite (1985) tem por objetivo desenvolver um tipo de fertilizante com ação simultânea de correção da acidez do solo. Vários tratamentos térmicos foram empregados nas rochas para avaliação da disponibilidade de fósforo e potássio no produto. Valarelli *et al.* (1993) concluiu em seus estudos que o termofosfato fundido, tendo como fonte de  $K_2O$  o verdete de Cedro do Abaeté, é equivalente em suas características ao termofosfato produzido com as rochas ígneas como as de Poços de Caldas.

Grandes são as vantagens agronômicas da utilização de termofosfatos como fertilizantes, como, por exemplo:

- insolubilidade dos nutrientes em água, resultando em menores perdas por lixiviação e fixação;
- solubilidade dos nutrientes em solução de ácidos fracos, como os existentes nas soluções do solo, resultando em liberação lenta e eficiente dos mesmos para os vegetais;
- comportamento alcalino, resultando em efeito simultâneo de fertilização e correção de acidez de solos ácidos;

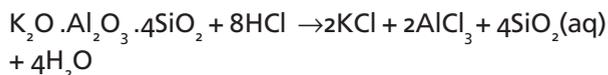
- presença, no produto, de outros nutrientes além do fósforo e do potássio, como cálcio, magnésio e micronutrientes.

Recentemente foi desenvolvida pelo CETEM, COPPE e INB rota hidrometalúrgica para extração de potássio a partir da “rocha potássica” de Poços de Caldas. Baseia-se na lixiviação alcalina, sob pressão, da rocha finamente dividida. Os resultados mostraram-se promissores com extração de, praticamente, 100% do potássio contido na rocha e ainda com a formação de um mineral zeolítico como resíduo de lixiviação, que possui potencial de utilização industrial.

Outros trabalhos com solo da Malásia foram realizados em amostras com diversas granulometrias utilizando o ácido sulfúrico como agente extrator. Nesse caso, a liberação do potássio chegou a apenas 49% do potássio contido na amostra. Os autores sugeriram que a dissolução do mineral e a liberação do potássio estavam diretamente ligadas às quebras de ligação do Al na estrutura de tetraedros. Foi, porém, constatada que essa dissolução era muito lenta em condições ácidas.

Snäll e Liljefors (2000) testaram a lixiviação de vários silicatos e analisaram os teores de extração para Na, K, e Al para diversos agentes lixiviantes e vários tamanhos de grão. É importante notar que essas frações granulométricas apresentavam distintas composições químico-mineralógicas. Minerais do tipo biotita apresentaram maiores valores de extração para os cátions K e Na em comparação como minerais como muscovita ou microclínio. No caso específico do microclínio os valores de extração de K, Na e Al com os agentes lixiviantes testados foram baixos.

Uma variação do processo Blanc foi testada para a produção de sais de potássio a partir de um minério com 20 a 50% de leucita e 5 a 12% de  $K_2O$  (CARVALHO, 1965). O minério, após enriquecimento magnético (atingiu 17% de  $K_2O$ ), foi atacado com HCl a 80°C segundo a reação:



A separação do KCl deu-se imediatamente, com o resfriamento da solução. Parte do HCl é recuperada pela transformação do cloreto de alumínio hidratado em óxido de alumínio e ácido clorídrico. A sílica resultante conserva a estrutura leucítica, o que fornece uma grande área superficial a este material, condição ótima para emprego industrial. Opera-se a 250°C e 30 atm.

Guimarães e Ilchenko *apud* Carvalho (1965) estudaram a extração ácida do potássio da rocha potássica de Poços de Caldas, formada essencialmente por microclínio. Não conseguiram resultados que encorajassem estudos mais aprofundados por este método.

Sabe-se que foram estudados, desde o início do século passado, processos de calcinação de silicatos de potássio com compostos de cálcio e/ou outros aditivos ( $SO_2$ , HCl,  $H_2SO_4$  etc.) para obtenção de compostos de potássio. Podem ser citadas as patentes de Bassett (1913, 1914, 1916, 1922), Anderson (1916), Beckett (1917), Andrews (1919), Ashcroft (1919), Auden (1920) e Blackmore (1920).

Variantes desse processo como são os trabalhos de Ivanov vinculados à indústria cimenteira, datam de 1958 (CARVALHO, 1965). Os testes basearam-se na calcinação de várias misturas de sienito, cloreto de cálcio e carbonato de cálcio, fazendo variar a duração e a temperatura de calcinação. Seguiu-se a lixiviação em água. Obtiveram-se taxas de recuperação de 96% do óxido de potássio. A condição ótima encontrada naquela ocasião foi a relação 1:1,5:1 para sienito, carbonato e cloreto, respectivamente, e temperatura de cerca de 700°C. O resíduo da filtração era usado diretamente na indústria cimenteira. Neste caso, a presença de cálcio junto ao potássio na solução filtrada acrescenta dificuldades para a produção de compostos puros de potássio.

Uma patente de propriedade da Lonrho Limited trata da produção de cloretos de metais alcalinos a partir de alumínio-silicatos e cloreto de magnésio e/ou cálcio. Trata-se de uma mistura de alumínio-silicato finamente dividido e de cloreto de cálcio e/ou magnésio na forma hidratada. Essa mistura é

aquecida entre 700-1050°C por um período entre 0,3 e 2 horas, para a efetiva conversão do aluminossilicato. O produto vítreo obtido é então lixiviado com água para produzir uma solução de cloretos de metais alcalinos. Potássio contido em muscovita ou microclínio pode ser completamente extraído por essa técnica. Testes com espodumênio foram realizados obtendo-se em torno de 31% de remoção de lítio Piga e Pochetti (1992) utilizaram a mesma técnica para o completo beneficiamento de leucita. A leucita proveniente de um depósito localizado próximo a Civita – Itália, que possuía um teor de  $K_2O$  médio de 18,9%, foi aquecida (180°C) na presença de  $CaCl_2$  para a completa recuperação do potássio sob a forma de KCl.

Outros testes seguindo essa mesma técnica foram utilizados em ortoclásio indiano. Um sal solúvel de potássio foi obtido por aquecimento a 900°C, por 2 horas, sob um fluxo de reagente, e a massa calcinada resultante foi lixiviada em água. O licor foi então neutralizado com ácido nítrico e evaporado. O produto final consistia em cloretos e nitratos de cálcio e potássio, que poderiam ser utilizados diretamente na indústria de fertilizantes (DASGUPTA, 1975).

Processo semelhante foi utilizado para extração de potássio de glauconita indiana. Mazunder e colaboradores (1993) misturaram glauconita pulverizada com cloreto de cálcio em cadinhos de sílica. A mistura foi aquecida em forno a 1220-1300°C e o produto obtido, lixiviado em água. Os autores sugerem que o cloreto de cálcio seria um efetivo agente cloretante para o minério em questão. De um modo geral, a percentagem de extração de potássio aumentou com a temperatura e com o tempo de calcinação. O produto obtido pode ser facilmente lixiviado em água, à temperatura ambiente, por um tempo mínimo de 10 minutos.

Rochagem de materiais que contenham minerais ricos em potássio é um caminho que está a ser pesquisado em vários países, entre os quais o Brasil, e aplicado na Índia, com a utilização de sedimentos com glauconita, mica potássica de fórmula  $(K, Na)(Al, Fe^{3+}, Mg)_2(Al, Si)_4O_{10}(OH)_2$ . Carbonatitos micáceos (flogopita, vermiculita, biotita) são as

rochas de maior interesse por conterem, além de potássio, outros macronutrientes, como o cálcio, e vários micronutrientes.

## 5. Considerações finais e síntese conclusiva

O aumento da população mundial tem mostrado uma tendência exponencial, mais acentuada a partir do século XIX. Há 10.000 anos era da ordem de 5 milhões de habitantes, de 250 milhões no início da era cristã, de 1 bilhão em torno do ano de 1850, tendo atingido os 6 bilhões em 2000 (CORDANI e TAIOLI, 2000).

No capítulo “A Terra, a Humanidade e o Desenvolvimento Sustentável” do livro “Decifrando a Terra” (TEIXEIRA *et al.*, organizadores, 2000), no item, “Globalização versus Sustentabilidade”, Umberto Cordani e Fabio Toioli consideram que o modelo econômico, baseado na globalização e na política neoliberal caminham “em direção oposta ao desenvolvimento sustentável”. A partir desta premissa concluem que:

*“qualquer modelo deverá se pautar em padrões éticos que objetivem um melhor equilíbrio nos padrões de consumo entre os povos, de forma a garantir um bem estar mínimo a toda a população, sem ultrapassar a capacidade do meio ambiente se regenerar”.*

Câmpora em 2003 já referia que o crescimento da produção agrícola fora de 85% nos últimos 35 anos, enquanto a área cultivada havia aumentado somente 8% (CÂMPORA, 2003). A alternativa que impulsionou a atividade agrícola mundial a procurar satisfazer o grande crescimento da demanda foi o aumento do rendimento de produção (cerca de 90% nos últimos 35 anos). Se isso aconteceu, deve-se, em grande parte, ao uso intensivo de fertilizantes minerais, mas, na maioria dos países, as fontes tradicionais, nomeadamente as de potássio, não são suficientes para atender essa demanda, sempre crescente, como é o caso brasileiro.

No Brasil, o consumo de potássio como fertilizante oscilou em torno de 80kg/hectare em 1999, enquanto a média na América Latina foi de 14 kg/

hectare, o que se deve em grande parte às características distintas dos seus solos. As volumosas importações provenientes de poucos países criam uma dependência econômico-política preocupante. Impõem-se assim prospectar, avaliar e desenvolver novos depósitos e definir fontes alternativas para obtenção de sais de potássio e/ou de termofosfatos potássicos.

Além da busca dos clássicos depósitos sedimentares de silvita, silvinita e carnalita, rochas ígneas alcalinas da família dos sienitos, sedimentares como os arenitos feldspáticos, ou ainda rochas enriquecidas de potássio por processos hidrotermais deveriam merecer uma atenção toda especial. Os equivalentes microcristalinos dos sienitos, os traquitos e outras rochas com minerais ricos de potássio também devem ser considerados e devidamente estudados como hipótese para aplicação direta na agricultura, como fertilizantes potássicos. Estas pesquisas, como é do nosso conhecimento, já estão sendo desenvolvidas no Brasil e em outros países.

Na natureza são numerosos os minerais com teores elevados de potássio. Conhecem-se 98 com mais de 10% de potássio e, destes, 38 têm mais de 20%, como pode ser constatado no Anexo I. Embora na sua maioria sejam minerais de fácil abertura química, não são comuns na natureza e grande parte deles são até raros. Não constituem depósitos.

Dentro dos minerais silicatados comuns, com teores elevados de potássio, as micas, pelas suas propriedades cristaló-químicas, são certamente, além dos feldspatos potássicos, os de maior interesse potencial, por serem abundantes na natureza e por estarem presentes em muitas rochas.

Sua aplicação direta como fertilizantes de liberação lenta deverá exigir, porém, estudos aprofundados de química dos solos/cinética de migração dos íons, certamente variáveis em função das características pedológicas e morfoclimáticas locais. Será necessário definir se, a médio e longo prazos, essa liberação do potássio compensa a exportação resultante da atividade agrícola intensa. A própria composição mineralógica das rochas susceptíveis de aplicação direta na agricultura poderá, ela própria, interferir

na cinética de liberação – migração – fixação, pela modificação que pode provocar no pH dos solos, por exemplo. Será o caso dos carbonatitos, rochas ricas, de carbonatos, com minerais do grupo das micas, a fonte de potássio neste caso.

Por outro lado, minerais como a biotita, ricos de ferro, poderão agravar o problema dos latossolos no que diz respeito aos seus teores em ferro.

Os estudos de materiais e rotas alternativas para a produção de fertilizantes potássicos revestem-se de grande importância para o Brasil, dadas as características dos solos, da forte dependência de importações (mais de 90% do consumo do País) e da grande distância e concentração dos países fornecedores.

É nesse sentido que a Embrapa, o Instituto de Geociências da Universidade de Brasília e outras instituições vêm desenvolvendo, com apoio financeiro oficial, estudos abrangentes, muito promissores, de aproveitamento direto de rochas ricas em potássio como fertilizantes na agricultura. Os resultados que venham a ser obtidos poderão ser de grande relevância para a agricultura brasileira.

Rotas alternativas para produção de sais de potássio utilizando rochas comuns com teores elevados de potássio, como os que estão a ser ou foram pesquisadas e desenvolvidas pelo CETEM/MCT e a COPPE/UFRJ, com obtenção de bons resultados, revestem-se igualmente de muito interesse e deveriam receber amplo apoio.

Pesquisas direcionadas à identificação de materiais alternativos de potássio para fertilizantes como as do IPT/IG-USP, visando produzir termofosfatos potássicos a partir da “rocha potássica” de Poços de Caldas e o da CVRD para o “verdete” de Minas Gerais, considerados como não tendo viabilidade econômica na época, talvez merecessem ser retomados atendendo ao aumento da demanda, ao grande desenvolvimento da indústria agropecuária brasileira e ao surgimento de novos parâmetros socioeconômicos e de novas tecnologias.

Pretendeu-se com este capítulo dar uma visão geral da importância do potássio na agricultura, de

sua escassez em todo o Hemisfério Sul e da relevância de trabalhos de pesquisa que possam indicar e definir fontes e rotas alternativas de potássio fertilizante.

Nesse sentido seria desejável, como já foi referido:

- a criação de uma entidade coordenadora das atividades de P&D composta por representantes dos ministérios da Agricultura, de Minas e Energia e de Ciência e Tecnologia, por pesquisadores e técnicos de Centros de Pesquisa, Universidade, CPRM (Serviços Geológicos), DNPM, Petrobras e ANDA que, pelo seu saber, experiência e espírito inovador pudessem contribuir, de forma efetiva, na resolução do problema da grande dependência externa de importações de potássio para fertilizantes (mais de 90% do consumo do País, como já foi dito), produto indispensável à importante, dinâmica e competitiva indústria agropecuária nacional;
- o estabelecimento de um plano de prospecção e pesquisa mineral, sistemática e abrangente, de novos depósitos, em que a Petrobras poderia desempenhar papel fundamental, como já aconteceu em relação à única mina em produção, em Sergipe, e às importantes reservas que definiu na Amazônia;
- o incentivo ao estudo de novos materiais e novos caminhos para produção de fertilizantes que se adaptem às diferentes condições solo/clima e socioeconômicas do Brasil;
- a inventariação sistemática e a definição geológico-geoquímica de ocorrências de rochas e minerais que pudessem vir a constituir fontes alternativas, tanto para a produção de sais de potássio para fertilizantes, como de materiais para utilização direta na agricultura ou ainda para produção de termofosfato potássico, produto de solubilização lenta, não fabricado no Brasil, que poderia ser uma boa opção nas condições climático-pedológicas prevalentes no País.

Como afirma Celso Furtado (1999):

*“São muitas as motivações de um pesquisador. Mas o fundamental é ter confiança na própria imagina-*

*ção e saber usá-la. Essa confiança significa a percepção de que se pode intuir uma realidade da qual se conhece apenas um aspecto.../ O valor do trabalho do pesquisador traduz, portanto, a combinação de dois ingredientes: imaginação e coragem para arriscar na busca do incerto”.*

## Referências Bibliográficas

- ALBUQUERQUE, G. 2000. Contribuição à Implantação de um Novo Polo de Fertilizantes no Nordeste do Brasil, Tese de Doutorado, EP/USP.
- ANDA. 2000. Anuário Estatístico Setor de Fertilizantes, ANDA, São Paulo.
- ANDA. 2007. Anuário Estatístico Setor de Fertilizantes, ANDA, São Paulo.
- ANDERSON, E.L. 1916. Method of producing certain commercial products from potash feldspar, Patente US1174795.
- ANDREWS, A. B. 1919. Method of extracting potash and the like, Patente US1296035.
- ARMELIN, W. 1999. Current situation and prospects for potash use in Brazil, Manah S/A, Disponível em: [www.fertilizer.org](http://www.fertilizer.org). Acesso em: 26/10/2003.
- ASHCROFT, E. A. 1919, Extraction and recovery of potassium or potassium salts from potassium-bearing materials, Patente US1320193.
- AUDEN, A. C. 1920. Method of extracting potassium salts from potassium-bearing minerals, Patente US1334940.
- BALTAR, C. A. M.; MONTE, M. B. M.; ANDRADE, M. C. et. al. 2001. Cloreto de Potássio-CVRD/Mina de Taquari. In: SAMPAIO, J. A.; da LUZ, A. B.; LINS, F. F. (eds), Usinas de Beneficiamento de Minérios do Brasil, 1ªed., Rio de Janeiro, RJ, Brasil, CETEM.
- BARTHELMY, D. Mineralogy Database, disponível em: [www.webmineral.com](http://www.webmineral.com), Acesso em: 12//04/2003.
- BASSETT, H. P. 1913. Process of obtaining potash salts from feldspar, Patente US1072686.
- BASSETT, H. P. 1914. Process of obtaining potash from feldspar, Patente US1091034.

- BASSETT, H. P. 1916. Process of producing a potassium salt from insoluble silicates, Patente US1194464.
- BASSETT, H. P. 1922. Process of producing alumina and potash, Patente US1404083.
- BECKETT, J. S. 1917. Recovery of alkali, Patente US1247619.
- BETEJTIN, A. 1977. Curso de Mineralogia, 3ªed., Editorial Mir, Moscou, 737p.
- BLACKMORE, H.S. 1920. Process of securing water-soluble alkali-metal compounds from water-insoluble substances, Patente US1357025.
- CAMPÓRA, A. 2003. Situación del potasio en el mundo y sus perspectivas, In: NIELSON, H., SARUDIANSKY, R., Fertilizantes Y Enmiendas de origen mineral, Buenos Aires, Argentina, 283p.
- CANADIAN POTASH PRODUCERS. 2001. Natural Resources Canada, Disponível em: <www.nrcan.gc.ca/mms/efab/mmsd/minerals/potash.htm, Acesso em: 29/07/2001.
- CARVALHO, L.F.A. 1965. Rochas alcalinas como matéria-prima para indústria de sais solúveis de potássio, Boletim número 43, DNPM.
- CONTI, M. E. Dinâmica de la liberación y fijación de potasio en el suelo, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina, disponível em: www.ppi.org. Acesso em: 17/07/2002.
- CORDANI, U. e TAIOLI, F. 2000. A Terra, a Humanidade e o Desenvolvimento Sustentável, In: "Decifrando a Terra", p.517-528, São Paulo: Oficina de Textos, 2000.
- CVRD. 2003. Cloreto de Potássio, Companhia Vale do Rio Doce, Disponível em: www.cvrd.com, acesso em: 20/09/2003.
- DASGUPTA, A. 1975. "Fertilizer & Cement From Indian Orthoclase", Indian Journal of Technology, v.13, pp.359-361.
- DE LA ROSA, J. 2003. Diferenciación geoquímica de SS y Tierra, Departamento de Geoquímica, Universidade de Huelva, Disponível em: www.uhu.es, acesso em: 26/10/2003.
- DYSON, P. 1979. Production of Alkalis Metal Chlorides, Patente EP0003429B1.
- DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral, Sumário Mineral, 1998 - 2007.
- DOROKHINE, I. *et al.* 1967. Gisements de Minéraux Utiles et leur Prospection, Moscou.
- EMBRAPA, Embrapa-Trigo: Triticale, disponível em: www.cnpt.embrapa.br/i\_triti.htm. Acesso em: 01/10/2003.
- Extracting potassium from potash feldspar, patente CN1261601-A.
- FERREIRA, Gilson. CETEM – Relatório Interno, 2001.
- FURTADO, C. 1999. Capitalismo Global, Paz e Terra, 83p.
- GREENWELL, B. 1999. Canadian Minerals Yearbook-General review, disponível em: www.nrcan.gc.ca/mms/cmy/content/1999/01.pdf. Acesso em: 29/07/2001.
- GUARDANI, R. 1990. Fertilizantes potássicos, Tecnologia de Produção de Fertilizantes, IPT. www.ri.ac.uk/History/H.Davy 29/07/2001.
- IPT, Termofosfato Potássico, Minas e Geologia Aplicada.
- IPT, Tecnologia de Produção de fertilizantes, 2000.
- Korndörfer G.H. 2003. Apostila Potássio, Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Disponível em: www.dpv24.iciag.ufu.br/new/dpv24/Apostilas/Transp.%20POTASSIO%20-%20Apostila%2006.pdf. Acesso em: 15/08/2003.
- KRAUSS, A. Balanced fertilization integral part of sustainable soil management, Expo 2000, Science in Dialogue, [www.ipipotash.org], 14 p., Hanover, Alemanha, 15 de agosto de 2000.
- KORDÖFER, G. H. 2003 - Apostila Potássio. Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia.
- KRAUSS, A. Demographic development and its implication for fertilizer use, AFA 7th International Annual Conference, [www.ipipotash.org], 14 p. Cairo, Egito, jan/fev de 2001.

- KRAUSS, A. Potassium, integral part for sustained soil fertility, Regional IPI Workshop on Potassium and Phosphorus, [www.ipipotash.org], 16 p., Lituânia, outubro de 2000.
- KRAUSS, A. Quality production at balanced fertilization: the key for competitive marketing of crops, 12th CIRC International Symposium on role of fertilizers in sustainable agriculture, [www.ipipotash.org], 16 p., Suceava, Romênia, 21/22 de agosto de 2000.
- LEITE, P. C. 1985. Efeitos de Tratamentos Térmicos em Misturas de Verdete de Abaeté, Fosfato de Araxá e Calcáreo Magnesiano, Tese de M.Sc., UFLA, Lavras, SP, Brasil.
- LIDE, D. R. (Editor Chefe). 1994. Handbook of chemistry and physics – 75th Edition.
- LOPES, A. S. 2002. Fertilizantes, Produção de Alimentos e Preservação Ambiental, In: NIELSON, H., SARUDIANSKY, R., Fertilizantes Y Enmiendas de origen mineral, 2003, Buenos Aires, Argentina, 283p.
- MASON, B. H. Princípios de Geoquímica, Editora Polígono, 1971, São Paulo.
- MAZUNDER, A.K.; SHARMA, T.; RAO, T.C. 1993. Extraction of potassium from glauconitic sandstone by the roast-leach method, International Journal of Mineral Processing, vol 38, pp. 111-123.
- MMSD, 2002 – Minerals and Mining Statistics Division, Potash Case Study, International Institute for Environment and Development, disponível em: www.nrcan.gc.ca. Acesso em: 29/07/2003.
- PERONI, R. 2003, Mineralogia: Estudo dos Minerais, Departamento de Engenharia de Minas, UFRGS, Disponível em: www.lapes.ufrgs.br/demin/discipl\_grad/geologia1/apostilas/5mineralogia\_2003.pdf. Acesso em: 10/10/2003.
- PIGA, L.; POCHETTI, F. 1992. Complete beneficiation of leucite by thermal treatment, International Journal of Mineral Processing, 34, 275-287.
- PONTE e ASMUS. 1976. In: GLOSSÁRIO DE TERMOS GEOLÓGICOS. Disponível em: www.agp.org.br/glossario-d.html. Acesso em 14/03/2003.
- POTAFOS, 1996, Nutrifatos-Informação agrônômica sobre nutrientes para as culturas, Arquivo do agrônomo n.10.
- POTAFOS. 2002. Disponível em: www.ppi-ppic.org, Acesso em: 21/04/2002.
- Production of alkali metal chlorides, patente EP 0003429B1.
- RAMOS, D. 2002. Governo: Petrobras e Vale se somam por Sergipe, Secretaria de Comunicação Social, Governo de Sergipe, www.agencia.se.gov.br/HomePages/asn.nsf/o/
- XAVIER, R. P. 2001 - Uma proposta de ensino apoiada na história das ciências. UNICAMP.
- SHRANK, A. Estrutura cristalina de silicatos [www.ige.unicamp.br/aulas].

## Notas

- 1 M = K, Na, Ca, Ba, Rb, Sr, Fe
- 2  $y < 2$  e freqüentemente compreendido entre 1 e 1,5
- 3 A = Ca, Na, Mg ou  $Fe^{2+}$ ; B = Mg,  $Fe^{3+}$  ou Al
- 4 ETR = Elementos de Terras-Raras
- 5 Nesse caso, ácido significa que um mineral ou rocha é rico de silício e não que tem um pH ácido.
- 6 Minerais polimorfos são aqueles que têm essencialmente a mesma composição química, mas estruturas cristalinas diferentes.

## Anexo I

K%	NOME	FÓRMULA QUÍMICA	PESO MOLEC.
67.30%	Carobbiita	KF	58.10
52.45%	Silvita	KCl	74.55
44.87%	Arcanita	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	174.26
40.27%	Tarapacaíta	K <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	194.19
39.05%	Klicinitaa	KHCO <sub>3</sub>	100.12
38.67%	Nitro	KNO <sub>3</sub>	101.10
37.03%	Kafehydrocyanita	K <sub>4</sub> Fe <sup>++</sup> (CN) <sub>6</sub> ·3(H <sub>2</sub> O)	422.39
36.88%	Chlormanganokalita	K <sub>4</sub> MnCl <sub>6</sub>	424.05
35.50%	Hieratita	K <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub>	220.27
32.82%	Butschliita	K <sub>2</sub> Ca(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	238.29
32.82%	Fairchildita	K <sub>2</sub> Ca(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	238.29
32.29%	Elpasolita	K <sub>2</sub> NaAlF <sub>6</sub>	242.16
31.55%	Misenita	K <sub>8</sub> H <sub>8</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>7</sub>	991.28
28.71%	Mercallita	KHSO <sub>4</sub>	136.17
28.69%	Rinneita	K <sub>3</sub> NaFe <sup>++</sup> Cl <sub>5</sub>	408.85
27.46%	Aphthitalita	(K,Na) <sub>3</sub> Na(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	320.33
26.76%	Pyrophosphita	K <sub>2</sub> CaP <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	292.22
26.58%	Lopezita	K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	294.18
26.55%	Baylissita	K <sub>2</sub> Mg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·4(H <sub>2</sub> O)	294.58
25.90%	Arnhemita	(K,Na) <sub>4</sub> Mg <sub>2</sub> (P <sub>2</sub> O <sub>7</sub> )·5(H <sub>2</sub> O)	452.91
25.33%	Chlorothionita	K <sub>2</sub> Cu(SO <sub>4</sub> )Cl <sub>2</sub>	308.71
25.07%	Douglasita	K <sub>2</sub> Fe <sup>++</sup> Cl <sub>4</sub> ·2(H <sub>2</sub> O)	311.88
24.82%	Kalborsita	K <sub>6</sub> Al <sub>4</sub> Si <sub>6</sub> BO <sub>20</sub> (OH) <sub>4</sub> Cl	945.31
24.72%	Kaliophilita	KAlSiO <sub>4</sub>	158.16
24.72%	Kalsilita	KAlSiO <sub>4</sub>	158.16
24.47%	Mitscherlichita	K <sub>2</sub> CuCl <sub>4</sub> ·2(H <sub>2</sub> O)	319.58
23.88%	Minguzzita	K <sub>3</sub> Fe <sup>+++</sup> (C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ·3(H <sub>2</sub> O)	491.25
23.81%	Lithosita	K <sub>6</sub> Al <sub>4</sub> Si <sub>8</sub> O <sub>25</sub> ·(H <sub>2</sub> O)	985.20
23.81%	Syngenita	K <sub>2</sub> Ca(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·(H <sub>2</sub> O)	328.42
23.74%	Erythrosiderita	K <sub>2</sub> Fe <sup>+++</sup> Cl <sub>5</sub> ·(H <sub>2</sub> O)	329.32
23.16%	Khibinskita	K <sub>2</sub> ZrSi <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	337.59
22.42%	Archerita	(K,NH <sub>4</sub> )H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	130.82
21.85%	Kalistrontita	K <sub>2</sub> Sr(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	357.94
21.32%	Leonita	K <sub>2</sub> Mg(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·4(H <sub>2</sub> O)	366.69
21.07%	Chlorocalcita	KCaCl <sub>3</sub>	185.53
20.39%	Gregoryita	(Na <sub>2</sub> ,K <sub>2</sub> ,Ca)CO <sub>3</sub>	115.06
20.04%	Pyrocoproita	(Mg(K,Na)) <sub>2</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	292.70
20.02%	Ponomarevita	K <sub>4</sub> Cu <sup>++</sup> <sub>4</sub> OCl <sub>10</sub>	781.10
19.66%	Wadeita	K <sub>2</sub> ZrSi <sub>3</sub> O <sub>9</sub>	397.67
19.64%	Mereiterita	K <sub>2</sub> Fe <sup>++</sup> (SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·4(H <sub>2</sub> O)	398.23
19.63%	Avogadrita	(K,Cs)BF <sub>4</sub>	149.35
19.54%	Altisita	Na <sub>3</sub> K <sub>6</sub> Ti <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> Si <sub>8</sub> O <sub>26</sub> Cl <sub>3</sub>	1,200.31
19.42%	Picromerita	K <sub>2</sub> Mg(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·6(H <sub>2</sub> O)	402.72
19.35%	IMA2000-008	KBSi <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	202.08
19.28%	Grimselita	K <sub>3</sub> Na(UO <sub>2</sub> )(CO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> ·(H <sub>2</sub> O)	608.36
19.02%	Panunzita	(K,Na)AlSiO <sub>4</sub>	154.14
19.02%	Trialsilita	(K,Na)AlSiO <sub>4</sub>	154.14
18.91%	Piypita	K <sub>2</sub> Cu <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> O	413.42
18.84%	Langbeinita	K <sub>2</sub> Mg <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	415.00
18.81%	Kostylevita	K <sub>2</sub> ZrSi <sub>3</sub> O <sub>9</sub> ·(H <sub>2</sub> O)	415.69
18.30%	Pseudocotunnita	K <sub>2</sub> PbCl <sub>4</sub>	427.21
17.91%	Leucita	KAlSi <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	218.25
17.69%	Cyanochroita	K <sub>2</sub> Cu(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·6(H <sub>2</sub> O)	441.96

K%	NOME	FÓRMULA QUÍMICA	PESO MOLEC.
17.26%	Murunskita	$K_2Cu_3FeS_4$	452.95
16.42%	Manganolangbeinita	$K_2Mn_2(SO_4)_3$	476.26
15.83%	Rasvumita	$KFe_2S_3$	246.99
15.70%	Kainita	$MgSO_4 \cdot KCl \cdot 3(H_2O)$	248.97
15.62%	Alumoklyuchevskita	$K_3Cu_3AlO_2(SO_4)_4$	751.17
15.32%	Klyuchevskita	$K_3Cu_3(Fe^{+++}, Al)O_2(SO_4)_4$	765.60
15.04%	Klyuchevskita-Duplicata	$K_3Cu_3Fe^{+++}O_2(SO_4)_4$	780.03
14.78%	IMA1998-069	$K_2MnV_4O_{12}$	528.89
14.63%	Davanita	$K_2TiSi_6O_{15}$	534.58
14.46%	Paraumbita	$K_3Zr_2HSi_6O_{18} \cdot n(H_2O) n=3to7$	811.30
14.07%	Carnallita	$KMgCl_3 \cdot 6(H_2O)$	277.85
14.05%	Microclina	$KAlSi_3O_8$	278.33
14.05%	Orthoclásio	$KAlSi_3O_8$	278.33
13.82%	Montesommaita	$(K, Na)_9Al_9Si_{23}O_{64} \cdot 10(H_2O)$	2,433.32
13.62%	Yavapaiita	$KFe^{+++}(SO_4)_2$	287.07
13.53%	Dalyita	$K_2ZrSi_6O_{15}$	577.92
13.33%	Santita	$KB_3O_6(OH)_4 \cdot 2(H_2O)$	293.20
13.24%	Tiettaita	$(Na, K)_{17}Fe^{+++}TiSi_{16}O_{29}(OH)_{30} \cdot 2(H_2O)$	2,066.91
13.10%	Lemleinita	$NaK_2(Ti, Nb)_2Si_4O_{12}(OH)_2 \cdot 2(H_2O)$	596.73
12.97%	Polyhalita	$K_2Ca_2Mg(SO_4)_4 \cdot 2(H_2O)$	602.94
12.82%	Krausita	$KFe^{+++}(SO_4)_2 \cdot (H_2O)$	305.09
12.49%	Palmierita	$(K, Na)_2Pb(SO_4)_2$	469.47
12.18%	Leightonita	$K_2Ca_2Cu(SO_4)_4 \cdot 2(H_2O)$	642.18
11.99%	Shcherbakovita	$(K, Na, Ba)_3(Ti, Nb)_2Si_4O_{14}$	586.87
11.63%	Tinsleyita	$KAl_2(PO_4)_2(OH) \cdot 2(H_2O)$	336.04
11.47%	Ershovita	$Na_4K_3(Fe^{++}, Mn^{++}, Ti)_2Si_8O_{20}(OH)_4 \cdot 5(H_2O)$	1,022.20
11.46%	Gwihabaita	$(NH_4, K)(NO_3)$	85.31
11.34%	Umbita	$K_2ZrSi_3O_9 \cdot (H_2O)$	689.36
11.32%	Amicita	$K_2Na_2Al_4Si_4O_{16} \cdot 5(H_2O)$	690.51
10.95%	Fedotovita	$K_2Cu^{++}O(SO_4)_3$ or $(K, Na)_2(Cu, Zn, Pb)_3S_3O_{13}$	642.55
10.89%	Goldichita	$KFe^{+++}(SO_4)_2 \cdot 4(H_2O)$	359.13
10.69%	Charoita	$K_5Ca_8(Si_6O_{15})_2(Si_2O_7)_2Si_4O_9(OH) \cdot 3(H_2O)$	1,828.68
10.69%	Sanidina	$(K, Na)(Si, Al)_4O_8$	274.30
10.50%	Trilithionita	$KLi_{1.5}Al_{1.5}AlSi_3O_{10}F_2$	372.23
10.49%	Minyulita	$KAl_2(PO_4)_2(OH, F) \cdot 4(H_2O)$	372.57
10.43%	Bartonita	$K_3Fe_3S_{14}$	1,124.69
10.40%	Tinaksita	$K_2Na(Ca, Mn^{++})_2(Ti, Fe)O[Si_7O_{18}(OH)]$	751.73
10.33%	Perlialita	$K_8Ti_4Al_{12}Si_{24}O_{72} \cdot 20(H_2O)$	3,027.26
10.33%	Humberstonita	$K_3Na_3Mg_2(SO_4)_6(NO_3)_2 \cdot 6(H_2O)$	1,135.32
10.31%	Tokkoita	$K_2Ca_4[Si_4O_{18}(OH)](F, OH)$	758.60
10.20%	Boromuscovita	$KAl_2(Si_3B)O_{10}(OH, F)_2$	383.13
10.07%	Lepidolita	$K(Li, Al)_3(Si, Al)_4O_{10}(F, OH)_2$	388.30
10.06%	Ungemachita	$K_3Na_8Fe^{+++}(SO_4)_6(NO_3)_2 \cdot 6(H_2O)$	1,165.54
10.04%	Manaksita	$KNaMn^{++}Si_4O_{10}$	389.36
10.03%	Clinoungemachita	$K_3Na_3Fe^{+++}(SO_4)_6(OH)_3 \cdot 9(H_2O)$	1,169.59
9.95%	Polyolithionita	$KLi_2AlSi_4O_{10}(F, OH)_2$	393.12
9.93%	Leucophosphita	$KFe^{+++}_2(PO_4)_2(OH) \cdot 2(H_2O)$	393.77
9.82%	Litidionita	$KNaCuSi_4O_{10}$	397.97
9.81%	Muscovita	$KAl_2(Si_3Al)O_{10}(OH, F)_2$	398.51
9.77%	Fe-aluminoceladonita	$K_2Fe^{++}2Al_2Si_8O_{20}(OH)_4$	800.71
9.74%	Ferroceladonita	$K_2Fe^{++}Fe^{+++}Si_8O_{20}(OH)_4$	802.59

K %	NOME	FÓRMULA QUÍMICA	PESO MOLEC.
9.72%	Masutomilita	$K(Li,Al,Mn^{++})_3[(Si,Al)_4O_{10}](F,OH)_2$	402.17
9.71%	Hyalophana	$(K,Ba)Al(Si,Al)_3O_8$	302.06
9.68%	Cetineita	$(K,Na)_{3-x}(Sb_2O_3)_3(Sb_2S_3)(OH)_x \cdot (2.8-x)(H_2O)$	726.98
9.66%	Aluminoceledonita	$KAl(Mg,Fe^{++})[Si_4O_{10}(OH)_2]$	404.62
9.65%	Taeniolita	$KLiMg_2Si_4O_{10}F_2$	404.98
9.65%	Tainiolita	$KLiMg_2Si_4O_{10}F_2$	404.98
9.60%	IMA2000-048	$K_6Fe_{24}S_{26}(Cl,S)$	2,443.24
9.51%	Roscoelita	$K(V,Al,Mg)_2AlSi_3O_{10}(OH)_2$	411.01
9.44%	Alunita	$KAl_3(SO_4)_2(OH)_6$	414.21
9.43%	Tiptopita	$K_2(Na,Ca)_2Li_3Be_6(PO_4)_6(OH)_2 \cdot (H_2O)$	829.47
9.38%	Djerfisherita	$K_6Na(Fe,Cu,Ni)_{25}S_{26}Cl$	2,500.72
9.36%	Georgechaoita	$KNaZrSi_3O_9 \cdot 2(H_2O)$	417.59
9.34%	Eastonita	$KMg_2Al[Al_2Si_2O_{10}](OH)_2$	418.83
9.33%	Phlogopita	$KMg_3(Si_3Al)O_{10}(F,OH)_2$	419.25
9.27%	Chromceledonita	$KCrMg(Si_4O_{10})(OH)_2$	421.75
9.13%	Vuoriyarvita	$(K,Na)_2(Nb,Ti)_2Si_4O_{12}(O,OH)_2 \cdot 4(H_2O)$	642.34
9.11%	Cela donita	$K(Mg,Fe^{++})(Fe^{++},Al)[Si_4O_{10}](OH)_2$	429.02
9.11%	Boltwoodita	$HK(UO_2)(SiO_4) \cdot 1.5(H_2O)$	429.24
9.05%	Frankamenita	$K_3Na_3Ca_5(Si_{12}O_{30})[F,(OH)]_4 \cdot (H_2O)$	1,295.68
9.02%	Biotita	$K(Mg,Fe^{++})_3[AlSi_3O_{10}(OH,F)_2]$	433.53
8.96%	Gorgeyita	$K_2Ca_5(SO_4)_6 \cdot (H_2O)$	872.98
8.94%	Zinnwaldita	$KLiFe^{++}Al(AlSi_3)O_{10}(F,OH)_2$	437.10
8.76%	Tetra-ferriphlogopita	$KMg_3Fe^{+++}Si_3O_{10}(OH)_2$	446.13
8.74%	Taranakita	$K_3Al_5(HPO_4)_6(PO_4)_2 \cdot 18(H_2O)$	1,342.30
8.67%	Carnotita	$K_2(UO_2)_2V_2O_8 \cdot 3(H_2O)$	902.18
8.57%	Kalinita	$KAl(SO_4)_2 \cdot 11(H_2O)$	456.38
8.53%	Ankoleita	$K_2(UO_2)_2(PO_4)_2 \cdot 6(H_2O)$	916.29
8.53%	Meta-ankoleita	$K_2(UO_2)_2(PO_4)_2 \cdot 6(H_2O)$	916.29
8.50%	Norrishita	$K(Mn^{+++}Li)Si_4O_{12}$	460.25
8.48%	Denisovita	$(K,Na)Ca_2Si_3O_8(F,OH)$	345.98
8.26%	Kamchatkita	$KCu^{++}_3OCl(SO_4)_2$	473.32
8.24%	Potassium-alum	$KAl(SO_4)_2 \cdot 12(H_2O)$	474.39
8.13%	Biphosphamita	$(NH_4,K)H_2PO_4$	120.29
8.06%	Siderophyllita	$KFe^{++}_2Al(Al_2Si_2)O_{10}(F,OH)_2$	484.90
8.00%	Iquiqueita	$K_3Na_4Mg(Cr^{++++}O_4)B_{24}O_{39}(OH) \cdot 12(H_2O)$	1,466.16
7.81%	Jarosita	$KFe^{+++}_3(SO_4)_2(OH)_6$	500.81
7.72%	Kosnrita	$KZr^{+++}_2(PO_4)_3$	506.46
7.67%	Ferri-annita	$K(Fe^{++},Mg)_3(Fe^{+++},Al)Si_3O_{10}(OH)_2$	509.88
7.62%	Annita	$KFe^{++}_3AlSi_3O_{10}(OH,F)_2$	512.88
7.58%	IMA1999-048	$KFe^{++}_3AlSi_3O_{10}F_2$	515.87
7.52%	Abernathyita	$K(UO_2)(AsO_4) \cdot 4(H_2O)$	520.11
7.47%	Olmsteadita	$KFe^{++}_2(Nb,Ta)(PO_4)_2O_2 \cdot 2(H_2O)$	523.68
7.43%	Willhendersonita	$KCaAl_3Si_3O_{12} \cdot 5(H_2O)$	526.45
7.36%	Pitiglianoita	$Na_6K_2Si_6Al_6O_{24}(SO_4)_2 \cdot 2(H_2O)$	1,062.62
7.32%	Johnwalkita	$K(Mn^{++},Fe^{+++},Fe^{++})_2(Nb,Ta)(PO_4)_2O_2((H_2O),OH)_2$	480.93
7.31%	Jeppeita	$(K,Ba)_2(Ti,Fe^{+++})_6O_{13}$	641.51
7.29%	Shibkovita	$K(Ca,Mn,Na)_2(K_{2-x},[x])_2ZnSi_{12}O_{30}(x \sim 0.8)$	1,180.17
7.26%	Niobophyllita	$(K,Na)_3(Fe^{++},Mn)_6(Nb,Ti)_2[Si_6O_{24}](O,OH,F)$	1,345.90
7.24%	Shafranovskita	$(Na,K)_6(Mn^{++},Fe^{+++})_3Si_3O_{24} \cdot 6(H_2O)$	1,080.50
7.23%	Tetra-ferri-annita	$KFe^{++}_3Fe^{+++}Si_3O_{10}(OH)_2$	540.75
7.14%	Metavoltina	$K_4Na_4(Fe^{++},Zn)Fe^{+++}_6(SO_4)_{12}O_2 \cdot 20(H_2O)$	2,189.12

K%	NOME	FÓRMULA QUÍMICA	PESO MOLEC.
7.13%	Hendricksita	$K(Zn,Mg,Mn)_3Si_3AlO_{10}(OH)_2$	493.25
7.12%	Weeksita	$K_2(UO_2)_2Si_6O_{15}\cdot 4(H_2O)$	1,098.82
7.06%	Chromphyllita	$(K,Ba)(Cr,Al)_2[AlSi_3O_{10}](OH,F)_2$	415.64
7.02%	Euchlorina	$KNaCu^{++}_3(SO_4)_3O$	556.92
6.91%	Davyna	$Na_4K_2Ca_2Si_6Al_6O_{24}(SO_4)Cl_2$	1,131.67
6.78%	Zippeita	$K_4(UO_2)_6(SO_4)_3(OH)_{10}\cdot 4(H_2O)$	2,306.88
6.70%	Astrophyllita	$(K,Na)_3(Fe^{++},Mn)_7Ti_2Si_8O_{24}(O,OH)_7$	1,312.74
6.69%	Nephelina	$(Na,K)AlSiO_4$	146.08
6.65%	Fenaksita	$(K,Na,Ca)(Fe^{++},Fe^{+++},Mn)_2Si_8O_{20}(OH,F)$	1,058.91
6.62%	IMA1998-050	$Na_4K_4[Ba_2(H_2O,OH)_2]Mg[Ti_8(Si_4O_{12})_4(O,OH)_8]\cdot 8H_2O$	2,361.35
6.60%	Kupletsita	$(K,Na)_3(Mn,Fe^{++})(Ti,Nb)_2Si_8O_{24}(O,OH)_7$	1,333.33
6.57%	Kremersita	$(NH_4,K)_2Fe^{+++}Cl_5\cdot (H_2O)$	297.73
6.54%	Labuntzovita	$Na_4K_4[Ba_2(H_2O,OH)_2]Fe[Ti_8(Si_4O_{12})_4(O,OH)_8]\cdot 8H_2O$	2,392.90
6.53%	Fuenzalidaita	$K_6(Na,K)_4Na_6Mg_{10}(SO_4)_{12}(IO_3)_{12}\cdot 12(H_2O)$	4,191.42
6.50%	IMA1998-052	$Na_2K_2Ba_{14}Ti_6(Si_4O_{12})_2(O,OH)_4\cdot 5H_2O$	1,203.04
6.36%	Bystrita	$(Na,K)_7Ca(Si_6Al_6)O_{24}S_5\cdot 5(H_2O)$	1,106.92
6.32%	Volkovskita	$KCa_4[B_5O_9(OH)_4][B(OH)_3]Cl\cdot 4(H_2O)$	618.83
6.27%	Giuseppettita	$(Na,K,Ca)_{7,8}(Si,Al)_{12}O_{24}(SO_4Cl)_{1,2}$	1,121.57
6.25%	Merlinoita	$(K,Ca,Na,Ba)_7Si_{23}Al_9O_{64}\cdot 23(H_2O)$	2,625.60
6.22%	Canasita	$(Na,K)_6Ca_5Si_{12}O_{30}(OH,F)_4$	1,257.57
6.13%	Gobbinsita	$(Na_2Ca)_2K_2Al_6Si_{10}O_{32}\cdot 12(H_2O)$	1,339.93
6.10%	Kalifersita	$(K,Na)_5Fe^{+++}_7Si_{20}O_{50}(OH)_6\cdot 12(H_2O)$	2,242.17
6.07%	Kuzmenkoita	$(K,Na)_2(Mn,Fe)(Ti,Nb)_4[Si_4O_{12,2}(OH)_4]\cdot 5(H_2O)$	1,095.05
6.06%	Franzinita	$[(Na,K)_{30}Ca_{10}][Si_{30}Al_{30}O_{120}](SO_4)_{10}\cdot 2(H_2O)$	5,804.06
6.05%	Phillipsita	$(K,Na,Ca)_{1,2}(Si,Al)_8O_{16}\cdot 6(H_2O)$	645.77
6.03%	Illita	$(K,H_3O)(Al,Mg,Fe)_2(Si,Al)_4O_{10}[(OH)_2(H_2O)]$	389.34
5.96%	Labuntsovita	$(K,Ba,Na)_8(Ti,Nb)_9[(Si,Al)_4O_{12,4}](O,OH)_{10}\cdot n(H_2O)$	2,231.80
5.95%	Montdorita	$(K,Na)(Fe^{++},Mn^{++},Mg)_2\cdot 5[Si_4O_{10}](F,OH)_2$	493.04
5.94%	Sitinakita	$Na_2K(Ti,Nb)_4O_4(SiO_4)_2(O,OH)\cdot 4(H_2O)$	658.10
5.91%	Latiumita	$(Ca,K)_8(Al,Mg,Fe)(Si,Al)_{10}O_{25}(SO_4)$	1,124.01
5.80%	Selwynita	$NaK(Be,Al)Zr_2(PO_4)_4\cdot 2(H_2O)$	673.96
5.76%	Carlosruizita	$K_6(Na,K)_4Na_6Mg_{10}(Se^{++++}O_4)_{12}(IO_3)_{12}\cdot 12(H_2O)$	4,754.15
5.72%	Odintsovita	$K_2Na_4Ca_3Ti_2Be_4Si_{12}O_{38}$	1,367.20
5.70%	Hummerita	$KMgV^{++++}O_{14}\cdot 8(H_2O)$	686.22
5.68%	Niobokupletsita	$K_2Na(Mn,Zn,Fe)_7(Nb,Zr,Ti)_2Si_8O_{26}(OH)_4(O,F)$	1,377.37
5.65%	Lovdarita	$K_2Na_6Be_4Si_{14}O_{36}\cdot 9(H_2O)$	1,383.50
5.59%	Sogdianita	$(K,Na)_2(Li,Fe^{++},Al)_3ZrSi_{12}O_{30}$	1,049.22
5.54%	Farmacosiderita	$KFe^{+++}_4(AsO_4)_3(OH)_4\cdot 6\cdot 7(H_2O)$	705.84
5.49%	Glauconita	$(K,Na)(Fe^{+++},Al,Mg)_2(Si,Al)_4O_{10}(OH)_2$	426.93
5.48%	Lecontita	$(NH_4,K)Na(SO_4)\cdot 2(H_2O)$	178.39
5.46%	Kaliborita	$KHMg_2B_{12}O_{16}(OH)_{10}\cdot 4(H_2O)$	716.56
5.35%	Monsmedita	$H_8K_2Ti_2(SO_4)_6\cdot 11(H_2O)$	1,461.70
5.32%	Criptomelana	$K(Mn^{++++},Mn^{++})_8O_{16}$	734.59
5.32%	Dusmatovita	$K(K,Na,[ ])(Mn^{++},Y,Zr)_2(Zn,Li)_3Si_{12}O_{30}$	1,176.31
5.22%	Alumofarmacosiderita	$KAl_4(AsO_4)_3(OH)_4\cdot 6\cdot 5(H_2O)$	748.91
5.20%	Merrihueita	$(K,Na)_2(Fe^{++},Mg)_5Si_{12}O_{30}$	1,126.96
5.19%	Tounkita	$(Na,Ca,K)_8Al_6Si_6O_{24}(SO_4)_2Cl\cdot (H_2O)$	1,204.49
5.17%	Hidrodelhayelita	$KCa_2AlSi_7O_{17}(OH)_2\cdot 6(H_2O)$	756.93
5.16%	Rastsvetalvita	$Na_{27}K_8Ca_{12}Fe_3Zr_6Si_{52}O_{144}(O,OH,H_2O)_6Cl_2$	6,063.62
5.13%	Ashcroftina-(Y)	$K_5Na_5(Y,Ca)_{12}Si_{28}O_{70}(OH)_2(CO_3)_{3,8}\cdot 8(H_2O)$	3,810.20
5.12%	Yuksporita	$(K,Ba)(Na,Sr)Ca_2(Si,Ti)_4O_{11}(F,OH)\cdot n(H_2O)$	535.04
5.00%	Lourenswalsita	$(K,Ba)_2(Ti,Mg,Ca,Fe)_4(Si,Al,Fe)_6O_{14}(OH)_{12}$	937.50
4.96%	Quadridavyna	$(Na,K)_6Ca_2Al_6Si_6O_{24}Cl_4$	1,103.19

K %	NOME	FÓRMULA QUÍMICA	PESO MOLEC.
4.92%	Priderita	(K,Ba)(Ti,Fe <sup>+++</sup> )O <sub>16</sub>	715.42
4.83%	Ammonioleucita	(NH <sub>4</sub> ,K)AlSi <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	202.45
4.78%	Mountainita	(Ca,Na <sub>2</sub> ,K) <sub>2</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> ·3(H <sub>2</sub> O)	409.00
4.77%	Paulingita	(K <sub>2</sub> ,Ca,Na <sub>2</sub> ,Ba) <sub>5</sub> Al <sub>10</sub> Si <sub>35</sub> O <sub>90</sub> ·45(H <sub>2</sub> O)	1,804.02
4.73%	Phillipsita-K	(K,Na,Ca) <sub>1-2</sub> (Si,Al) <sub>8</sub> O <sub>16</sub> ·6(H <sub>2</sub> O)	661.10
4.72%	Francoanellita	H <sub>6</sub> (K,Na) <sub>3</sub> (Al,Fe <sup>+++</sup> ) <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>8</sub> ·13(H <sub>2</sub> O)	1,242.49
4.68%	Sacrofanita	(Na,Ca,K) <sub>9</sub> Si <sub>6</sub> Al <sub>6</sub> O <sub>24</sub> [(OH),(SO <sub>4</sub> ),(CO <sub>3</sub> ,Cl)] <sub>4</sub> ·n(H <sub>2</sub> O)	1,168.52
4.67%	Zircophyllita	(K,Na,Ca) <sub>3</sub> (Mn,Fe <sup>++</sup> ) <sub>7</sub> (Zr,Nb) <sub>2</sub> Si <sub>8</sub> O <sub>27</sub> (OH,F) <sub>4</sub>	1,423.34
4.66%	Satimolita	KNa <sub>2</sub> Al <sub>4</sub> (B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> Cl <sub>3</sub> ·13(H <sub>2</sub> O)	838.41
4.65%	Chabazita-K	(K <sub>2</sub> ,Ca,Na <sub>2</sub> ,Mg)[Al <sub>2</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>12</sub> ]·6(H <sub>2</sub> O)	504.66
4.59%	Ashcroftina-(Ce)	K <sub>5</sub> Na <sub>5</sub> (Ce,Ca) <sub>12</sub> Si <sub>28</sub> O <sub>70</sub> (OH) <sub>2</sub> (CO <sub>3</sub> ) <sub>8</sub> ·8(H <sub>2</sub> O)	4,256.27
4.55%	Levina	(Ca,Na <sub>2</sub> ,K) <sub>12</sub> Al <sub>2</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>12</sub> ·6(H <sub>2</sub> O)	515.67
4.50%	Yingjiangita	(K <sub>2</sub> ,Ca)(UO <sub>2</sub> )(PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>6</sub> ·6(H <sub>2</sub> O)	2,607.53
4.47%	Monteregianita-(Y)	(Na,K) <sub>6</sub> (Y,Ca) <sub>2</sub> Si <sub>16</sub> O <sub>38</sub> ·10(H <sub>2</sub> O)	1,574.86
4.39%	Mantienneita	KMg <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> Ti(PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>3</sub> ·15(H <sub>2</sub> O)	890.69
4.38%	Hidroxiapofillita	KCa <sub>4</sub> Si <sub>8</sub> O <sub>20</sub> (OH,F)·8(H <sub>2</sub> O)	759.07
4.37%	Fluorapofillita	(K,Na)Ca <sub>4</sub> Si <sub>8</sub> O <sub>20</sub> (F,OH)·8(H <sub>2</sub> O)	760.47
4.34%	Miserita	K(Ca,Ce) <sub>5</sub> [Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub> ](OH,F) <sub>2</sub>	901.19
4.31%	Mangan-neptunita	KNa <sub>2</sub> Li(Mn,Fe <sup>++</sup> ) <sub>2</sub> Ti <sub>2</sub> Si <sub>8</sub> O <sub>24</sub>	906.78
4.31%	Apofillita	KCa <sub>4</sub> (Si <sub>8</sub> O <sub>20</sub> ) <sub>2</sub> F·8(H <sub>2</sub> O)	907.20
4.31%	Neptunita	KNa <sub>2</sub> Li(Fe <sup>++</sup> ,Mn) <sub>2</sub> Ti <sub>2</sub> Si <sub>8</sub> O <sub>24</sub>	907.69
4.29%	Spodiosita	(Na,K) <sub>4</sub> (Mg,Fe <sup>++</sup> ) <sub>3</sub> (Fe <sup>+++</sup> ,Al) <sub>2</sub> (Si <sub>8</sub> O <sub>24</sub> )	910.57
4.28%	Poudretteita	KNa <sub>2</sub> B <sub>3</sub> Si <sub>12</sub> O <sub>30</sub>	912.90
4.22%	Liottita	(Ca,Na,K) <sub>8</sub> (Si,Al) <sub>12</sub> O <sub>24</sub> [(SO <sub>4</sub> ),(CO <sub>3</sub> ,Cl,OH)] <sub>4</sub> ·(H <sub>2</sub> O)	1,204.89
4.20%	Yimengita	K(Cr,Ti,Fe,Mg) <sub>12</sub> O <sub>19</sub>	837.35
4.14%	Magbasita	KBa(Al,Sc)(Mg,Fe <sup>++</sup> ) <sub>6</sub> Si <sub>6</sub> O <sub>20</sub> F <sub>2</sub>	943.31
4.06%	Sveita	KAl(NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub> (OH) <sub>16</sub> ·8(H <sub>2</sub> O)	963.13
4.02%	Berezanskita	KLi <sub>3</sub> Ti <sub>2</sub> Si <sub>12</sub> O <sub>30</sub>	972.69
3.98%	Clinoptilolita-K	(K,Na,Ca) <sub>2-3</sub> Al <sub>3</sub> (Al,Si) <sub>3</sub> Si <sub>9</sub> O <sub>36</sub> ·12(H <sub>2</sub> O)	1,375.59
3.95%	Milarita	K <sub>2</sub> Ca <sub>4</sub> Al <sub>2</sub> Be <sub>4</sub> Si <sub>24</sub> O <sub>60</sub> ·(H <sub>2</sub> O)	1,980.55
3.89%	Compreignacita	K <sub>2</sub> (UO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (OH) <sub>6</sub> ·8(H <sub>2</sub> O)	2,008.53
3.87%	Matveevita	KTiMn <sub>2</sub> Fe <sup>+++</sup> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>3</sub> ·15(H <sub>2</sub> O)	1,009.69
3.85%	Rameauita	K <sub>2</sub> CaU <sup>++++</sup> O <sub>20</sub> ·9(H <sub>2</sub> O)	2,028.57
3.85%	Voltaita	K <sub>2</sub> Fe <sup>++</sup> <sub>5</sub> Fe <sup>+++</sup> <sub>3</sub> Al(SO <sub>4</sub> ) <sub>12</sub> ·18H <sub>2</sub> O	2,028.99
3.82%	Eifelita	KNa <sub>3</sub> Mg <sub>2</sub> Si <sub>12</sub> O <sub>30</sub>	1,022.30
3.80%	Sugilita	KNa <sub>2</sub> (Fe <sup>++</sup> ,Mn <sup>++</sup> ,Al) <sub>2</sub> Li <sub>2</sub> Si <sub>12</sub> O <sub>30</sub>	1,028.28
3.78%	Spheniscidita	(NH <sub>4</sub> ,K)(Fe <sup>+++</sup> ,Al) <sub>2</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub> ·2(H <sub>2</sub> O)	413.28
3.77%	Vishnevitita	(Na,Ca,K) <sub>6</sub> (Si,Al) <sub>12</sub> O <sub>24</sub> [(SO <sub>4</sub> ),(CO <sub>3</sub> ,Cl)] <sub>2,4</sub> ·n(H <sub>2</sub> O)	1,037.80
3.77%	Zincovoltaita	K <sub>2</sub> Zn <sub>5</sub> Fe <sup>+++</sup> Al(SO <sub>4</sub> ) <sub>12</sub> ·18(H <sub>2</sub> O)	2,076.71
3.77%	Rhodizita	(K,Cs)Al <sub>4</sub> Be <sub>4</sub> (B,Be) <sub>12</sub> O <sub>28</sub>	778.83
3.76%	Chayesita	K(Mg,Fe <sup>++</sup> ) <sub>4</sub> Fe <sup>+++</sup> (Si <sub>12</sub> O <sub>30</sub> )	1,040.72
3.75%	Batisita	(Ba,K,Na) <sub>3</sub> Ti <sub>2</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>14</sub>	624.94
3.71%	Paulingita-K	(K <sub>2</sub> ,Ca,Na <sub>2</sub> ,Ba) <sub>5</sub> Al <sub>10</sub> Si <sub>35</sub> O <sub>90</sub> ·45(H <sub>2</sub> O)	3,789.13
3.71%	Haigerachita	KFe <sup>+++</sup> (H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (HPO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·4(H <sub>2</sub> O)	1,052.58
3.67%	Anortoclásio	(Na,K)AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	266.25
3.64%	Burnsita	KCdCu <sub>7</sub> O <sub>2</sub> (SeO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> Cl <sub>9</sub>	1,074.36
3.63%	Paulkerrita	K(Mg,Mn) <sub>2</sub> (Fe <sup>+++</sup> ,Al) <sub>2</sub> Ti(PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>3</sub> ·15(H <sub>2</sub> O)	970.02
3.61%	Filipsita-Na	(Na,K,Ca) <sub>1-2</sub> (Si,Al) <sub>8</sub> O <sub>16</sub> ·6(H <sub>2</sub> O)	649.86
3.56%	Filipsita-Ca	(Ca,K,Na) <sub>1-2</sub> (Si,Al) <sub>8</sub> O <sub>16</sub> ·6(H <sub>2</sub> O)	658.41
3.52%	Potassicrichterita	(K,Na)(CaNa) <sub>2</sub> Mg <sub>5</sub> [Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub> ](OH,F) <sub>2</sub>	832.34
3.51%	Potassic-fluororichterita	(K,Na)(CaNa)Mg <sub>5</sub> [Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub> ]F <sub>2</sub>	834.33
3.51%	Brannockita	KSn <sub>2</sub> Li <sub>3</sub> Si <sub>12</sub> O <sub>30</sub>	1,114.35
3.51%	Darapiosita	KNa <sub>2</sub> Li(Mn,Zn) <sub>2</sub> ZrSi <sub>12</sub> O <sub>30</sub>	1,115.35
3.46%	Calcioandryobertsita	KCaCu <sub>5</sub> (AsO <sub>4</sub> ) <sub>4</sub> [As(OH) <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ]-2(H <sub>2</sub> O)	1,129.55
3.45%	Dehnrnita	6CaO·(Na,K) <sub>2</sub> O·2P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ·(H <sub>2</sub> O)	566.46

K %	NOME	FÓRMULA QUÍMICA	PESO MOLEC.
3.36%	K-magnesiosadanagaita	$(K,Na)Ca_2[Mg_3(Al,Fe^{+++})_2][Si_5Al_3O_{22}](OH)_2$	872.23
3.35%	Meurigita	$KFe^{+++}(PO_4)_3(OH)_7 \cdot 8(H_2O)$	1,168.06
3.30%	Englishita	$K_3Na_2Ca_{10}Al_{15}(PO_4)_{21}(OH)_7 \cdot 26(H_2O)$	3,550.62
3.28%	Nabokoita	$Cu^{++}_7Te^{++++}O_4(SO_4)_5 \cdot KCl$	1,191.29
3.27%	Lemoynita	$(Na,K)_2CaZr_2Si_{10}O_{26} \cdot 5-6(H_2O)$	1,075.15
3.26%	Magnesiosadanagaita	$(K,Na)Ca_2(Mg,Fe^{++},Al,Ti)_2[(Si,Al)_8O_{22}](OH)_2$	900.44
3.25%	Andyrobertsita	$KCdCu_5(AsO_4)_4[As(OH)_2O_2] \cdot 2(H_2O)$	1,201.88
3.24%	Megacyclita	$K_2Na_{16}Si_{18}O_{36}(OH)_{18} \cdot 32(H_2O)$	2,410.17
3.24%	Microsommita	$(Na,Ca,K)_{7-8}(Si,Al)_{12}O_{24}(Cl,SO_4)_{2-3}$	1,086.58
3.22%	Kinoshitalita	$(Ba,K)(Mg,Mn,Al)_3Si_2Al_2O_{10}(OH)_2$	485.68
3.22%	Stilpnomelana	$K(Fe^{++},Mg,Fe^{+++},Al)_8(Si,Al)_{12}(O,OH)_{27} \cdot 2(H_2O)$	1,216.03
3.21%	Jonesita	$Ba_4(K,Na)_2Ti_4Al_2Si_{10}O_{36} \cdot 6(H_2O)$	1,829.86
3.20%	Rhodesita	$KH_2Ca_2Si_8O_{19} \cdot 5(H_2O)$	732.57
3.19%	Tuscanita	$K(Ca,Na)_6(Si,Al)_{10}O_{22}(SO_4,CO_3,OH)_2 \cdot (H_2O)$	1,101.39
3.15%	Sadanagaita	$(K,Na)Ca_2(Fe^{++},Mg,Al,Ti)_5[(Si,Al)_8O_{22}](OH)_2$	931.99
3.12%	Rubiclina	$(Rb,K)AlSi_3O_8$	313.11
3.11%	Magnesiumastrophyllita	$(Na,K)_4Mg_2(Fe^{++},Fe^{+++},Mn)_5Ti_2Si_8O_{24}(O,OH,F)_7$	1,257.91
3.10%	Paulingita-Ca	$(Ca,K,Na,Ba)_5[Al_{10}Si_{35}O_{84}] \cdot 34(H_2O)$	3,409.72
3.09%	Chessexita	$(K,Na)_4Ca_2Mg_3Al_8(SiO_4)(SO_4)_{10}(OH)_{10} \cdot 40(H_2O)$	2,528.59
3.09%	Atlasovita	$Cu_6Fe^{+++}Bi^{+++}O_4(SO_4)_5 \cdot KCl$	1,264.97
3.07%	Potassicferrisadanagaita	$(K,Na)Ca_2(Fe^{++},Mg)(Fe^{+++},Al)_2[Si_5Al_3O_{22}](OH,F,O)_2$	954.53
3.03%	Potassicsadanagaita	$(K,Na)Ca_2[Fe^{++}_3(Al,Fe^{+++})_2][Si_5Al_3O_{22}](OH)_2$	966.86
3.03%	Delhayelita	$(Na,K)_{10}Ca_5Al_6Si_{32}O_{80}(Cl,F,SO_4)_3 \cdot 18(H_2O)$	3,231.17
2.99%	Herschelita	$(Na,Ca,K)AlSi_2O_6 \cdot 3(H_2O)$	261.30
2.97%	Ferrokinoshitalita	$(Ba,K)(Fe^{++},Mg)_3(Si,Al)_2O_{10}(OH,F)_2$	526.29
2.96%	Ofretita	$(K_{2-x}Ca,Mg)_2 \cdot 5Al_5Si_{13}O_{36} \cdot 15(H_2O)$	1,453.72
2.89%	Osumilita-(Mg)	$(K,Na)(Mg,Fe^{++})_2(Al,Fe^{+++})_3(Si,Al)_{12}O_{30}$	1,015.74
2.86%	Heulandita-K	$(K,Na,Ca)_{2-3}Al_3(Al,Si)_2Si_{13}O_{36} \cdot 12(H_2O)$	1,367.04
2.85%	Carletonita	$KNa_4Ca_4Si_8O_{18}(CO_3)_4(OH,F) \cdot (H_2O)$	1,027.61
2.84%	Steacyita	$K_{1-x}(Ca,Na)_2ThSi_8O_{20}(x=0.2to0.4)$	85.70
2.82%	Katayamalita	$KCa_3Li_2Ti_2(Si_6O_{18})_2(OH,F)_2$	1,384.24
2.80%	Osumilita-(Fe)	$(K,Na)(Fe^{++},Mg)_2(Al,Fe^{+++})_3(Si,Al)_{12}O_{30}$	1,047.28
2.78%	Baratovita	$KCa_7(Ti,Zr)_2Li_3Si_{12}O_{36}F_2$	1,408.90
2.70%	Ajoita	$(K,Na)Cu_4AlSi_9O_{24}(OH)_6 \cdot 3(H_2O)$	1,302.14
2.67%	Turkestanita	$Th(Ca,Na)_2(K_{1-x}[X]_x)Si_8O_{20} \cdot n(H_2O)$	879.42
2.65%	Mazzita	$K_2CaMg_3(Al,Si)_3O_{72} \cdot 28(H_2O)$	2,808.04
2.63%	Iraqita-(La)	$K(La,Ce,Th)_2(Ca,Na)_4(Si,Al)_{16}O_{40}$	1,634.63
2.62%	Fedorita	$KNa_4Ca_4(Al,Si)_{16}O_{36}(OH,F)_4 \cdot 6(H_2O)$	1,493.94
2.53%	Hydrobiotita	$[K(Mg,Fe)_3(Al,Fe)Si_3O_{10}(OH,F)_2][(Mg,Fe^{++},Al)_3(Si,Al)_4O_{10}(OH)_2] \cdot 4(H_2O)$	464.42
2.51%	Lennilenaite	$K_{6-7}(Mg,Mn,Fe^{++},Fe^{+++},Zn)_{48}(Si,Al)_{72}(O,OH)_{216} \cdot 16(H_2O)$	8,425.53
2.50%	Hanksita	$KNa_{22}(SO_4)_9(CO_3)_2Cl$	1,564.92
2.46%	Erionita-K	$(K_{2x}Ca,Na)_2[Al_4Si_{14}O_{36}] \cdot 15(H_2O)$	1,428.24
2.43%	Kalipirodoro	$(H_2O,Sr)(Nb,Ti)(O,OH)_6 \cdot (H_2O,K)$	321.15
2.42%	Panethita	$(Na,Ca,K)_2(Mg,Fe^{++},Mn)_2(PO_4)_2$	323.06
2.41%	Sosedkoiita	$(K,Na)_5Al_2(Ta,Nb)_{22}O_{60}$	5,030.82
2.41%	Margaritasita	$(Cs,K,H_3O)_2(UO_2)_3V_2O_8 \cdot (H_2O)$	974.70
2.41%	Ferrierita-K	$(K,Na)_2Mg(Si,Al)_{18}O_{36} \cdot 9(H_2O)$	1,300.52
2.36%	K-clorohastingsita	$(K,Na)Ca_2(Fe^{++},Mg)_4Fe^{+++}[Si_6Al_2O_{22}](Cl,OH)_2$	994.80
2.29%	Levyna-Na	$(Na_{2r}Ca,K_2)Al_2Si_4O_{12} \cdot 6(H_2O)$	513.13
2.28%	Afghanita	$(Na,Ca,K)_8(Si,Al)_{12}O_{24}(SO_4,Cl,CO_3)_3 \cdot (H_2O)$	1,200.45
2.22%	Straczekita	$(Ca,K,Ba)_2V_6O_{20} \cdot 3(H_2O)$	880.68
2.19%	Chabazite-Sr	$(Sr,Ca,K_2,Na_2)[Al_2Si_4O_{12}] \cdot 6(H_2O)$	534.42
2.18%	Obradovicita	$H_4(K,Na)Cu^{++}Fe^{+++}_2(AsO_4)_3(MoO_4)_5 \cdot 12(H_2O)$	1,257.18
2.17%	Na-farmacosiderita	$(Na,K)_2Fe^{+++}_4(AsO_4)_3(OH)_5 \cdot 7(H_2O)$	902.63
2.16%	Potassicpargasita	$(K,Na)Ca_2(Mg,Fe^{++})_2Si_8O_{22}(OH,F)_2$	906.89
2.08%	Tobelita	$(NH_4,K)Al_2(Si,Al)O_{10}(OH)_2$	376.27
2.01%	Clinoptilolita	$(Na,K,Ca)_{2-3}Al_3(Al,Si)_2Si_{13}O_{36} \cdot 12(H_2O)$	1,364.31
2.01%	Clinoptilolita-Na	$(Na,K,Ca)_{2-3}Al_3(Al,Si)_2Si_{13}O_{36} \cdot 12(H_2O)$	1,364.31

# Capítulo 10 - Macronutrientes secundários – Ca, Mg, S

## Os autores

### Eduardo Lima

Engenheiro Agrônomo D.Sc., Professor da UFFRJ.

E-mail: edulima@ufrj.br

### Godofredo César Vitti

Engenheiro Agrônomo D.Sc., Professor ESALQ, Departamento de Ciência do Solo.

E-mail: gcvitti@esalq.usp.br

### Everaldo Zonta

Engenheiro Agrônomo D.Sc., Professor UFRJ, Departamento de Solos.

E-mail: ezonta@ufrj.br

## 1. Introdução

Os elementos minerais essenciais são classificados, do ponto de vista da nutrição da planta e da fertilidade do solo, conforme as quantidades exigidas pelas plantas, em macronutrientes (C, H, O, N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Si e Zn) (DECHEN e NACHTIGALL, 2006). Os elementos Ca (cálcio), Mg (magnésio) e S (enxofre) são considerados elementos minerais macronutrientes secundários, e a quantidade média acumulada pelas plantas destes elementos pode ser observada na Tabela 1.1.

Proporcionalmente, o Ca é o terceiro elemento mineral mais acumulado pelas plantas, enquanto o Mg encontra-se no mesmo patamar que o Fósforo, em quarto lugar. Estes são seguidos pelo S, que ocupa a quinta colocação.

Particularmente, em função da espécie e da ontogenia desta, pode haver alterações nestes teores, de forma que também são apresentados na Tabela 1.1, as variações possíveis para tais elementos.

Neste capítulo, Ca e Mg serão abordados de forma conjunta e S de forma isolada, dadas as caracte-

terísticas de tais elementos e, principalmente, a forma de obtenção, quantificação da aplicação e da disponibilização e/ou aplicação dos mesmos no solo.

**Tabela 1.1** - Relação dos elementos essenciais às plantas superiores, com as concentrações médias na matéria seca da parte aérea das plantas.

Elemento	Concentração média na massa seca <sup>1</sup>	
Carbono (C)	450	g kg <sup>-1</sup>
Oxigênio (O)	450	g kg <sup>-1</sup>
Hidrogênio (H)	60	g kg <sup>-1</sup>
Nitrogênio (N)	15	g kg <sup>-1</sup>
Potássio (K)	10	g kg <sup>-1</sup>
Cálcio (Ca)	5	g kg <sup>-1</sup>
Fósforo (P)	2	g kg <sup>-1</sup>
Magnésio (Mg)	2	g kg <sup>-1</sup>
Enxofre (S)	1	g kg <sup>-1</sup>
Cloro (Cl)	100	mg kg <sup>-1</sup>
Manganês (Mn)	50	mg kg <sup>-1</sup>
Boro (B)	20	mg kg <sup>-1</sup>
Zinco (Zn)	20	mg kg <sup>-1</sup>
Ferro (Fe)	10	mg kg <sup>-1</sup>
Cobre (Cu)	6	mg kg <sup>-1</sup>
Níquel (Ni)	3	mg kg <sup>-1</sup>
Molibdênio (Mo)	0,1	mg kg <sup>-1</sup>

Fonte: adaptado de Dechen<sup>1</sup> e Nachtigall, 2006.

## 2. Cálcio e magnésio

### 2.1. Cálcio e magnésio na planta

O cálcio é absorvido como íon bivalente ( $\text{Ca}^{++}$ ), extremamente importante no desenvolvimento das raízes e necessário à translocação e ao armazenamento de carboidratos e proteínas. Atua na formação e na integridade das membranas da parede celular. Por ser imóvel na planta, o sintoma típico surge como clorose internerval nas folhas mais novas. Outros sintomas podem ocorrer, tais como: queda das flores e crescimento reduzido das raízes. Os sintomas de deficiência são de difícil reconhecimento no campo, mas a clorose internerval das folhas mais novas é o sintoma típico. A deficiência de cálcio na planta produz crescimento de forma irregular das folhas, resultando em folhas com margens de natureza restrita. Muitas vezes é observada a morte de tecidos do caule e pecíolo das folhas, assim como a queda prematura de flores, morte dos óvulos e mau desenvolvimento das sementes. Morte dos tecidos do fruto, como de tomate, maçã e pimenta, são características de baixo suprimento de cálcio. O crescimento das raízes, tanto no sentido longitudinal como no lateral é prejudicado, devido a sua ação na integridade das membranas.

O magnésio também é absorvido como íon bivalente positivo ( $\text{Mg}^{++}$ ), compõe a molécula de clorofila, que contém em média cerca de 2,7% do elemento e dá a cor verde às plantas. As plantas forrageiras com baixos teores de magnésio podem promover baixos teores de magnésio sérico ao animal e conseqüentemente levar à tetania.

Os sintomas de falta de magnésio, por causa de sua alta mobilidade na planta, aparecem geralmente nas folhas mais velhas, onde a clorose é o primeiro sintoma evidente: elas apresentam cor verde clara. Com o agravamento da deficiência, apa-

recem manchas amareladas que podem se unir formando faixas ao longo das margens da folha, que se tornam avermelhadas. Os frutos produzidos em condições de deficiência de magnésio são geralmente menores que os normais.

A deficiência de magnésio pode ser corrigida pela aplicação de sulfato de magnésio ou sulfato de potássio e magnésio. O calcário dolomítico deve ser usado com muito cuidado, a fim de evitar excessiva elevação do valor de pH do solo e alterações prejudiciais das relações catiônicas. Deve-se dar atenção à quantidade de potássio usada na mistura fertilizante, de modo a evitar uma deficiência de magnésio induzida por excesso de potássio.

### 2.2. Cálcio e magnésio no solo

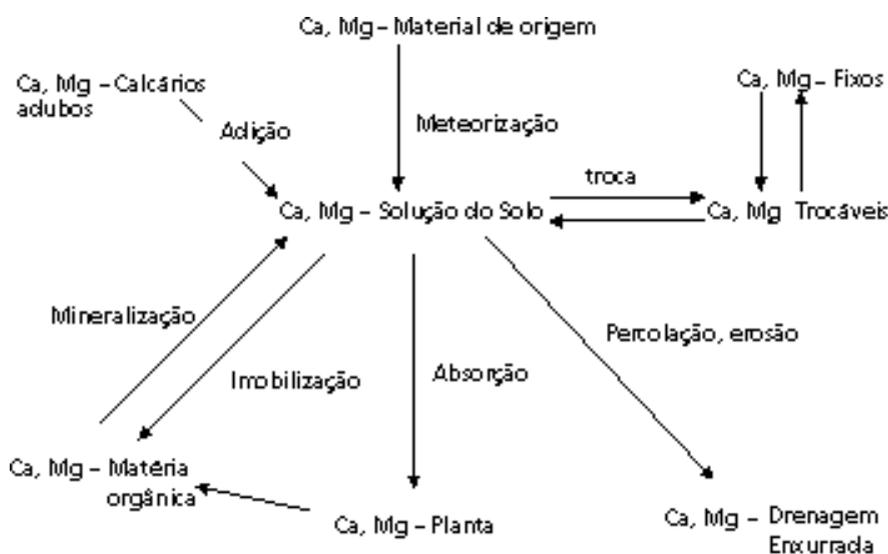
O cálcio no solo comporta-se como íon divalente positivo ( $\text{Ca}^{++}$ ), podendo ser adsorvido aos colóides, absorvido pelas plantas e organismos do solo, estar na solução do solo, ou ser lixiviado.

O conteúdo de cálcio no solo é função do material de origem do mesmo (rocha), sendo influenciado pela sua textura, teor de matéria orgânica e pela remoção das culturas. Teores de cálcio no solo entre 2,0 a 4,0  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  podem ser considerados médios.

A sua disponibilidade para as plantas, assim como a de outros cátions (potássio e magnésio), é afetada tanto pela quantidade de nutriente disponível no solo, como pelo grau de saturação no complexo de troca e da relação com os outros cátions do complexo coloidal.

O magnésio é adsorvido nos colóides do solo como íon bivalente positivo ( $\text{Mg}^{++}$ ), com comportamento muito similar ao do cálcio. O teor de magnésio trocável que pode ser considerado como médio é de 0,4 a 0,8  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de solo.

O ciclo do Ca e Mg é esquematizado na Figura 2.1.



Fonte: Malavolta, 1976.

Figura 2.1 – Ciclo do Ca e do Mg.

### 2.3. Necessidade de Ca e Mg nos solos brasileiros

Considerando que um dos maiores limitantes da produção vegetal no País é a acidez dos solos, e que esta pode ser traduzida para presença de Al e/ou teores baixos de Ca + Mg, fica clara a necessidade de aplicação destes elementos em nossos solos. Particularmente, a importância da acidez dos solos pode ser visualizada na Figura 2.2, que re-

presenta a distribuição global dos solos com problemas de acidez (baixo pH, carência de cálcio e magnésio ou excesso de alumínio). Cerca de 40% dos solos do mundo apresentam estes problemas e, nos trópicos, a acidez incide entre 60-70% das áreas agricultáveis. Do ponto de vista dos solos brasileiros, estima-se que, potencialmente, cerca de 84% apresentem, pelo menos, uma das seguintes limitações: excesso de alumínio ou carência de cálcio e magnésio.



Fonte: USDA, 2002.

Figura 2.2 - Distribuição global de solos com problemas de acidez (área colorida).

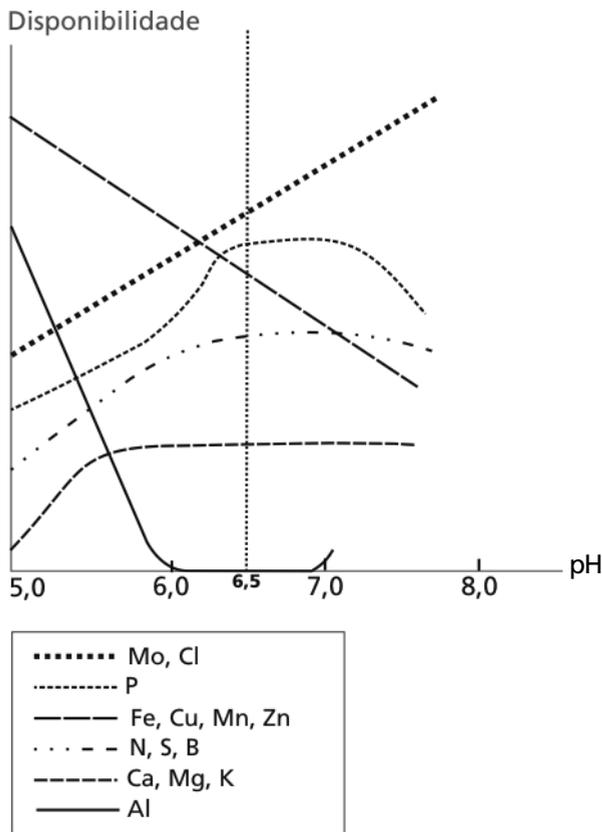
## 2.4. Aplicação de Ca e Mg e resultados agronômicos

### Conseqüências da acidificação dos solos

O abaixamento do pH da solução do solo traz várias conseqüências sobre a dinâmica dos nutrientes no solo e sobre plantas e organismos. Dentre eles, destacamos:

#### a) Efeitos sobre a disponibilidade de nutrientes e alumínio

Como pode-se observar na Figura 2.3, a diminuição dos valores de pH do solo traz como conseqüência a diminuição da disponibilidade de cálcio, magnésio, potássio, nitrogênio, enxofre, fósforo e micronutrientes aniônicos. Por outro lado, os micronutrientes catiônicos (Fe, Cu, Mn e Zn) têm a sua disponibilidade aumentada e, dependendo da sua concentração no solo, podem acarretar sinto-



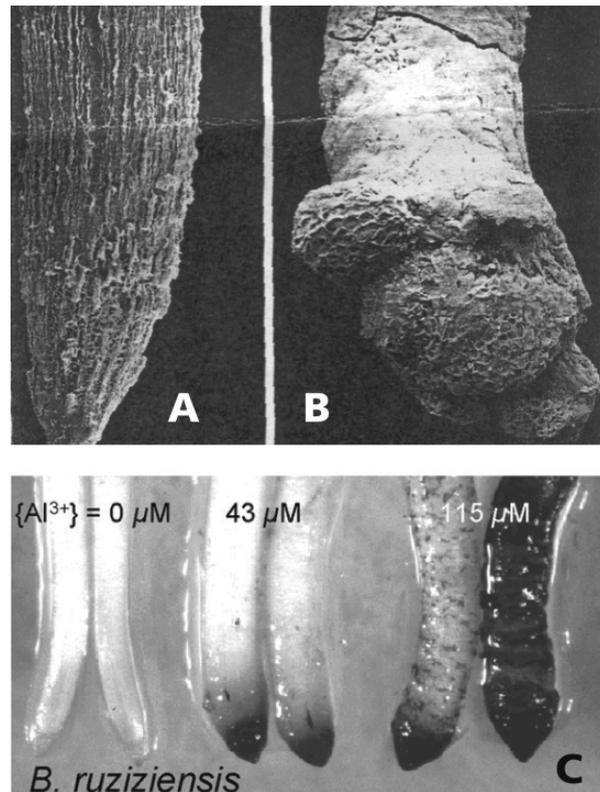
Fonte: Malavolta, 1976.

**Figura 2.3** – Disponibilidade de nutrientes em função do pH da solução do solo

mas de fitotoxicidade. Além disso, o alumínio pode apresentar-se em níveis fitotóxicos em valores de pH mais baixos que 5,5-5,6. Em valores de pH baixos, o fósforo pode sofrer precipitação, principalmente com ferro e alumínio, caracterizando o processo de “fixação de P” e, em valores de pH mais elevados (acima de 7,5 – 8,0), pode precipitar-se com cálcio.

#### b) Aumento nos teores de alumínio tóxico

A diminuição dos valores de pH da solução do solo traz como conseqüência o aparecimento de alumínio livre na solução. Ao ser absorvido pelas raízes das plantas, ele precipita nos tecidos internos, causando distúrbios fisiológicos que provocam o engrossamento e encurtamento do sistema radicular, o que traz graves conseqüências para a nutrição das plantas mais sensíveis ao alumínio tóxico (Figura 2.4).



**Figura 2.4** – (A) raiz normal; (B) raiz submetida a altos teores de Al em solução (raiz curta e grossa); (C) raízes de *Brachiaria ruziziensis* submetida a doses crescentes de alumínio em solução por 48 horas.

### c) Carência de Ca e Mg

É muito comum associar-se o abaixamento do pH do solo com a carência dos cátions básicos presentes em maiores teores nos solos (Ca e Mg). Assim, em condições de acidez muito elevada, as quantidades de cálcio e magnésio presentes podem não ser suficientes para sustentar a produção, acarretando, às vezes, o aparecimento de sintomas visuais de deficiência.

### d) Alterações na microbiota do solo

A acidificação do solo interfere na dinâmica de grupos de microrganismos do solo. Em condições mais ácidas, fungos e actinomicetos são melhor adaptados que bactérias, o que pode interferir fortemente em vários processos dependentes destes organismos.

## 2.5. Fontes de Ca e Mg e correção da acidez dos solos

As principais fontes de cálcio são os minerais do solo e as rochas calcárias. De maneira geral, solos argilosos são mais ricos em cálcio disponível, por serem formados por rochas ricas em minerais com alto teor deste elemento. Geralmente, seus teores num solo argiloso são sufi-

cientes para as plantas, desde que o solo não esteja muito ácido.

As rochas calcárias, após serem moídas, são utilizadas como corretivos de acidez do solo. A composição dos calcários pode variar entre 25 e 55% de CaO e entre 1 e 21% de MgO.

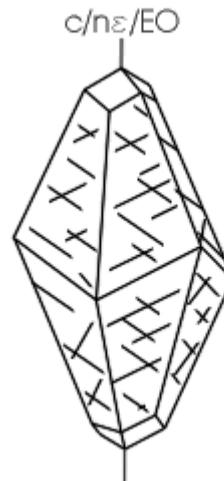
Os calcários utilizados no Brasil, em sua maioria, provêm de rochas sedimentares, que contêm minerais com quantidades acima de 30% de carbonato de cálcio (calcita ou aragonita - Figura 2.5), ou, ainda,  $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$  ( $\text{CaMg}\{\text{CO}_3\}_2$ ), em teores variáveis, quando o mineral predominante é a dolomita (Figura 2.6). Em particular, os cristais de calcita podem incluir quantidades consideráveis de areias de quartzo (até 60%) e formam o chamado cristal de arenito, que reduz a qualidade do calcário produzido.

Aliás, os corretivos apresentam teores variáveis de contaminantes ou impurezas, que podem chegar, em alguns casos, a teores superiores a 15%. Estas impurezas são constituídas de sílica, argilas, fosfatos, fluorita, óxidos de ferro e magnésio, sulfetos, siderita e matéria orgânica, entre outros, que não têm poder corretivo da acidez, e que por vez, diminuem a qualidade do corretivo (TEDESCO e GIANELLO, 1989).

Foto do Mineral

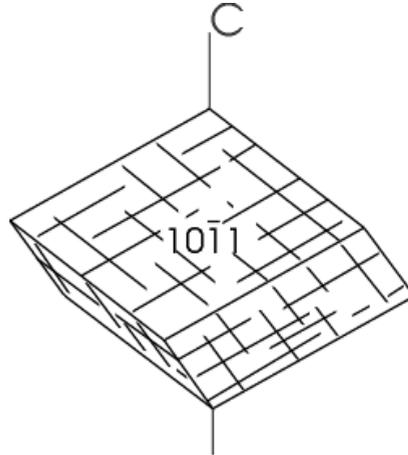
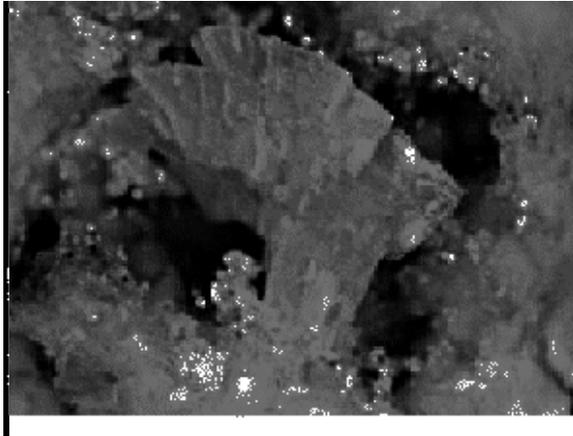


Forma Cristalográfica



Fonte: Machado et al., 2007.

**Figura 2.5.** Cristais romboédricos e direções ópticas e cristalográficas da calcita



Fonte: Machado *et al.*, 2007.

**Figura 2.6** - Cristal envolto por quartzo e direções ópticas e cristalográficas da dolomita

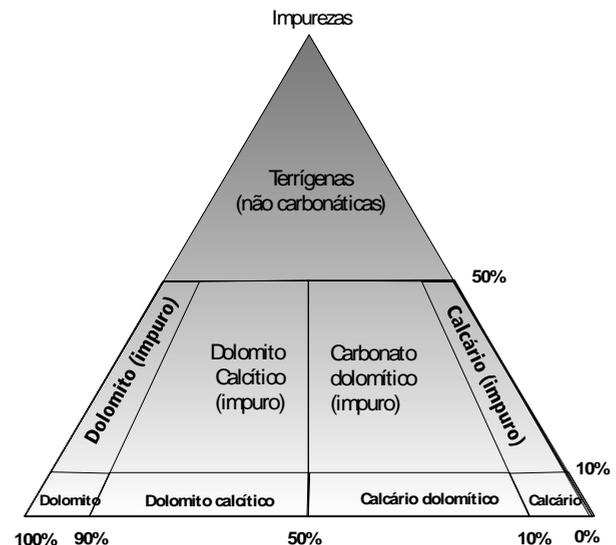
Em termos de produtos presentes no mercado, para fins de correção da acidez do solo, os principais compostos químicos neutralizantes da acidez presentes nos corretivos são:

- carbonatos de cálcio e de magnésio ( $\text{CaCO}_3$  e  $\text{MgCO}_3$ , respectivamente) nos calcários;
- óxidos de cálcio e de magnésio ( $\text{CaO}$  e  $\text{MgO}$ ) na cal virgem;
- hidróxidos de cálcio e magnésio ( $\text{Ca(OH)}_2$  e  $\text{Mg(OH)}_2$ ) na cal extinta;
- carbonatos como óxidos de cálcio e de magnésio, nos calcários calcinados;
- carbonato de cálcio, em conchas moídas.

A qualidade destes corretivos é definida pelo poder relativo de neutralização total (PRNT), expresso em termos do poder de neutralização (PN), ou equivalente em carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), e do tamanho das partículas (reatividade). Estes parâmetros são definidos e quantificados por normativas do Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

A relação  $\text{CaCO}_3 / \text{MgCO}_3$  e as impurezas presentes são consideradas para a classificação composicional

de rochas que contenham, pelo menos 50%, de carbonato em sua composição, conforme mostra a Figura 2.7.



Fonte: Machado *et al.*, 2007.

**Figura 2.7** - Diagrama para classificação composicional de rochas calcárias.

Na Tabela 2.1, são apresentados os principais corretivos disponíveis no País e respectiva faixa de variação do PRNT, com base no carbonato de cálcio.

**Tabela 2.1** – Principais corretivos disponíveis no País e respectiva variação de PRNT.

Material calcário	PRNT (%)
Carbonato de Cálcio	100
Calcários (CaCO <sub>3</sub> + MgCO <sub>3</sub> )	70 – 120
Farinha de Ostras Cozidas	80 – 90
Cal viva	150 – 175
Farinha de ostras queimadas	90 – 110
Cal hidratada	120 – 135
Escórias de siderurgia e silicatos	45 – 70
Cinza de Madeira	40 – 80

## 2.6. Reservas e economia do calcário

Considerando que a grande maioria dos solos brasileiros apresenta características de acidez, toxidez de Al (principalmente) e/ou Mn e também baixos níveis de Ca e Mg, fica sendo imprescindível a correção desses problemas por meio da prática da calagem, que é a maneira mais simples para atingir este objetivo. O calcário é um insumo relativamente barato, abundante no País, essencial para o aumento da produtividade, de tecnologia de produção simples e, sobretudo, é uma das poucas práticas agrícolas que dá elevado retorno em curto prazo. Porém, o uso de calcário poderia ser limitante, pois baseado em uma estimativa de apenas 1 ton de calcário ha<sup>-1</sup> 20cm<sup>-1</sup>, tem-se uma necessidade de algo em torno de 500 milhões de toneladas.3 anos<sup>-1</sup> (que seria um intervalo médio entre uma e outra calagem). Sabendo-se, por outro lado, que nossas reservas lavráveis giram em torno de 45 bilhões de toneladas (BRASIL, 2005), seria possível executar esta medida corretiva por cerca de 240 anos.

Felizmente o uso das terras no Brasil com fins de produção agrícola, necessita de apenas um terço dessa quantidade, o que prolongaria nossas reservas para cerca de 700 anos. Mas, como são produzidos, em média, 35 milhões de ton.ano<sup>-1</sup> de calcário pelas empresas mineradoras, para fins de uso agrícola, o que prolongaria então nossas reservas por até 1500 anos (excetuando-se, nestes cálculos, as quantidades utilizadas pela indústria de cimento).

Esses dados evidenciam que a calagem é prática adotada por uma pequena parte dos produtores, em geral os mais capitalizados e tecnificados, o que nos leva à necessidade de difusão da prática.

As reservas minerais de calcário computadas são aquelas oficialmente aprovadas pelo Depto Nacional de Produção Mineral (DNPM), isto é, as constantes nos Relatórios de Pesquisa Aprovados e nos Relatórios de Reavaliação de Reservas, subtraídas as produções ocorridas em cada ano base e nos anos anteriores. Assim, os 45 bilhões de toneladas, a que nos referimos, de acordo com o relatório 2005, estão assim distribuídas no País (Tabela 2.2).

Estas reservas são classificadas como Medida, Indicada e Inferida, dependendo do grau de conhecimento da jazida, da seguinte forma:

**Reserva Medida** - Volume ou tonelagem de minério computado pelas dimensões reveladas em afloramentos, trincheiras, galerias, trabalhos subterrâneos e sondagens. O teor é determinado pelos resultados de amostragem pormenorizada devendo os pontos de inspeção, amostragem e medida estarem tão proximamente espaçados e o caráter geológico tão bem definido que as dimensões, a forma e o teor da substância mineral possam ser perfeitamente estabelecidos.

**Reserva Indicada** - Volume ou tonelagem de minério computado a partir de medidas e amostras específicas, ou de dados da produção e, parcialmente, por extrapolação até distância razoável, com base em evidências geológicas. As reservas computadas são as aprovadas pelo DNPM nos Relatórios de Pesquisa e/ou Reavaliação de Reservas.

**Reserva Inferida** - Estimativa do volume ou tonelagem de minério calculada com base no conhecimento da geologia do depósito mineral, havendo pouco trabalho de pesquisa.

Na realidade o parâmetro real é a **Reserva Lavrável**. Nesta são computados valores com o intuito de dimensionar, com maior acuidade, as reservas disponíveis, correspondendo à reserva técnica e economicamente aproveitável, levando-se em consideração a recuperação da lavra. É a reserva “in

*situ*” estabelecida no perímetro da unidade mineira determinado pelos limites da abertura de exaustão (cava ou flanco para céu aberto e realces ou câmaras para subsolo), excluindo os pilares de segurança e as zonas de distúrbios geomecânicos.

De acordo com o Ministério das Minas e Energia (Brasil, 2006), existem, atualmente, 33 empresas no Brasil, devidamente cadastradas e autorizadas

a extrair rocha calcária, seja para produção de calcário para fins agrícola, seja para outros fins, já que o mesmo, além de sua utilidade na agricultura, ainda é utilizado para a produção de cimento Portland, cal (CaO), giz (material na forma de bastonete para escrever na lousa escolar), como fundente em metalurgia, na fabricação de vidro e pequena parte como pedra ornamental.

**Tabela 2.2** – Reservas de calcário no País, de acordo com o anuário mineral.

Unidades da Federação	Reservas (t)			
	Medida (t)	Indicada (t)	Inferida (t)	Lavrável (t)
Calcário	53.596.914.552	32.039.681.606	27.692.287.116	42.281.215.798
Calcário (Rochas)	53.276.093.411	31.828.943.520	27.690.892.036	41.986.539.662
Calcita	131.741.735	17.221.318	45.000	109.679.985
Calcita Ótica	40	60	80	50
Conchas Calcárias	189.079.366	193.516.708	1.350.000	184.996.101
Alagoas	60.521.387	4.433.000	-	51.683.781
Amazonas	79.475.262	105.431.910	44.000.000	59.266.895
Bahia	2.273.786.659	926.805.871	837.636.799	2.323.802.610
Ceará	2.864.627.601	1.996.445.810	1.469.076.486	1.993.446.618
Distrito Federal	300.810.427	167.468.001	37.618.950	95.556.264
Espírito Santo	1.749.769.783	308.166.639	20.245.780	1.121.981.261
Goiás	1.284.093.204	1.640.636.543	331.829.778	1.397.517.608
Maranhão	358.898.727	6.611.113	1.200.000	360.622.011
Minas Gerais	9.740.389.579	4.607.387.091	4.529.719.697	9.649.004.600
Mato Grosso do Sul	15.423.669.981	8.086.444.206	7.908.582.999	7.572.043.212
Mato Grosso	4.546.465.138	7.152.646.956	7.478.361.618	2.946.509.707
Pará	568.961.755	278.913.304	219.894.511	576.281.036
Paraíba	853.426.127	315.732.080	626.377.342	950.538.358
Pernambuco	260.830.591	200.240.587	147.535.741	340.819.335
Piauí	57.786.467	74.478.623	-	130.791.023
Paraná	4.625.346.603	880.051.821	1.490.370.738	4.219.405.648
Rio De Janeiro	1.933.883.534	689.263.333	124.890.270	2.054.043.484
Rio Grande do Norte	2.109.210.461	1.757.829.794	1.330.703.208	1.924.205.384
Rondônia	173.241.424	94.507.862	90.336.602	219.930.810
Rio Grande do Sul	154.689.708	112.080.694	88.328.940	150.101.766
Santa Catarina	206.373.856	9.590.960	1.701.900	56.807.412
Sergipe	658.342.674	286.518.644	188.964.288	660.084.508
São Paulo	3.208.633.785	2.301.279.515	682.070.657	3.322.092.648
Tocantins	103.679.819	36.717.249	42.840.812	104.679.819

Fonte: Brasil, 2005.

## 2.7. Processos de produção e beneficiamento

A produção e beneficiamento da maioria dos produtos calcários são bastante simples, uma vez que, em geral, não ocorre a utilização de nenhum processo de concentração. A produção ou lavra ocorre a céu aberto, nas jazidas, e a sua retirada é feita normalmente com o uso de explosivos para desagregação inicial da rocha (Figura 2.8). Em seguida, o material é transportado para a indústria, onde passa por uma britagem, com a finalidade de redução do tamanho das partículas. Este material é então levado por esteiras para moinhos, em geral, de martelos para a desagregação final até atingir a granulometria desejada pela legislação e pelo fabricante (Figura 2.9).



**Figura 2.8** - Processo de Lavra a céu aberto de jazida de calcário.



**Figura 2.9** - Instalações de britagem, moagem e armazenamento de calcário.

A exceção feita ao tipo de produção e beneficiamento apresentado ocorre quando da produção de calcários calcinados, que passam por um processo de calcinação a temperaturas superiores a 700°C, o que provoca concentração no material. A britagem e a moagem são semelhantes.

Dos principais materiais corretivos da acidez do solo apresentados na Tabela 2.1, além dos calcários, vale destacar o papel dos silicatos, principalmente os provenientes de escórias de siderurgia, em função da quantidade produzida.

## 2.8. Escória de siderurgia

Em linhas gerais, no processo siderúrgico, o calcário, o minério de ferro e o coque ou carvão são aquecidos a 1.900°C, promovendo a redução do ferro e a produção de compostos indesejáveis (material inerte do minério e do carvão), que não foram reduzidos. Estes combinam-se com Ca e Mg do calcário, dando origem à escória (Figura 2.10) (PEREIRA, 1978 citado por PRADO *et al.*, 2002).

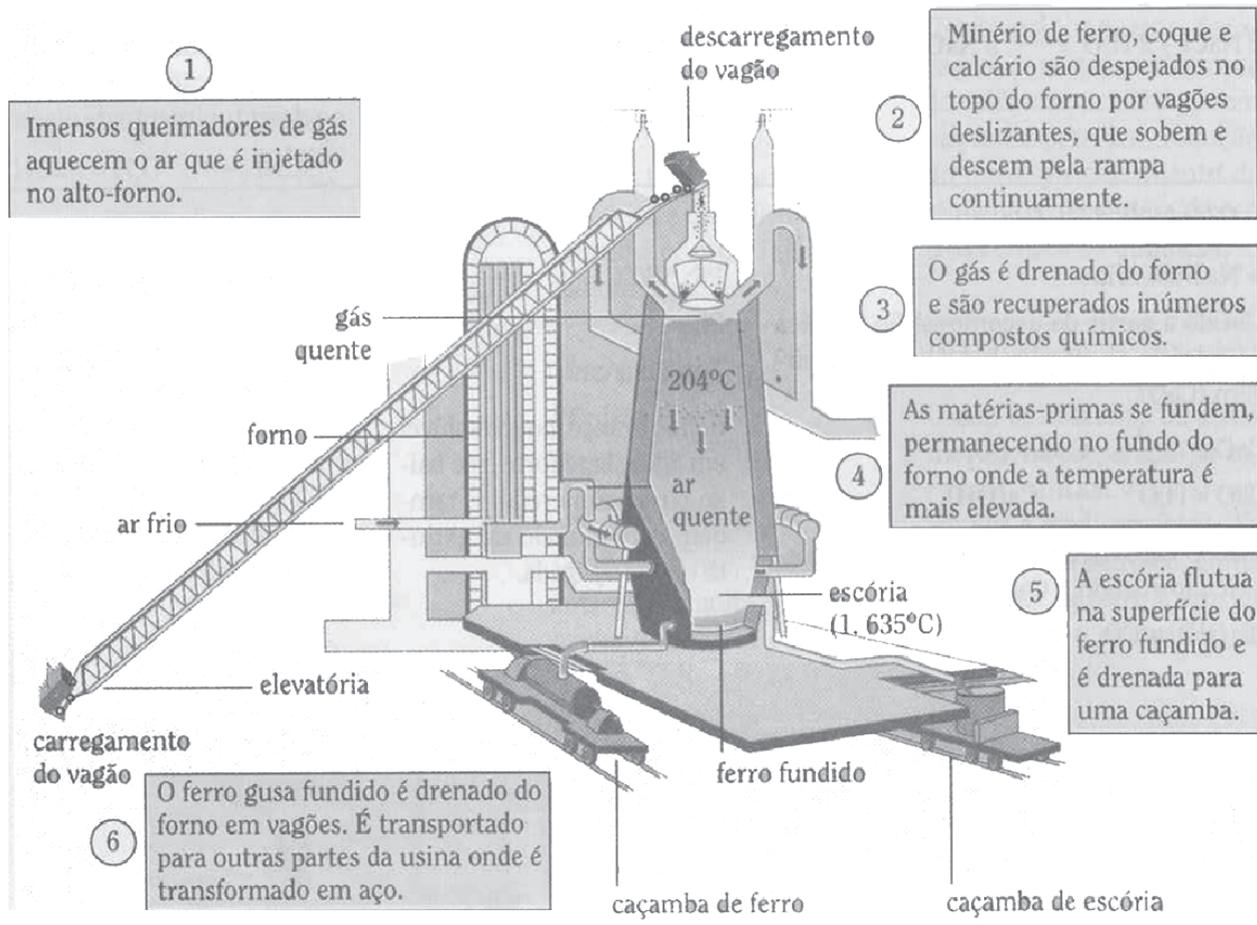
Segundo levantamento feito pela empresa SETEPLA, a pedido do Instituto Brasileiro de Siderurgia (IBS) (Caselato, 2004), no Brasil e em oito países (EUA, Canadá, Reino Unido, França, Alemanha, Itália, Japão e Coreia), a geração de escória para a produção de ferro gusa (FG) é, em média, de 266 kg/t de FG, no Brasil, e de 297 kg/t de FG nos outros países. Já para a produção de aço bruto (AB) é de 112 kg/t de AB, no Brasil, e de 117 kg/t de AB, nos outros países (Figura 2.11).

De acordo com este mesmo levantamento, no Brasil, é gerado em torno de 5,4 milhões de toneladas de escória de alto forno de ferro gusa e de 2,9 milhões de toneladas de escória de aciaria anualmente, totalizando 8,3 milhões de toneladas de escória de siderurgia por ano (Figura 2.12), para o período de 1998 e 1999.

Baseando-se em dados mais recentes, sendo a produção média anual brasileira de Ferro Gusa de 31,73 milhões de toneladas e a de Aço Bruto de 30,38 milhões de toneladas, no período de 2001 a 2005 (SGM, 2006), e considerando a eficiência média

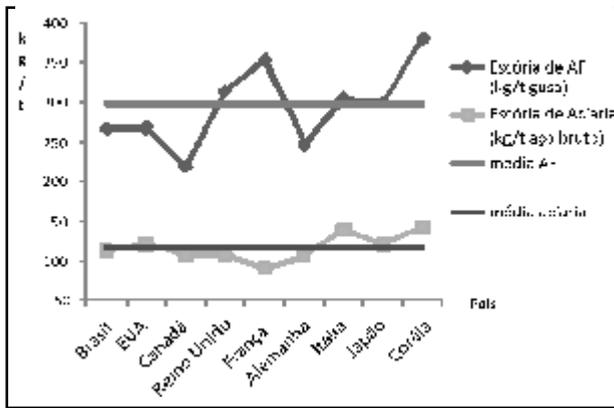
processo siderúrgico para geração de escórias de 266 kg/t de FG e de 112 kg/t de AB, neste período, a geração anual de escória brasileira seria de 8,44 milhões de toneladas pelo processo de produção do Ferro Gusa e de 3,40 milhões de toneladas pelo processo de produção do Aço Bruto, totalizando montante de 11,84 milhões de toneladas anualmente neste início do século XXI. A localização dos principais pólos siderúrgicos é indicada na Figura 2.13. No Brasil, o uso da escória de siderurgia na agricultura como corretivo de acidez do solo ainda é bastante incipiente, perante as 18,9 milhões de to-

neladas de calcário consumidas anualmente, em média, entre 1994 a 2005, segundo dados da ABRACAL (MAPA, 2006). Em alguns países como no Japão, o uso da escória de siderurgia na agricultura já é bastante difundido, principalmente para a cultura do arroz, em que este produto atua também como fornecedor de silício para esta cultura. Segundo Barbosa Filho *et al.* (2000), na década de 90, no Japão, foram usados, anualmente, cerca de 400.000 t de escórias *slag* em aproximadamente 25% da área cultivada com arroz, principalmente como fonte de silício (Figuras 2.14 e 2.15).



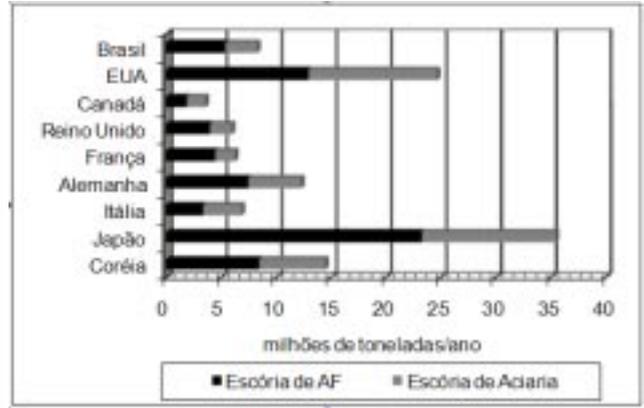
Fonte: Reis, 1993 citado por Prado *et al.*, 2002.

**Figura 2.10** – Síntese do processo produtivo do ferro gusa e geração de escória



Fonte: Caselato, 2004.

**Figura 2.11** – Relação entre a geração de escória e a produção de ferro gusa e aço bruto e nove países.



Fonte: Caselato, 2004.

**Figura 2.12** – Geração anual de escória de siderurgia em diferentes países.

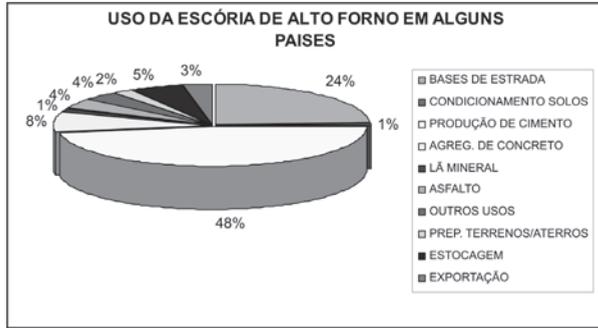


Fonte: Pereira, 2004.

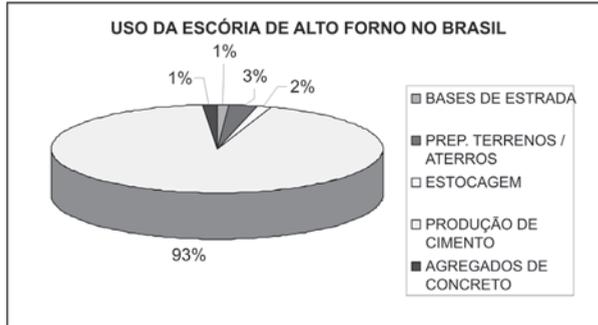
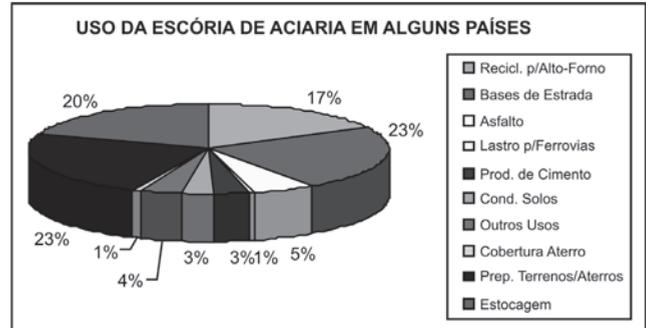
**Figura 2.13** – Principais pólos siderúrgicos do Brasil.

O uso da escória de siderurgia no Brasil e em outros oito países se concentra na produção de cimento. Nesses outros países, a participação da agricultura no uso da escória de aciaria apresenta maior percentual de distribuição, 3% ou 1,3 milhão de toneladas, em comparação a escó-

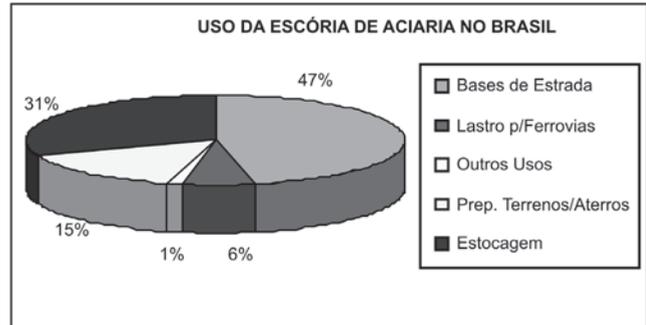
ria de alto forno, 1% ou 0,5 milhão de toneladas (CASELATO, 2004). O uso da escória de aciaria na agricultura, de preferência a de alto forno, segundo Pereira (2004), é devido ao seu elevado potencial corretivo do solo e maior solubilidade do Si.



(a)



(b)



Fonte: Caselato, 2004.

**Figura 2.14** – Distribuição do uso da Escória de Alto Forno em oito países (EUA, Canadá, Reino Unido, França, Alemanha, Itália, Japão e Coréia) (a) e no Brasil (b).

Fonte: Caselato, 2004.

**Figura 2.15** – Distribuição do uso da Escória de Aciaria em oito países (EUA, Canadá, Reino Unido, França, Alemanha, Itália, Japão e Coréia) (a) e no Brasil (b).

**Tabela 2.3** – Características químicas de diferentes escórias de siderurgia geradas no Brasil, segundo diversos autores.

Autor	Escória	Origem	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	PN calc.	PN det.
			g kg <sup>-1</sup>			- %E.CaCO <sub>3</sub> (2) -	
Pereira <i>et al.</i> (2003)	Alto-forno	Silifétil	383,7	301,4	75,2	72,6	70,0
Pereira <i>et al.</i> (2003)	LD	Silifétil	122,8	409,4	72,7	91,3	90,5
Pereira <i>et al.</i> (2003)	LD	Rhodia	461,1	435,0	6,8	79,6	63,0
Pereira <i>et al.</i> (2003)	Alto-forno	CSN	333,8	425,3	52,3	89,1	87,5
Pereira <i>et al.</i> (2003)	LD	CSN	109,1	281,9	76,1	69,3	96,0
Pereira <i>et al.</i> (2003)	AOD	Acesita	100,9	564,2	57,8	115,3	118,5
Pereira <i>et al.</i> (2003)	LD	Belgo Mineira	173,8	395,2	95,5	94,4	102,5
Pereira <i>et al.</i> (2003)	Forno elétrico	Siderme	158,3	257,3	125,7	77,2	95,0
Pereira <i>et al.</i> (2003)	Aço inox	Recmix	232,2	367,0	94,3	89,1	87,5
Pereira <i>et al.</i> (2003)	LD	Açominas	111,9	276,3	28,5	56,5	91,5
Pereira <i>et al.</i> (2003) a	-	-	350,0	-	-	-	-
Pereira <i>et al.</i> (2003) a	-	Dedini	273,0	-	-	-	-
Prado <i>et al.</i> (2003) a	-	Piracicaba - SP		257,0	64,0	-	61,0
Prado <i>et al.</i> (2000)	Alto-forno	Cossisa	399,0	302,0	28,0	-	60,9
Veloso <i>et al.</i> (1992)	-	-	-	434	76	-	86
Prado <i>et al.</i> (2004)	Aciaria	-	-	293,1	61,8	67,78	60,00
Amaral <i>et al.</i> (1994)	Alto-Forno	-	-	306	132,7	-	85

### 2.9. Escória de desfosforação

É uma escória de siderurgia originada da produção de aço proveniente de minério de ferro rico em fósforo. Também é conhecida como “escória de Thomas” ou “escória básica” ou “fosfato de Thomas”. É usada na agricultura principalmente como fonte de fósforo para as culturas.

Segundo Malavolta (1981), no processo Thomas, usado para a produção de aço a partir de minério

de ferro rico em fósforo, o ferro fundido vai para os conversores Bessemer, cujas paredes são revestidas por dolomita (carbonato de cálcio e magnésio). O fósforo se oxida graças ao ar insuflado e, à temperatura de 1200 – 1300°C, se combina com a cal adicionada (15% do peso da carga) e com a sílica para produzir sílico-fosfatos de cálcio, que escorrem e, depois de resfriados, são moídos. Esse material obtido é bastante denso e tem cor negra ou negra acinzentada.

Tabela 2.4 – Análise típica da escória de Thomas.

Item	%
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total	17,6
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> solúvel em ácido cítrico	15,5
SiO <sub>2</sub>	8,5
CaO total	47,2
CaO livre	2,8
MgO	2,1
MnO	4,3
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,8
F	0,008

Fonte: adaptada de Malavolta, 1981.

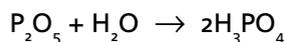
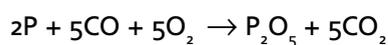
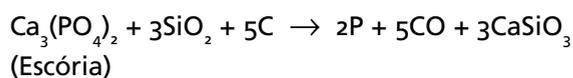
## 2.10. Escória de produção de ácido fosfórico por via seca

A produção de ácido fosfórico pode ser feita por duas vias: “Via Úmida”, a qual origina como subproduto o Gesso (CaSO<sub>4</sub>), e “Via Seca”, que apresenta como subproduto um silicato de Cálcio (CaSiO<sub>3</sub>).

Malavolta (1981) descreve, de maneira simplificada, o processo por “Via Seca”. Em forno elétrico, na presença de areia e de coque, o fósforo do concentrado fosfático (apatita ou fosforita) é reduzido à forma elementar que é, em seguida, oxidada a P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, o qual, com a água, produz H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, seguindo os seguintes passos:

1. sinterização (= formação de nódulos) do concentrado fosfático para facilitar o escapamento dos vapores de P;
2. adição de areia (SiO<sub>2</sub>) e coque triturados;
3. fusão da carga a mais de 1300 °C com produção de vapores de P elementar;
4. saída e oxidação dos vapores de P;
5. adição de água para a formação de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> a 85%;
6. retirada do arsênico por H<sub>2</sub>S.

As reações podem ser descritas de forma resumida como:



## 2.11. Termofosfato

O fosfato natural, enriquecido com silicato de magnésio, é fundido num forno elétrico, à temperatura de 1500°C. O produto incandescente obtido é submetido a um choque térmico com jato de água e, depois de seco, é moído e ensacado (FERTIMITSUI, 2007).

O termofosfato Yoorin, comercializado no Brasil, contém teores totais na ordem de 19% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 26-30% de CaO, 14-18% de MgO e 25% de SiO<sub>2</sub> (MALAVOLTA, 1981), 18,5% de SiO<sub>2</sub> (PEREIRA, 2003 a).

## 3. Enxofre

### 3.1. Enxofre na planta

Uma ótima revisão sobre o assunto foi realizada por Vitti et al (2006). Segundo os autores, a mais importante fonte de enxofre para as plantas é o sulfato retirado pelas raízes. Na faixa de pH fisiológico, o ânion divalente SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> é retirado pelas raízes em baixas quantidades, e o transporte de sulfato ocorre principalmente pelo xilema. Em muitos aspectos, a assimilação de enxofre é semelhante ao que ocorre com a assimilação de nitrato. Por exemplo, a redução é necessária para a incorporação de enxofre aos aminoácidos, proteínas e coenzimas e, nas folhas verdes, a ferredoxina é o agente redutor para o enxofre. Entretanto, ao contrário do nitrogênio-nitrato, o sulfato pode ser utilizado sem o processo de redução e incorporado a estruturas orgânicas essenciais, como os sulfolípidos nas membranas ou polissacarídeos como o agar.

As folhas, além do sulfato (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), são capazes de absorver também o gás SO<sub>2</sub> (dióxido de enxofre) existente no ar, fazendo-o, porém, de modo pouco eficiente. A utilização direta do S elementar (molhável) ocorre nas folhas e frutos de plantas cítricas. Empregando-se o produto marcado com enxofre – 35 (radioativo), produto esse muito usado como defensivo, verificou-se sua penetração bem como sua incorporação em proteínas. Por outro lado, foi demonstrada também, em solução nutritiva, a absorção direta dos aminoácidos

metionina e cisteína pelas raízes do tomateiro, que, assim, conseguiu satisfazer a totalidade das suas exigências de enxofre.

A primeira etapa na síntese de compostos orgânicos contendo enxofre é a redução do sulfato ao aminoácido cisteína. O sulfato é muito estável e necessita ser ativado antes que alguma reação subsequente possa ocorrer. A ativação inicia com a reação entre o sulfato e o ATP, para formar 5'-adenililsulfato (o qual é, algumas vezes, referido como adenosina-5'-fosfosulfato e abreviado como APS) e pirofosfato (PPi).

A redução do sulfato à cisteína altera o número de oxidação do enxofre de +6 para -4, assim necessitando da transferência de 10 elétrons. A glutationa, a ferredoxina, o NAD(P)H ou a O-acetilserina podem atuar como doadores de elétrons em vários passos da via metabólica.

O S é constituinte dos aminoácidos cistina, cisteína e metionina (principalmente) e, portanto, das proteínas que os contêm. A tiamina, a biotina e a coenzima A (COa) são enzimas de baixo peso molecular, essenciais para o metabolismo quando ligadas às apoenzimas apropriadas (proteínas), que as requerem para exercer sua função de catalisadores orgânicos (enzimas).

As funções que o S desempenha na via da planta podem ser classificadas em estruturais e metabólicas.

Devido à sua participação num número tão grande de compostos e de reações, a falta de S provoca uma série muito grande de distúrbios metabólicos:

- (i) diminuição na fotossíntese e na atividade respiratória;
- (ii) queda na síntese de proteínas com o aparecimento de altas relações N solúvel / N protéico;
- (iii) redução no teor de gorduras;
- (iv) acúmulo de carboidratos solúveis com elevação da relação C solúvel / C amido;
- (v) diminuição na fixação livre e simbiótica do N<sub>2</sub> do ar.

Finalmente, o enxofre desempenha funções que determinam aumentos na produção e na qualidade do produto obtido. Como já citado, esse nutriente é componente dos aminoácidos cistina, metionina e cisteína, os quais são componentes da proteína, encerrando 90% do S encontrado na planta. Além disso, como supracitado o enxofre está ligado às vitaminas biotina e tiamina, sendo esta última um problema nutricional em países que têm como base de alimentação o arroz (VITTI, 1986). De acordo este mesmo autor, o enxofre é componente do acetil - COa, composto que representa o "centro nervoso" no ciclo de Krebs, influenciando, portanto, todo o metabolismo de gordura e carboidratos. Participa, ainda, da composição de azeites de alho livres de N (bissulfeto de alila) nas plantas bulbosas (cebola, alho) e de essência de mostarda com N (glucosídeo) nas crucíferas; na ativação de enzimas proteolíticas, como a ficinase (figo), bromelina (abacaxi) e papaína (mamão); da composição das ferredoxinas, complexos enzimáticos envolvidos na fotossíntese e na fixação do N<sub>2</sub>; e na formação de clorofila. Os grupos sulfidrilos (-SH), no tecido vegetal, parecem aumentar a resistência ao frio e à seca.

Analisando as funções do enxofre, segundo Vitti *et al.* (1988), observa-se que o enxofre está intimamente ligado ao metabolismo do nitrogênio, convertendo-o de N não protéico em proteína, sendo, inclusive, utilizada a relação N/S do vegetal para avaliar o seu estado nutricional. Assim, as leguminosas, como possuidoras de altos teores de proteínas, exigem quantidades mais elevadas de enxofre para o seu desenvolvimento, tendo ainda nestas plantas, papel na formação e desenvolvimento de nódulos, bem como no processo de fixação de N<sub>2</sub>.

Assim que disponibilizado de uma ou outra forma, o contato sulfato-raíz se faz, principalmente, por fluxo de massa. O sulfato é transportado predominantemente na direção acrópeta, da base da planta para cima. A capacidade da planta para mover o enxofre na direção basípeta é muito pequena, por isso, em casos de carência de enxofre, os sintomas aparecem, em primeiro lugar, nos ór-

gãos mais novos, como as folhas mais novas (MALAVOLTA, 1980).

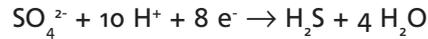
Segundo Vitti *et al.* (2006), a necessidade de enxofre para o bom crescimento das plantas varia de 0,1 a 0,5% do peso seco do material vegetal. As crucíferas são as mais exigentes, com teores nas sementes entre 1,1 a 1,7% de S, na base de peso seco. O conteúdo de enxofre nas proteínas varia entre frações protéicas de células individuais e entre espécies de plantas. Em geral, as proteínas das leguminosas contêm menos enxofre do que as proteínas dos cereais, e a relação N/S gira em torno de 40/1 e 30/1, nestas espécies, respectivamente.

### 3.2. Enxofre no solo

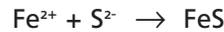
A crosta terrestre encerra cerca de 0,11% de enxofre (S), e a rocha mãe constitui a fonte primária do elemento: ela fornece sulfetos metálicos, os quais, em solos bem arejados, se transformam rapidamente em sulfatos. A esse enxofre mineral juntam-se o S orgânico, proveniente dos restos animais e vegetais, e o da matéria orgânica dos solos. Outra fonte adicional de S é o SO<sub>2</sub> da atmosfera, oriundo da queima de combustíveis fósseis, da madeira e de outros produtos orgânicos. O dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) é oxidado em parte a SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> e trazido ao solo pelas chuvas em proporções que, no Brasil, correspondem a 5-30 kg de S/ha em um ano, insuficiente para atender à exigência da maioria das culturas na maioria das condições (MALAVOLTA, 1980).

A maior parte do enxofre do solo está na forma orgânica que, por via microbiana, é convertido em produtos disponíveis para a planta. Não se considerando os solos semi-áridos onde, devido à drenagem insuficiente, acumulam-se grandes quantidades de sulfatos de potássio, magnésio e sódio, a matéria orgânica é o principal reservatório de S para as culturas.

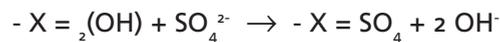
Nos solos bem aerados, o S mineral aparece quase exclusivamente como sulfato (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>). Em condições anaeróbicas, os sulfetos (S<sup>-2</sup>) são a forma mais comum. Em solos arroseiros inundados ocorre a reação:



O gás sulfídrico produzido poderá reagir com o ferro originando sulfeto ferroso (afastando o perigo de toxidez à cultura por conta do sulfeto):



Os sulfatos existem no solo em solução ou em outras formas: em combinações pouco solúveis com Fe e Al adsorvidos. A adsorção do SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> depende dos teores de argila, da presença de hidróxidos de ferro e de alumínio e do pH. Segundo Malavolta (1980), acredita-se que a adsorção do sulfato implique na substituição de OH dos hidróxidos e da argila:

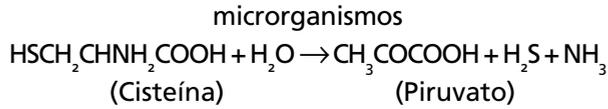


O aumento do pH (ou seja, adição de hidroxila – OH<sup>-</sup>) deslocaria a reação para a esquerda libertando assim o SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> adsorvido. Por isso, a ‘fixação’ do sulfato (‘passagem’ para a fase sólida) é maior em solos ácidos, sendo diminuída pela calagem e adubação fosfatada.

Ao lado dos sulfatos, podem aparecer, em pequena proporção e de forma transitória, produtos intermediários que se formam durante as transformações do S no solo e que eventualmente vão resultar em sulfato: sulfito (SO<sub>3</sub><sup>2-</sup>); tiosulfato (S<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>2-</sup>); politionato (S<sub>4</sub>O<sub>6</sub><sup>2-</sup>). Não se sabe muito a respeito dos compostos orgânicos de S que ocorrem no solo. Admite-se que o total de enxofre orgânico esteja repartido do seguinte modo:

- I – Aminoácidos livres: pequena proporção de cisteína, cistina, metionina, sulfóxido de metionina, metionina sulfona, ácido cisteico, ácido cisteino-sulfínico, taurina;
- II – Sulfato orgânico: alta proporção como SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> ligado a fenóis, colina (base nitrogenada), carboidratos e lipídeos;
- III – Derivados de quinonas e aminoácidos com enxofre: alta proporção, parte do húmus, muito resistentes à mineralização por microorganismos.

O processo de mineralização pode ser ilustrado tomando-se a cisteína (livre ou oriunda da decomposição da matéria orgânica) como exemplo:

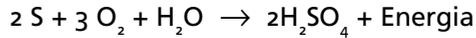
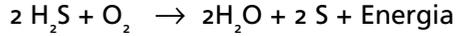


Do mesmo modo que a mineralização do N, a do S depende da relação C/S do substrato (no caso do N exige-se um quociente C/N = 10 a 15). O sulfato se forma somente quando o teor de enxofre da matéria orgânica excede a necessidade alimentar dos microrganismos do solo. Assim, quando C/S é menor que 200, o sulfato geralmente se acumula; acima de 400, o  $\text{SO}_4^{2-}$  produzido e mais o existente no solo são imobilizados. Estima-se que nos solos das regiões temperadas úmidas 1-3% do S total seja (m) mineralizado(s) por ano (MALAVOLTA, 1980).

O  $\text{H}_2\text{S}$  libertado na mineralização do enxofre sofre oxidação:

- 1) em condições anaeróbicas – bactérias autotróficas dos gêneros *Beggiatoa* e *Thiothrix* que depositam S elementar;

- 2) em condições aeróbicas – bactérias do gênero *Thiobacillus*, principalmente, que produzem  $\text{H}_2\text{SO}_4$  no meio, como demonstram as reações a seguir:



De acordo com Malavolta (1980), as quantidades de enxofre nos solos minerais vão de 0,02 – 0,2%; e, em solos orgânicos, podem chegar a 1%. O S orgânico nos solos brasileiros representa 60-90% do total.

### 3.3. O ciclo do enxofre

Na Figura 3.1 é apresentado um esquema do ciclo do enxofre no sistema solo-planta-atmosfera. Como o do nitrogênio, o ciclo do enxofre é bastante complexo em função dos diferentes números de oxidação que o elemento assume nos diferentes compartimentos.

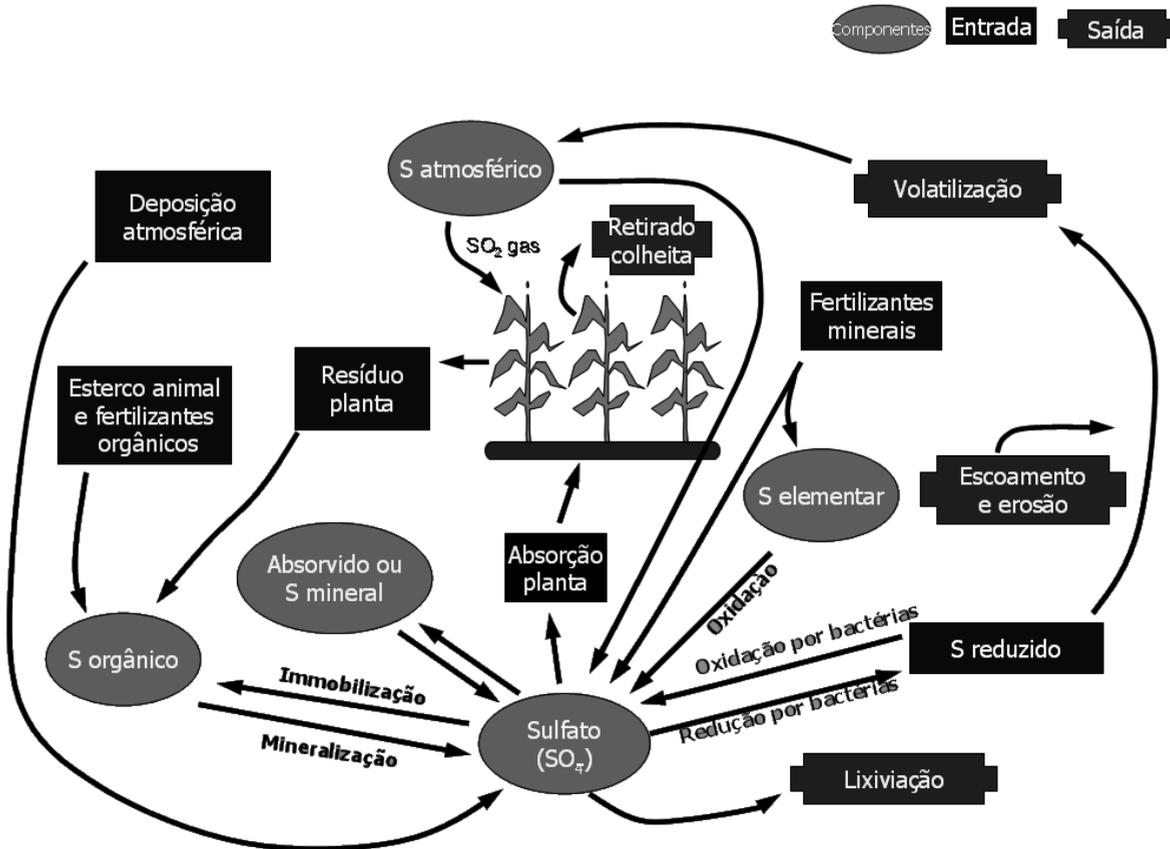


Figura 3.1 – Ciclo do enxofre.

### 3.4. Fontes de enxofre

A matéria orgânica é a principal fonte de enxofre no solo. Mais de 90% do enxofre encontrado no solo pode estar ligado à matéria orgânica. Outras fontes naturais incluem os esterco animais, a água e a atmosfera. Os esterco de animais contém níveis de enxofre variando de menos de 0,02 a até cerca de 0,3%. Obviamente, o conteúdo varia consideravelmente, dependendo das espécies, do método de armazenagem e aplicação. Quanto às fontes atmosféricas, como o dióxido de enxofre, Vitti *et al.* (2006) afirmam que estão dissolvidos na água da chuva e da neve, as quais podem contribuir com até 22 kg de enxofre por hectare, por ano. Segundo os autores, este valor pode ser maior em algumas áreas industrializadas, devido à poluição atmosférica. Em sua revisão, os autores levantam dados indicando que a água de irrigação pode conter níveis bem altos de enxofre. Quando o teor de  $S-SO_4$  na água de irrigação excede 5 partes por milhão (ppm), a deficiência de enxofre é pouco provável. Mesmo assim, aplicações de fertilizantes de "arranque", contendo enxofre, podem ser benéficas por causa da mobilidade do sulfato durante chuvas intensas.

De acordo com aqueles autores, a maioria das fontes de enxofre é formada por sulfatos (Tabela 3.1) e é moderadamente ou muito solúvel em água. As formas solúveis também incluem bissulfetos, os tiosulfatos e os polissulfatos. A forma mais importante de enxofre insolúvel em água é o enxofre elementar, que precisa ser oxidado a S-sulfato antes de as plantas poderem utilizá-lo. A oxidação bacteriana do enxofre no solo é favorecida por:

- temperaturas do solo mais elevadas;
- teor adequado de umidade;
- aeração do solo;
- partículas menores.

A Tabela 3.1 lista as fontes mais comuns de fertilizantes com enxofre, juntamente com suas fórmulas químicas e porcentagem de enxofre, bem como na Tabela 3.2, são listadas outras possíveis fontes, não tão comuns, de enxofre presente nos fertilizantes.

Tabela 3.1 – Fontes comuns de enxofre

Material fertilizante	Fórmula química	Teor de S (%)
Sulfato de amônio	$(NH_4)_2SO_4$	22-24
Tiosulfato de amônio	$(NH_4)_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$	26
Polissulfeto de amônio	$(NH_4)_2S_x$	40-50
Sulfato de potássio	$K_2SO_4$	15-17
Sulfato de potássio e magnésio	$K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$	22-24
Gesso	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	12-18
Sulfato de magnésio	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	12-14
Superfosfato simples	$Ca(H_2PO_4)_2 + 2CaSO_4 \cdot 2H_2O$	10-12
Enxofre elementar	S	> 85

Fonte: Vitti *et al.* (2006) a partir de Lopes (1998).

Tabela 3.2 – Fertilizantes portadores de enxofre

Fertilizantes	% de S
Sulfonitrato de amônio	15
Torta de algodão	0,3
Esterco de curral	0,5
Resíduo de esgoto	0,1-0,5
Tancage	0,9
Superfosfato triplo	0,3-1,0
Superfosfato amoniacal	12
Fosfossulfato de amônio	15

Fonte: modificado de Malavolta (1976) por Vitti *et al.* (2006).

### 3.5. Enxofre elementar

O enxofre elementar (S) é um elemento químico não-metálico, de densidade 2 g/cm<sup>3</sup>, dureza 1,5 a 2,5, insolúvel em água, ponto de fusão em torno de 115°C, massa atômica 32,064, cor amarelo limão variando conforme o teor de impurezas, desde as tonalidades verde e cinza até o vermelho.

A exploração das jazidas do enxofre podem ser a céu aberto ou subterrâneas. Na forma de elemento nativo, apresenta-se cristalizado em prisma ortorrômbico, bipiramidal, e na forma de massas reniformes maciças, estalactíticas, como incrustações, terrosas. Pode ser encontrado nos depósitos vulcânicos, bacias de evaporitos e domo salinos.

Na forma de composto, ocorre como sulfato (anidrita, barita, gipisita, kieserita) e sulfeto (calcopirita, pirrotita, esfalerita, galena,

arsenopirita, pirita). Outras fontes de extração provêm das minas de carvão (pirita), xisto pirobetuminoso, petróleo e fosfogesso (produto obtido na produção do ácido fosfórico, pela ação do ácido sulfúrico sobre rochas fosfáticas).

De acordo com Brasil (2001), dos vários processos que se tentou no passado para a obtenção do enxofre nativo, o que mais se destacou e deu resultados foi em 1890, quando o alemão Herman Frash desenvolveu o sistema de injeção de água (vapor) à 160°C sob pressão, provocando uma fusão *in loco*, bombeando, em seguida, para a planta de produção. Com esta descoberta, reativou-se uma das maiores reservas mundiais (abandonada em 1865) de enxofre, perto de Lake Charles, Louisiana, nos EUA.

O outro processo bastante conhecido e mais usado atualmente é o "Processo Clauss". Em 1882, Carl Friedrich Clauss patenteou, na Inglaterra, seu grande feito. Transformava o H<sub>2</sub>S em enxofre elementar com auxílio de um catalisador aquecido em determinada temperatura. O enxofre recuperado provinha dos gases de uma coqueria que produzia gás de iluminação. Sucessivamente foi aplicado para recuperação de enxofre dos gases do processo *Le Blanc*, e dos gases de fábricas de sulfureto de carbono.

O enxofre tem uma variedade muito grande em sua utilização. A principal utilização, mais de 87%, está na sua transformação em ácido sulfúrico, principal insumo na composição do fertilizante. Sua segunda utilização seria na forma de SO<sub>2</sub> (polpa e papel, açúcar e vinho) e o restante, na indústria química e na agricultura (sulfureto de carbono, borracha, produtos químicos diversos, inseticidas e fungicidas). Outros usos: pigmentos de tinta, siderurgia, superfosfato, sulfato de amônio, petróleo (refino).

### 3.6. Reservas de enxofre

No Brasil, oficialmente não há conhecimento de reservas de enxofre nativo. De 1972 em diante, com a entrada da Superintendência da Industrialização do Xisto (Petrosix), grupo da Petrobras, em São Mateus do Sul, no estado do Paraná, o Brasil pas-

sou a ter 48 milhões de toneladas em suas reservas do enxofre proveniente dos folhelhos pirobetuminosos, pertencentes a Formação Iratí, que abrange os estados: São Paulo, Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Goiás (BRASIL, 2001).

Em 1978, as pesquisas da Petromisa, holding da Petrobras S.A., concluíram em seus relatórios recursos de enxofre nativo estratiforme. O local é conhecido como Castanhal, no município de Siriri, estado de Sergipe (BRASIL, 2001).

Além das reservas oficiais conhecidas dos folhelhos pirobetuminosos, tem-se as reservas provenientes dos sulfetos: de zinco (1.240.978 toneladas), município de Paracatu/MG, do cobre (35.610 toneladas), no município de Jaguarari/BA, do ouro (748.021 toneladas), município de Nova Lima/MG e níquel, município de Fortaleza de Minas/MG (BRASIL, 2001).

Outras fontes de recursos minerais para obtenção de enxofre que, no momento, estão desativadas ou em fase de pesquisa mineral devem ser mencionadas: os rejeitos piritosos do carvão mineral, em Santa Catarina e do Rio Grande do Sul, das piritas de Ouro Preto, em Minas Gerais, e do enxofre contido nas reservas de gipsita (BRASIL, 2001).

### 3.7. Produção de enxofre

A produção de enxofre provém basicamente de três fontes: na forma elementar através do gás SO<sub>2</sub>, em poços profundos ou a céu aberto, no processo de ustulação de sulfetos metálicos transformado em H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e na recuperação através de gases naturais e residuais de refinarias (BRASIL, 2001). Os dados de produção são apresentados na Tabela 3.3.

Historicamente, o início da produção de enxofre no Brasil data de 1971, quando a Petrobras passou a recuperar o enxofre dos gases sulfurosos resultante do processo de refino do petróleo. Mais tarde, em 1974, inicia-se em S. Mateus do Sul, no estado do Paraná, a recuperação do enxofre a partir do Xisto pirobetuminoso. Em 1979, a Indústria Carboquímica Catarinense (ICC), localizada em Imbituba - SC, iniciou a produção de ácido sulfúrico, utilizando a pirita procedente das minas de

carvão catarinenses. Em 1999, após vinte anos de produção, a Indústria Carboquímica deixa de produzir o ácido sulfúrico (BRASIL, 2001).

Entretanto, desde que surgiram no cenário nacional, as empresas Companhia Paraibuna de Metais (zinco - 1980) e a Caraíba Metais (cobre - 1982) têm investido somas expressivas em suas plantas para suprir o mercado de cobre e zinco. Estudos da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais (ABM) revelam que o consumo de zinco deve crescer a taxa de 6,5% ao ano. Isto indica que haverá no futuro aumentos na produção de zinco e concomitantemente de enxofre. Atualmente, a produção nacional provém à partir do Xisto pirobetuminoso, dos gases sulfurosos resultante do refino do petróleo e dos sulfetos das minas de cobre, zinco e ouro, através do processo pirometalúrgico (ustulação) (BRASIL, 2001).

O enxofre é um dos insumos básicos na produção de fertilizantes e está longe de suprir a demanda forte em que caminha o mercado nacional. Nos últimos treze anos (1988-2000), a produção brasileira de enxofre ficou praticamente no mesmo patamar de 300 mil toneladas anuais. Em 2000, o consumo de fertilizantes bateu recorde, total de

16,5 milhões de toneladas, crescimento de 20% sobre o ano anterior. A maior parcela foi suportada pelas compras de importados. Nesta parcela, o enxofre contribuiu com 1.708.000 toneladas, entre bens primários e compostos químicos (BRASIL, 2001).

Buscando melhorar a oferta dos produtos no mercado, as empresas ligadas a estes segmentos têm procurado ampliar seu parque industrial, apesar da capacidade instalada de produção ter sido reduzida em 105.600 t/a, devido à extinção da Indústria Carboquímica Catarinense (ICC) no início de 1999. O motivo que levou a ICC ao fechamento de sua planta industrial foi praticamente causado pela abertura comercial instituída pelo governo brasileiro, na década de 90. A pirita procedente das carboníferas, tinha teor baixo, que variava entre 4 a 8%. Havia a necessidade de elevar o teor para 44%, em média, no concentrado. Este processo tinha custo bastante elevado e, somando-se o preço relativamente alto da rocha fosfática procedente de Goiás, distante mais de 1000 km, acabaram por pressionar as empresas nacionais a importarem rocha fosfática da Espanha e Marrocos a preços bem inferiores (BRASIL, 2001).

Tabela 3.3 – Evolução da produção do enxofre - 1988 – 2000.

Anos	A partir do Xisto	A partir do Petróleo	Outras formas <sup>(1) *</sup> Sulfetos: Cu, Zn, Au	Enxofre Total
1988	6.039	61.396	254.869	322.304
1989	5.721	60.121	235.721	301.563
1990	5.644	58.322	212.106	276.072
1991	5.456	46.826	230.023	282.305
1992	18.182	58.513	208.741	285.436
1993	21.924	58.582	185.229	265.735
1994	20.708	53.256	182.791	256.755
1995	22.472	41.951	174.736	239.159
1996	25.319	59.267	196.405	280.991
1997	20.476	33.823	177.818	232.117
1998	24.582	36.973	187.943	249.498
1999	23.313	57.962	217.119	298.313
2000	23.720	81.762	217.238	322.720

Fonte: Brasil, 2001.

Unidade: t

\*inclusive pirita até 1998

(1) Enxofre contido no H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> obtido nos processo ustulação das plantas industriais, Cu, Zn, Au.

### 3.8. Consumo aparente

O enxofre é uma das mais importantes matérias-primas na indústria. O complexo industrial de fertilizantes é seguramente sua grande demanda. Mais de 85% do enxofre anualmente consumido no mundo é convertido em ácido sulfúrico.

No Brasil, cerca de 78% é usado na fabricação de ácido sulfúrico (Figura 3.2), o qual reage com a rocha fosfática produzindo o ácido fosfórico, que, associado a outros insumos, produzirá os fertilizantes. O consumo do enxofre brasileiro tem participação industrial muito diversificada em sua aplicação. Sua demanda pode ser nos fertilizantes, produtos químicos, rayon, papel celulose, tratamento de água e outras utilizações.

Até final dos anos 90, a região Sul do Brasil sempre foi a maior produtora de grãos, na qual os fertilizantes tinham destino certo. Hoje, grandes empresas, como a Fosfertil e a Copebrás, descobriram no "Triângulo Mineiro", estado de Minas Gerais, seu grande *nicho* no mercado nacional investindo grandes somas em suas plantas industriais e de mineração.

Se feitas projeções futuras, conforme mostrado pela Figura 3.3, fica clara a tendência da curva de produção e consumo do enxofre. Enquanto a demanda cresce para algo em torno de 2.473 milhões toneladas, em 2010, a produção ofertada registra apenas 365 mil toneladas, acusando um déficit de 2.108 milhões toneladas.

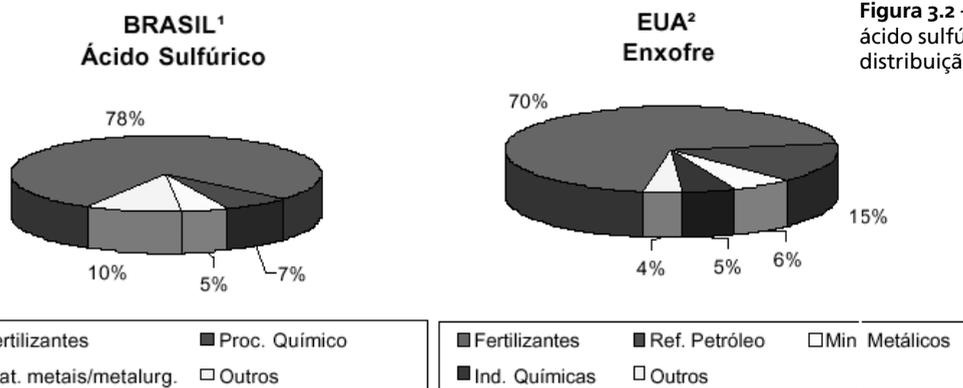
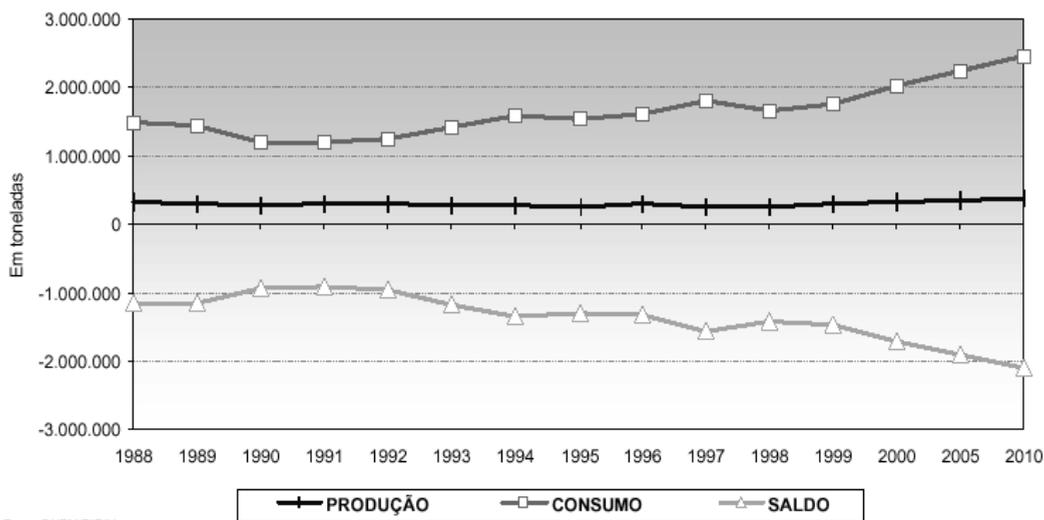


Figura 3.2 – Consumo setorial de ácido sulfúrico/enxofre (2000): distribuição percentual.

Fonte: <sup>1</sup> ABIQUIM – 2000

<sup>2</sup> Mineral Commodity Summaries, 2001



Fonte: DNPM/DIRIN

Figura 3.3 – Balanço Produção-Consumo do Enxofre (1988 – 2010)

Já notificamos que o consumo de fertilizantes no Brasil tem crescido a cada ano e que a venda de fertilizantes, em 2000, aumentou 20% em relação a 1999. Há necessidade de grandes investimentos e melhores estratégias nestas áreas de produção mineral, tanto por parte do Governo como do empresariado.

### 3.9. Aplicação de S e resultados agrônômicos

A resposta de algumas culturas à aplicação de enxofre também é discutida por Vitti *et al.* (2006) e os dados são resumidos na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 – Respostas de culturas brasileiras ao enxofre.

Cultura	Aumento da produção (%)
Algodão	37
Arroz	16
Café	41
Cana	11
Citros	18
Colonião	21
Colza	51
Feijão	28
Milho	21
Repolho	9
Soja	24
Sorgo	10
Trigo	26

Os autores destacam que os sulfatos solúveis em água são imediatamente disponíveis para as plantas e devem ser utilizados quando o enxofre é necessário com rapidez, e que, segundo Lopes (1998), estas fontes são usadas normalmente em fertilizantes sólidos, apesar de soluções de sulfato de amônio também serem comuns, como por exemplo, sulfuran.

Já o tiosulfato de amônio (12% de N e 26% de S) é um líquido claro adequado para uso em fertilizantes fluidos ou água de irrigação. Ele deve ser colocado junto com a semente; se aplicado em faixas, estas devem estar a pelo menos 2,5 cm da semente. O polissulfeto de amônio é uma fonte

fluida vermelha de enxofre, com um forte cheiro de amônia, comumente aplicado na água de irrigação (LOPES, 1998). O enxofre neste último produto precisa ser oxidado para a forma de sulfato para se tornar disponível às plantas.

Apesar de o gesso (sulfato de cálcio) ser menos solúvel em água do que os outros sulfatos, ele é uma fonte eficiente e barata de enxofre.

A adubação com enxofre elementar resulta em resposta mais lenta da cultura do que com fontes na forma de sulfato, por causa da sua insolubilidade em água. Para ser eficiente, essa fonte deve ser incorporada ao solo com bastante antecedência às necessidades das culturas. Usado de maneira adequada, entretanto, o enxofre elementar é uma fonte de enxofre agrônômica e economicamente adequada (LOPES, 1998). Uma objeção ao uso do enxofre finamente moído é o desconforto para o usuário. Ele é muito pulverulento e pode apresentar riscos de incêndio sob condições de armazenamento. O problema é usualmente evitado pela granulação do enxofre com argila bentonita.

## 4. Minerais e rochas para aplicação direta

### 4.1. Silicatos

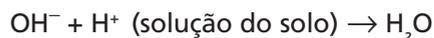
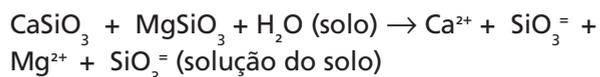
Os silicatos constituem a classe mineral de maior importância, representando cerca de 25% dos minerais conhecidos e quase 40% dos minerais comuns. Representam cerca de 95% do volume da crosta terrestre, dos quais cerca de 59,5% são representados por **feldspatos**, 16,8% por **anfíbios** e **piroxênios**, 12% por **quartzo** e 3,8% pelas **micas**, os outros minerais (silicatos e não silicatos) perfazem o volume de aproximadamente 7,9%. Dessa maneira, a grande maioria das rochas é formada por silicatos, sendo raras as rochas magmáticas, metamórficas e sedimentares que não possuem como minerais essenciais silicatos (MACHADO *et al.*, 2007).

Sendo o solo um material proveniente do intemperismo das rochas, espera-se que o mesmo apresente grande influência dos silicatos. Porém,

nos solos tropicais, devido ao avançado processo de intemperismo, ocorre acentuada remoção de sílica e bases do perfil dos solos, contribuindo para uma menor interferência destes minerais nas propriedades dos nossos solos em comparação aos solos de regiões temperadas. Tal fato provoca problemas típicos como o da acidez, afetando pronunciadamente a produtividade das culturas. Dentre os materiais que podem atuar como corretivos de acidez do solo estão os silicatos, que, nos solos pouco intemperizados, contribuem naturalmente para uma menor acidez destes com uma maior retenção de bases no perfil do solo (>CTC) e liberação da base  $\text{SiO}_3^-$ , para a solução do solo.

O uso dos silicatos como corretivos de acidez se deve ao efeito que apresenta a base  $\text{SiO}_3^-$  como agente neutralizante da acidez (ALCARDE, 1992), mas nem todos os silicatos possuem eficiência na correção da acidez do solo, dependendo principalmente da sua solubilização e reação alcalina. Os silicatos de Cálcio e Magnésio, devido a sua reação alcalina, abundância e ao fornecimento de elementos essenciais (Ca e Mg) para as plantas, são os materiais potencialmente utilizados como corretivos de acidez do solo, em preferência a outros silicatos, como os de metais alcalinos (ex: Silicato de Sódio), mesmo sendo esses de maior solubilidade (VOGEL, 1981).

Segundo Alcarde (1992), a reação de neutralização de acidez do solo por silicatos pode ser resumida pela seguinte expressão:



Das fontes disponíveis de silicatos de cálcio e magnésio no Brasil, destacam-se as escórias de siderurgia (*slags*), devido a sua grande quantia gerada anualmente. Além destas, encontram-se disponíveis outros materiais, como: minerais silicatados, escória da produção de fósforo (via seca), termofosfatos e rochas trituradas.

## 4.2. Wollastonita (Silicato de Cálcio)

A Wollastonita, por ser um mineral de Si, rico de  $\text{CaSiO}_3$ , mundialmente utilizado em estudos por apresentar alto grau de pureza, é tido como fonte-padrão de silicato (PEREIRA, 2003). O produto comercial disponível no Brasil é denominado Vansil EW-20 (KORNDORFER, 1999).

Segundo Pereira *et al.* (2003), este produto apresenta 50,3% de  $\text{SiO}_2$ , 42,4% de CaO, 0,2% de MgO e poder neutralizante (PN) de 76,4% e 73,5%, calculado e determinado, respectivamente.

## 4.3. Serpentinó (Silicato de Magnésio)

O serpentinó é uma rocha rica em silício e magnésio, que pode ser utilizada como fertilizante. Trata-se de um composto tido como rejeito na extração da crisotila, mineral este utilizado na fabricação de produtos como fibrocimento, papéis e papelões, filtros e produtos têxteis. Para a utilização desse material na agricultura, o serpentinó deve passar por transformações físico-químicas que destruam as fibras de amianto presentes no produto. Um dos processos de transformação possível é a calcinação, nome dado a todos os processos de decomposição térmica em altas temperaturas em presença de ar, onde o material é submetido a altas temperaturas, aproximadamente 950°C, para transformar silício insolúvel em formas disponíveis para a absorção vegetal (BONADIO *et al.*, 2004).

## 4.4. Farinha de rochas (MB-4)

O produto comercializado no Brasil como MB-4 é proveniente da moagem de rochas silicatadas e composto de diversos silicatos, dos quais destacam-se os de magnésio, cálcio e ferro, que se apresentam acompanhados de fósforo, potássio e enxofre, além de vários micronutrientes, tais como: cobre, zinco, manganês e cobalto (MIBASA, 2007).

Segundo Pereira *et al.* (2003), este produto apresenta 47,9% de  $\text{SiO}_2$ , 2,2% de CaO, 19,1% de MgO e poder neutralizante (PN) de 51,5 e 33,0%, calculado e determinado, respectivamente.

Apesar desta fonte apresentar altos teores de Si total, a liberação para as plantas é muito baixa.

Para plantas de arroz, a aplicação de MB-4 equivalente a 268 kg ha<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub> e não diferiu da testemunha sem aplicação, enquanto, para outras fontes de Si testadas, os teores de silício na massa seca da parte aérea apresentaram-se até 2,8 vezes maiores que esta fonte (PEREIRA *et al.*, 2003). O teor de Si solúvel em Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> + NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> é de apenas 2%, o que caracteriza a baixa reação no solo desta fonte (PEREIRA, 2004).

#### 4.5. Gesso agrícola e gesso natural

O gesso agrícola não possui valor neutralizante, mas pode ser utilizado como fonte de cálcio. Como foi apresentado anteriormente, é enorme a extensão de solos ácidos no Brasil. Eles predominam em quase todas as regiões, só ocupando menores áreas relativas no semi-árido nordestino (OLMOS e CAMARGO, 1976). Na importante região dos cerrados, a predominância de solos ácidos, com elevadas saturações de alumínio trocável e baixos teores de cálcio, é quase absoluta (LOPES, 1983; GOEDERT, 1985; MALAVOLTA e KLIEMANN, 1985 in RAIJ, 1988).

É sabido que fazendo o uso da calagem se pode corrigir a acidez do solo. Entretanto, essa correção acontece de forma efetiva até os 20 primeiros centímetros de profundidade (RAIJ, 1988). Trabalhos publicados recentemente demonstram que a correção da acidez das camadas mais inferiores do solo favorece o desenvolvimento das raízes das culturas.

A aplicação de gesso agrícola não substitui o calcário, já que o primeiro não possui íons capazes de neutralizar o H<sup>+</sup> (hidroxila e carbonatos). No entanto, mostra respostas favoráveis pela minimização do efeito do alumínio tóxico, pela sua percolação no perfil do solo, e aumenta a quantidade de cálcio trocável na solução do solo. O gesso natural (CaSO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O) tem sido usado em solos ácidos, para melhorar o ambiente radicular das plantas, e na recuperação de solos afetados por sais. O gesso agrícola pouco afeta o pH do solo, não mais do que 0,3 unidades, mesmo quando aplicado em doses elevadas (MEURER, 2004). Entretanto, em solos ácidos, pode diminuir a

toxicidade do alumínio para as plantas, reduzindo a atividade do Al<sup>+3</sup> na solução do solo pelo aumento da quantidade de Ca<sup>+2</sup> e SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>. O incremento do teor de Ca<sup>+2</sup> em profundidade aumenta a relação Ca: Al, o que resulta numa melhoria do ambiente radicular pela diminuição da atividade do alumínio.

#### 4.6. Gesso agrícola como condicionador de solos

Em geral as características que mais influenciam a taxa de dissolução do gesso são as quantidades de água e sais solúveis presentes na composição e o tamanho das partículas do produto. Segundo Alcarde (1983; 1985), os materiais que podem ser utilizados como corretivos de acidez do solo são aqueles que contêm como constituintes neutralizantes ou princípios ativos, óxidos, hidróxidos, carbonatos e silicatos de cálcio e ou magnésio e, neste caso, o gesso agrícola não se enquadraria como corretivo de acidez do solo.

Velloso *et al.* (1992), trabalhando com diferentes doses de gesso e corretivos, na incubação em vasos, não observou efeito de variação do pH para o gesso, considerando não ser o mesmo um material corretivo para a acidez do solo.

Para culturas exigentes em cálcio, como as do amendoim e a macieira, a aplicação do gesso ao solo é uma boa alternativa, principalmente em solos com alta CTC, onde a lixiviação do Mg e K não é tão grande (ERNANI, 1986; ERNANI *et al.*, 1993). Ernani *et al.* (2001) verificaram que o gesso agrícola promoveu maior percolação de cátions do que os corretivos da acidez, principalmente quando incorporados aos solos. Segundo os mesmos autores, a aplicação do gesso na superfície do solo, diminui a magnitude da lixiviação e prolonga seu efeito residual.

Existem algumas recomendações para a aplicação de gesso junto com calcário. No entanto, a adição de gesso ao corretivo reduz o PRNT (Poder Relativo de Neutralização Total) da mistura, visto que este produto não apresenta efeito neutralizante da acidez.

Em algumas situações, como pomares e áreas florestais, nas quais é inviável economicamente fazer a correção da acidez com calcário em profundidade, o gesso tem sido utilizado, apesar de poucos estudos realmente comprovarem benefícios. Deve-se destacar que os ânions  $\text{SO}_4^{-2}$ , além de favorecerem a movimentação descendente do  $\text{Ca}^{+2}$  no perfil do solo, podem também favorecer a percolação de outros cátions, como o  $\text{Mg}^{+2}$  e o  $\text{K}^+$ .

De acordo com Quaggio (2000), em solos ácidos, a eficiência da adubação pode ser reduzida drasticamente, sobretudo quando o subsolo for ácido, restringindo o enraizamento mais profundo das plantas. A calagem não corrige essa acidez de subsuperfície em tempo razoável para evitar que ocorra risco de perda de produtividade devido aos veranicos. Nesta situação, o uso de gesso agrícola é uma solução para este problema, devido à sua rápida mobilidade na camada arável, indo se fixar abaixo desta, favorecendo o aprofundamento das raízes (SOUZA *et al.*, 1996).

Os solos afetados por sais podem ser melhorados com a percolação com água de boa qualidade, no caso dos solos salinos, e com a aplicação do gesso agrícola ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), no caso dos sódicos e salino-sódicos. A utilização do gesso na recuperação desses solos está baseada na reação de troca do  $\text{Ca}^{+2}$  pelo  $\text{Na}^+$ . Como o cálcio é mais fortemente adsorvido que o sódio pelo sulfato, há formação de sulfato de sódio, que deve ser removido por percolação com água de boa qualidade (isenta de sais). Barros *et al.* (2004) verificaram que a aplicação de gesso e da mistura de gesso mais calcário revelou-se técnica eficaz de correção de sodicidade de solos em estudo, podendo ser recomendado como fonte de cálcio para recuperação de solos salino-sódicos. A recuperação de solos afetados por sais tem como objetivo principal a redução da concentração dos sais solúveis e do sódio trocável no perfil do solo, a um nível não prejudicial ao desenvolvimento das culturas. A diminuição do grau de salinidade envolve o processo de solubilização e a conseqüente remoção pela água de percolação, enquanto a diminuição do teor de sódio trocável envolve o seu deslocamento do

complexo de troca pelo cálcio antes do processo de lixiviação.

#### 4.7. Gesso agrícola como fonte de nutrientes na agropecuária

O sulfato de cálcio, ou gesso, é um composto que, além de ser encontrado nessa forma na natureza, pode ser também obtido como subproduto no processo de fabricação de ácido fosfórico. A aplicação de sulfato de cálcio no solo, feita de forma isolada, pode acarretar alguns problemas, sendo o mais importante o da lixiviação de potássio e magnésio, decorrente da passagem deste sal através do perfil de solo. Diante dessas possíveis perdas de cátions básicos do solo, pelo uso isolado do gesso agrícola, tem sido sugerida a sua combinação com calcário, em proporções adequadas, como uma alternativa para amenizar a lixiviação de bases e possíveis desbalanços nutricionais.

Segundo Souza *et al.* (2001), no cerrado, quando o teor médio de enxofre nas camadas de solo (0-20 e 20-40 cm) forem altas ( $\geq 10 \text{ mg.dm}^{-3}$ ), não é necessário adubar com enxofre, salvo para o estabelecimento ou recuperação de pastagens, se na camada de 0-20 cm o teor estiver abaixo de  $4 \text{ mg.dm}^{-3}$ , quando se recomenda a aplicação de  $100 \text{ kg.ha}^{-1}$  de gesso, para suprir a demanda inicial da pastagem.

O enxofre pode ser exigido de diferentes formas entre as espécies e mesmo entre os cultivares de uma mesma espécie e ao longo do ciclo de desenvolvimento das plantas. De uma forma geral, as crucíferas (repolho, brócolos) e as liliáceas (cebola e alho) são as culturas que apresentam as maiores exigências, chegando a valores de até 70-80 kg de S.ha<sup>-1</sup>. A Comissão de Fertilidade do Estado de Minas Gerais sugere que o gesso deve ser utilizado quando a camada subsuperficial (20-40 e 30-60 cm) apresentar menos que  $0,3 \text{ meq Ca. } 100\text{cm}^{-3}$  e/ou mais que  $0,5 \text{ meq Al}^{+3}. 100\text{cm}^{-3}$  e/ou mais que 30% de saturação de alumínio (m).

Para solos com bom manejo de matéria orgânica e sem a presença de camadas subsuperficiais com elevado teor de alumínio e/ou baixo teor de cálcio, o potencial de utilização do gesso se torna muito pequeno e antieconômico. Situação semelhante

ocorre com plantas de ciclo curto e sistema radicular pouco profundo, como é o caso de olerícolas.

A correção dos níveis de cálcio trocável se faz pela calagem e também pela aplicação de outras fontes de adubos que possuam cálcio. A calagem visa a correção do pH do solo, a neutralização do alumínio e a elevação dos teores de cálcio e de magnésio.

A correção dos níveis de magnésio trocável no solo ocorre sempre pela aplicação de calcário para a correção da acidez dos solos, pois os calcários, de modo geral, possuem magnésio, principalmente se for aplicado calcário dolomítico ou magnesiano. Mas sua deficiência pode ser corrigida pela aplicação de sulfato de magnésio, sulfato duplo de potássio e magnésio, fosmag e termofosfato magnesiano.

#### 4.8. Produção do gesso agrícola

A agricultura é um mercado que pode incrementar muito a mineração da gipsita, mineral do qual se pode produzir o gesso agrícola. Entretanto, no Brasil, o gesso agrícola ou fosfogesso somente é produzido nas indústrias de fertilizantes quando do ataque da rocha fosfática pelo ácido sulfúrico.

O fosfogesso, por sua vez, é subproduto indesejável nestas indústrias, pois, além de ser produzido em grandes quantidades, apresenta uma granulometria muito fina, um elevado grau de umidade e é de difícil manuseio. Os principais produtores brasileiro de fosfogesso são a Bunge Fertilizantes S.A., a Copebrás Ltda., Fosfertil Fertilizantes Fosfatados S.A., entre outros.

Além dos materiais apresentados até o momento, o uso de fertilizantes como superfosfato simples (18% de Ca), superfosfato triplo (10% de Ca), fosfatos naturais (28% de Ca), fosmag (18% de Ca), cloreto de cálcio (25% de Ca) também são fontes de cálcio para as plantas.

### 5. Ação dos corretivos

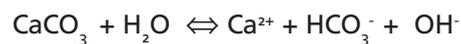
Para se obter os melhores resultados com a aplicação de corretivos, alguns princípios devem ser obedecidos, de forma a se conseguir a melhor efi-

ciência do produto. A aplicação em área total é desejável e deve ser realizada mecanicamente para se obter a melhor homogeneidade possível na distribuição. De preferência, aplicar metade da dose antes da aração e a outra metade antes da gradagem. Isso permite que a incorporação seja feita da forma mais homogênea possível, atingindo a profundidade desejada. Para a maioria dos produtos, a aplicação com cerca de 60 dias antes do plantio é suficiente para que os efeitos benéficos da correção já possam se expressar devidamente.

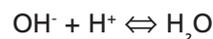
#### 5.1. Aplicação de corretivos

Os materiais que são capazes de uma ação de neutralização da acidez do solo são denominados de corretivos da acidez (serão discutidos mais adiante). Ao entrar em contato com a solução do solo, os corretivos dissociam-se, criando as condições necessárias para a neutralização da acidez. Para exemplificar as principais reações, vamos utilizar o carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ).

Ao entrar em contato com a solução, o  $\text{CaCO}_3$  dissocia-se, conforme abaixo:



A hidroxila liberada reage com o excesso de  $\text{H}^+$  existente na solução do solo, neutralizando-o:



Parte do hidrogênio em excesso pode reagir também com íon carbonato, formando ácido carbônico, que pode, ainda, transformar-se em água e gás carbônico:

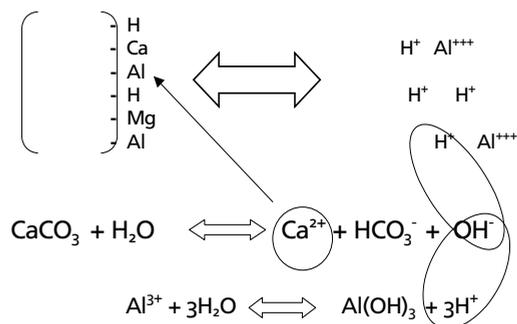


Num solo ácido com excesso de hidrogênio e alumínio em solução a ação do corretivo vai se dando na solução do solo com a neutralização do hidrogênio e, com o aumento do pH da solução o alumínio tóxico, começa a precipitar na forma de hidróxido, que pode sofrer polimerização com o passar do tempo.

À medida que o hidrogênio e o alumínio vão sendo neutralizados na solução, esta vai sendo abastecida por alumínio e hidrogênio que se en-

contram adsorvidos no complexo de troca, em função do equilíbrio dinâmico existente entre os íons adsorvidos e em solução. Desta forma, introduz-se o conceito de tamponamento da solução do solo. O Al adsorvido está formando complexos externos e é deslocado pelo excesso de cálcio adicionado através do corretivo (ação de massa). A quantidade de hidrogênio no complexo de troca na camada difusa é muito pequena. A maior parte do hidrogênio está fazendo parte da superfície de troca em ligação covalente. Conforme o pH da solução vai aumentando, devido à neutralização do H e do Al, o hidrogênio da superfície do complexo de troca vai sendo liberado e neutralizado.

Pode-se então, conceituar que o  $H^+$  na solução do solo é a **acidez ativa** (indicada pelo valor do pH do solo) e que a **acidez potencial** é representada pelo  $Al^{3+}$ , adsorvido no complexo de troca, e o hidrogênio da superfície dos colóides, que é extraído com uma solução tampão a pH 7,0.



## 5.2. Métodos de determinação da necessidade de calagem

Os métodos utilizados para a determinação da necessidade de calagem no País são:

### a) Método SMP

Trata-se de fazer reagir o solo na presença de uma solução tampão composta de p-nitrofenol, trietanolamina, cromato de potássio, cloreto de cálcio e acetato de cálcio ajustada a pH 7,5 (solução SMP), numa relação solo-água-tampão de 6:6:6. Como o solo comporta-se também como uma substância tamponante, ao equilibrar-se com

a solução SMP tem-se um pH resultante que será tanto maior quanto menor for o poder tampão do solo. Este pH resultante é conhecido como pH SMP ou índice SMP.

Este pH de equilíbrio foi, então, correlacionado com a necessidade de calagem para se atingir um determinado valor de pH, utilizando diversos solos com diferentes comportamentos. Dessa forma, obteve-se uma curva de calibração do método, que posteriormente foi convertida em tabela para a recomendação de calagem.

Os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina implantaram oficialmente esse método, em 1968 e 1972, respectivamente, a partir de uma série de experimentos que proporcionaram as condições de se obter as curvas de calibração necessárias. Note-se que o emprego desse método exige que esta calibração seja feita de forma regionalizada. Na época da implantação do método, estava em ascensão a questão da aplicação de calcário para atingir pH 6,5. Assim, as primeiras recomendações visavam adicionar corretivo ao solo com o objetivo de atingir esse valor de pH. A partir de 1987, adotou-se a necessidade de calagem para se atingir também pH 5,5 ou 6,0. A Tabela 4.1 mostra a indicação da necessidade de calagem para os estados do RS e SC, adotada pela Comissão de Fertilidade do Solo destes estados.

De acordo com a Comissão, para algumas situações, principalmente em solos arenosos, o índice SMP pode não indicar necessidade de calagem, embora o pH esteja em nível inferior ao desejado (baixo poder tampão do solo). Nestes casos, pode-se utilizar, opcionalmente as seguintes expressões:

pH a atingir	Necessidade de calagem =
5,5	- 0,653 + 0,480 MO + 1,937 Al
6,0	- 0,516 + 0,805 MO + 2,435 Al
6,5	- 0,122 + 1,193 MO + 2,713 Al

MO – matéria orgânica (%); Al – cmolc.dm<sup>-3</sup>

### b) Elevação dos teores de Ca + Mg e/ou eliminação do Al tóxico (método da EMBRAPA)

Originalmente, esse método pretende analisar duas situações:

- (1) Elevar a concentração de Ca + Mg para 2 ou 3 cmolc.dm<sup>-3</sup> em função da exigência em Ca e Mg da espécie vegetal a ser utilizada na área. Normalmente eleva-se para 3 quando se trata de leguminosas e para 2 quando gramíneas;
- (2) Eliminar o Al<sup>3+</sup> tóxico quando a sua concentração no solo é superior a 0,3 cmolc.dm<sup>-3</sup>.

**Tabela 4.1** - Recomendação de calagem (PRNT 100%) com base no índice SMP, para a correção da acidez dos solos do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.

Índice SMP	pH em água a atingir		
	5,5	6,0	6,5
	----- calcário t/ha -----		
4,4	15,0	21,0	29,0
4,5	12,5	17,3	24,0
4,6	10,9	15,1	20,0
4,7	9,6	13,3	17,5
4,8	8,5	11,9	15,7
4,9	7,7	10,7	14,2
5,0	6,9	9,7	12,9
5,1	6,2	8,8	11,7
5,2	5,5	8,0	10,6
5,3	4,9	7,2	9,6
5,4	4,4	6,5	8,7
5,5	3,8	5,8	7,9
5,6	3,3	5,1	7,0
5,7	2,8	4,5	6,2
5,8	2,3	3,9	5,5
5,9	1,9	3,3	4,8
6,0	1,4	2,8	4,1
6,1	1,0	2,2	3,4
6,2	0,6	1,7	2,7
6,3	0,2	1,2	2,1
6,4	0,0	0,6	1,5
6,5	0,0	0,2	0,7
6,6	0,0	0,0	0,0

Fonte: Tabela elaborada com base na análise conjunta dos dados obtidos por Ernani e Almeida (1986), Kaminiski (1974), Murdock *et al.* (1969) e Anjos *et al.* (s.d.).

Teoricamente, para se neutralizar 1 cmolc.dm<sup>-3</sup> de Al<sup>3+</sup> são necessários 1 cmolc.dm<sup>-3</sup> de CaCO<sub>3</sub>. Porém, no solo, esta neutralização não ocorre como em laboratório, utilizando-se soluções puras. Foi então introduzido o conceito do fator de calagem que visa acrescentar maiores quantidades de CaCO<sub>3</sub> para neutralizar o alumínio presente, em função do poder de tamponamento do solo e das perdas que ocorrem tanto na distribuição quanto na incorporação do corretivo. Assim, esse fator de calagem pode variar de 1,5 a 3,0-3,5, em função da textura do solo, teor de matéria orgânica, relevo, forma de

aplicação e incorporação do calcário (mecânica ou manual). Utilizam-se os maiores valores quanto maior for o teor de argila e matéria orgânica do solo e quanto piores as condições para homogeneidade de aplicação e incorporação do corretivo.

Verificadas as duas condições (1 e 2 acima), deve-se, então, optar pelo maior valor, uma vez que o (Ca,Mg)CO<sub>3</sub> irá desempenhar as duas funções, ou seja, elevar os teores de Ca e Mg e neutralizar o alumínio. O emprego deste método varia de estado para estado. As diferentes interpretações do método podem ser visualizadas na Tabela 4.2.

A título de exemplo, digamos que temos uma área cuja análise química de terra revelou os seguintes resultados:

— Ca + Mg = 1,0 cmolc.dm<sup>-3</sup>

— Al<sup>3+</sup> = 0,7 cmolc.dm<sup>-3</sup>

— Cultura – considerada como pouco exigente em Ca e Mg

— Textura – argilosa

— Matéria orgânica – teor médio

— Relevo da área ondulado – aplicação e incorporação manual

**Critério 1:** N.C. = 2 – 1 [ Ca + Mg ] = 1,0 cmolc.dm<sup>-3</sup>

**Critério 2:** N.C. = [Al] x f (fator de eficiência) = 0,7 x 3,0 = 2,1 cmolc.dm<sup>-3</sup>

De acordo com o método, escolhe-se o maior valor, ou seja, 2,1 cmolc.dm<sup>-3</sup>

### c) Elevação da saturação de bases (método do IAC)

À medida que se eleva a quantidade de bases do solo pela utilização de um corretivo, existe correspondente aumento no pH. Dessa forma, com experimentação exaustiva, foi estabelecida, para o estado de São Paulo, inicialmente, qual a saturação de bases a ser atingida no solo para que as principais espécies cultivadas expressassem melhor a sua produtividade. Determinou-se, assim, o valor V a ser atingido no solo utilizando-se um corretivo da acidez.

Como exemplo, temos um solo cuja soma de bases inicial (Valor S) seja de 1,5 cmolc.dm<sup>-3</sup> e valor H (H+Al) de 4,5 cmolc.dm<sup>-3</sup>. Calcula-se então o valor T e a seguir a saturação de bases inicial do solo (Vi%).

$$\text{Valor T} = \text{Valor S} + \text{Valor H}$$

$$\text{Valor T} = 1,5 + 4,5 = 6,0 \text{ cmolc.dm}^{-3}$$

$$Vi\% = \frac{\text{valor S}}{\text{valor T}} \times 100$$

$$Vi\% = \frac{1,5}{6,0} \times 100$$

$$Vi\% = 25\%$$

Admitindo-se que a cultura a ser implantada tenha o seu valor de saturação de bases indicado

pelo boletim 100 do IAC de 70% (V a ser atingido com a utilização do corretivo), tem-se Vf% = 70. Assim, a necessidade de calagem pode ser calculada através da seguinte expressão:

$$N.C. = \frac{(Vf - Vi) \times \text{Valor T}}{100}$$

$$N.C. = \frac{(70 - 25) \times 6,0}{100}$$

$$N.C. = 2,7 \text{ cmolc.dm}^{-3}$$

Ressalte-se que 1,0 cmolc.dm<sup>-3</sup> equivale a 1 t. de calcário com 100% PRNT.ha<sup>-1</sup>.20 cm<sup>-1</sup> de profundidade.

Para a determinação do Valor H (H+Al), pode-se utilizar a extração com acetato de cálcio a pH 7,0 ou obtido por correlação com o índice SMP.

**Tabela 4.2** - Métodos de Recomendação da Necessidade de Calagem utilizados em alguns estados do Brasil.

Estado/Região	Método	Observação
BA, Sudeste	Ca + Mg, saturação de Al	Elevar Ca + Mg = 3 cmolc dm <sup>-3</sup>
AL	Al e Ca + Mg	Elevar Ca + Mg = 2 cmolc dm <sup>-3</sup>
BA, Oeste	Al e Ca + Mg	Elevar Ca + Mg = 3 cmolc dm <sup>-3</sup>
BA, PE, região semi-árida	Ca + Mg	Elevar Ca + Mg = 2 ou 3 cmolc dm <sup>-3</sup>
CE	Al e Ca + Mg	Elevar Ca + Mg = 2 cmolc dm <sup>-3</sup>
GO	Al e Ca + Mg	Elevar Ca + Mg para 2 ou 3 cmolc dm <sup>-3</sup>
PE	Al e Ca + Mg	Elevar Ca + Mg = 2 cmolc dm <sup>-3</sup>
RJ	Al e Ca + Mg	Elevar Ca + Mg para 2 ou 3 cmolc dm <sup>-3</sup>
Cerrados	Saturação em bases, Al e Ca + Mg	Saturação em bases de 50%
ES	Saturação em bases, Al e Ca + Mg	Elevar Ca + Mg para 2 ou 3 cmolc dm <sup>-3</sup>
MS Centro-Sul	Saturação em bases (60%), Al e Ca + Mg	Elevar Ca + Mg para 2 ou 3 cmolc dm <sup>-3</sup>
MT e Centro-Norte MS	Saturação em bases (50%), Al e Ca + Mg	Elevar Ca + Mg para 2 ou 3 cmolc dm <sup>-3</sup>
PR	Saturação em bases, Al trocável	Variável em função da espécie
MG	Saturação em bases, Al, Ca + Mg e argila	Elevar Ca + Mg para 1, 2 ou 3 cmolc dm <sup>-3</sup>
RS, SC	SMP e equações envolvendo MO e Al	Tabela para pH em água 5,5, 6,0 e 6,5 Variável em função da espécie

## Referências citadas

- ALCARDE, J. C. Corretivos da acidez dos solos: características e interpretações técnicas. São Paulo: ANDA, 1992. 62p. (Boletim técnico 6).
- ALCARDE, J.C. Características de qualidade dos corretivos de acidez do solo. SIMPÓSIO SOBRE ACIDEZ E CALAGEM. XV REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO. Campinas, São Paulo, 1983, p.10-31.
- ALCARDE, J.C. Corretivos da acidez dos solos: características de quantidade. In: SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS AGRÍCOLAS. Fundação Cargill, Piracicaba, 1985, p.97-119.
- AMARAL, A. S. do.; DEFELIPO, B. V.; COSTA, L. M. da.; FONTE, M. P. F. Liberação de Zn, Fe, Mn e Cd de quatro corretivos de acidez e absorção por alface em dois solos. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília-DF, v. 29, n. 9, p. 1351-1358, set.1994.
- BARBOSA FILHO, M.P.; SNYDER, G.H.; PRABHU, A.S.; DATNOFF, L.E.; KORNDÖRFER, G.H. Importância do silício para a cultura do arroz (uma revisão de literatura) Informações Agronômicas, n.89, p.1- 8, 2000.
- BARROS, M.de F.C; FONTES, M.P.F; ALVAREZ, V.H; RUIZ, H.A. Recuperação de solos afetados por sais pela aplicação de gesso de jazida e calcário no nordeste do Brasil. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.8, n.1, p.59-64, 2004.
- BONADIO, R. F.; NOLLA, A.; KORNDÖRFER, G. H.; BRAGA A. M. C. Efeito da calcinação e adição de KCl ao serpentinito quanto à disponibilidade do silício no solo cultivado com arroz irrigado. In: III Simpósio Sobre Silício na Agricultura. Uberlândia – MG, 2004 CD-ROM.
- BRASIL - Ministério de Minas e Energia. ANUÁRIO MINERAL BRASILEIRO 2004. Parte III – Estatística por Substâncias. Informe mineral. Brasília – DF. 130 pag. 2005.
- BRASIL - Ministério de Minas e Energia. Enxofre, In: Informe mineral. Brasília – DF. 18 pag. 2001.
- BRASIL - Ministério de Minas e Energia. Mapa Demonstrativo de Portarias de Lavra – 2006. Brasília–DF. 16 pag. 2006.
- CASELATO, L. Ações institucionais da siderurgia brasileira para disseminação do uso das escórias de aciaria. In: Workshop: Gerenciamento de Resíduos Sólidos no Setor Mineiro-Metarlúgico. Rio Janeiro ? RJ, 2004 ? Disponível na Internet via URL: <http://www.abmbrasil.com.br/cim/download.asp>. Arquivo capturado em 31 de Janeiro de 2007.
- DECHEN, A. R. e NACHTIGALL, G. R. Elementos essenciais e benéficos às plantas superiores, In: FERNANDES, M. S. (ed) Nutrição Mineral de Plantas. SBCS. 2006. p. 1-5.
- EMBRAPA-CNPS. Principais Limitações dos Solos do Brasil. Autores: Fernando Cezar S. do Amaral; Nilson Rendeiro Pereira,; Waldir de Carvalho Junior. Data de publicação no site: 31/05/1999. <http://www.cnps.embrapa.br/search/pesqs/tema3/tema3.html>. Consultado em 23/10/2002.
- ERNANI, P. R. Alterações em algumas características químicas da camada arável do solo pela aplicação de gesso agrícola sobre a superfície de campos nativos. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, SP, v. 10, p. 241-245, 1986.
- ERNANI, P. R.; CASSOL, P.C.; MORIGUTTI, H.; GARCIA, M.; VACARO, M. Aplicação de gesso agrícola e lixiviação de potássio em solos catarinenses. Pesquisa Agropecuária Gaúcha, FLORIANÓPOLIS, v. 1, n. 1, p. 7-16, 1993.
- ERNANI, P. R.; RIBEIRO, M.F.S.; BAYER, C. Modificações químicas em solos ácidos ocasionadas pelo método de aplicação de corretivos da acidez e de gesso agrícola. Scientia Agricola, Piracicaba, SP, v. 58, n. 4, p. 825-831, 2001.
- FERTIMITSUI. Fertilizantes Mitsui Yoorin. Disponível na Internet via URL: [www.fertimitsui.com.br/template.php?page=main](http://www.fertimitsui.com.br/template.php?page=main). Arquivo capturado em 31 de Janeiro de 2007.
- GOEDERT, W. J. (ed.) Solos dos cerrados: Tecnologias e estratégias de manejo. São Paulo: Nobel; Brasília – EMBRAPA, CPAC, 1985.422P.

- KORNDÖRFER, G. H.; COELHO, N. M.; SNYDER, G.H. e MIZUTANI, C.T. Avaliação de métodos de extração de silício para solos cultivados com arroz de sequeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.23, n.1, p.101-106. 1999.
- LOPES, A. S. Solos sob "cerrado": Características, propriedades e manejo. Piracicaba, POTAFOS, 1983.162p.
- LOPES, A.S. (Trad. e adap.) Manual Internacional de Fertilidade do Solo. INSTITUTO DA POTASSA & FOSFATO - POTAFÓS, Piracicaba, 1998. Cap. 6. p. 79-85.
- MACHADO, F.B.; MOREIRA, C.A.; ZANARDO, A.; ANDRE, A.C.;GODOY, A.M.; FERREIRA, J. A.; GALEMBECK, T.; NARDY, A.J.R.; ARTUR, A.C.; OLIVEIRA, M.A.F.de. Enciclopédia Multimídia de Minerais e Atlas de Rochas. [on-line]. Disponível na Internet via URL: <http://www.rc.unesp.br/museudpm>. Arquivo capturado em 31 de Janeiro de 2007.
- MALAVOLTA, E. Elementos de Nutrição Mineral de Plantas. Agronômica "Ceres", São Paulo, 1980. 251p.
- MALAVOLTA, E. Manual de Química Agrícola – Nutrição de Plantas e Fertilidade do Solo. 1º ed. Agronômica "Ceres", São Paulo, 1976. Capítulo 9, 367-370p.; Cap. 10, p. 388-389; Cap. 11, p. 400-408.
- MALAVOLTA, E. Manual de Química Agrícola: Adubos e Adubação. 3.ed. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1981. 596p.
- MALAVOLTA, E; e KLIEMANN, H. J. Desordens nutricionais no cerrado. Piracicaba: POTAFOS, 1985.136p.
- MEURER, E.J. Fundamentos de química do solo. 2ª edição Porto Alegre, Ed. Gênese, 290p. 2004.
- MIBASA - Disponível em: [www.mibasa.com.br/camp\\_continua.htm](http://www.mibasa.com.br/camp_continua.htm). Acesso em: em 31 de Janeiro de 2007.
- OLMOS, I. L. J. e CAMARGO, M.N. Ocorrência de alumínio tóxico nos solos do Brasil, sua caracterização e distribuição. *Ciência e Cultura* 28:171-180,1976.
- PEREIRA, H. S. Características agronômicas e eficiência de fontes de silício. In: III Simpósio Sobre Silício na Agricultura. Uberlândia – MG, 2004 CD-ROM.
- PEREIRA, H. S.; VITTI, G.C.; KORNDORFER, G. H. Extratores de silício disponível em escórias e fertilizantes. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27:265-274, 2003.
- PRADO R. M.; FERNANDES, F. M. e NATALE, W. Efeito residual da escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo na soqueira de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27:287-296, 2003.
- PRADO R. M.; NATALE, W.; FERNANDES, F. M.; CORRÊA, M. C. M. Reatividade de uma escória de siderurgia em um latossolo vermelho distrófico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28:197-205, 2004.
- PRADO, R. de M. e FERNANDES, F. M. Escória de siderurgia e calcário na correção da acidez do solo cultivado com cana-de-açúcar em vaso. *Scientia Agrícola*, Piracicaba-SP, v. 57, n. 4, p. 739-744, out./dez. 2000.
- PRADO, R. de M.; COUTINHO, E. L. M.; ROQUE, C. G.; VILLAR, M. L. P. Avaliação da escória de siderurgia e de calcário como corretivos da acidez do solo no cultivo da alface. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília-DF, v. 37, n. 4, p. 539-546, abr. 2002.
- QUAGGIO, J.A. Acidez e calagem em solos tropicais. Campinas: Instituto Agronômico, 2000, 111p.
- SOUZA, D.M.G.de LOBATO, E.; REIN, T.A. Uso de gesso agrícola nos solos dos cerrados. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1996. 20p. (Embrapa-CPAC, Circular Técnica, 32).
- SOUZA, D.M.G.de; VILELA, L.; LOBATO, E.; SOARES, W.V. Uso de gesso, calcário e adubos para pastagens no cerrado. Circular Técnica, Embrapa-Cerrados, Planaltina, n.12, p.1-22, 2001.
- TEDESCO, M.J. e GIANELLO, C. Escolha do Corretivo da Acidez do Solo. In: Anais do 2º Seminário

sobre Corretivos da Acidez do Solo, Santa Maria, p. 108-127. 1989.

USDA, Natural Resources Conservation Service – NRCS. World Soil Resources Map Index, Washington, D.C., <http://www.nrcs.usda.gov/technical/worldsoils/mapindx>. consultado em 23/10/2002.

VELOSO, C. A. C.; BORGES, A. L.; MUNIZ, A. S.; VEIGAS, I. A. de J. M. Efeito de diferentes materiais no pH do solo. *Scientia Agrícola*, Piracicaba-SP, 49(1):123-128,1992.

VITTI, G.C., LIMA, E., CICARONE, F. Cálcio, Magnésio e Enxofre - CAPÍTULO 12. In: Fernandes, M.S. Ed. *Nutrição Mineral de Plantas*. SBCS. 2006.

VITTI, G.C.; FERREIRA, M.E.; MALAVOLTA, E. Respostas de culturas anuais e perenes. In: Seminário sobre o uso de fosfogesso na agricultura, 1, Brasília, 1985. Anais. Brasília, EMBRAPA-DDT, 1986. p.17-44.

VITTI, G.C.; MALAVOLTA, E.; FERREIRA, M. E. Respostas de Culturas Anuais e Perenes à Aplicação de Enxofre. In: ENXOFRE E MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Londrina, 1986. Anais. Londrina: EMBRAPA-CNPSO/IAPARA/SBCS, 1988. 317p.

VOGEL, A. *Química analítica qualitativa*. 5.ed. São Paulo, Mestre Jou, 1981. 665p.

# Capítulo 11 - Micronutrientes na agricultura brasileira: disponibilidade, utilização e perspectivas

## Os autores

### Álvaro Vilela de Resende

Engenheiro Agrônomo, D. Sc. em Solos e Nutrição de Plantas, Pesquisador da Embrapa Cerrados.

E-mail: alvaro@cpac.embrapa.br

## 1. Introdução

Uma vez que os solos brasileiros, em sua maioria, apresentam baixa fertilidade natural ou foram exauridos pelo cultivo continuado, a correção de deficiências de micronutrientes tem constituído aspecto fundamental no manejo das lavouras. Atualmente, existem no mercado numerosas opções de produtos fertilizantes contendo micronutrientes, para uso em diversas formas de aplicação. Contudo, apesar da reconhecida importância da adubação com esses nutrientes, o tema não é satisfatoriamente contemplado nas ações de pesquisa e várias questões vêm sendo tratadas sem o devido respaldo científico. Neste capítulo procurou-se abordar a importância para o crescimento vegetal, a dinâmica e disponibilidade no solo, as fontes e formas de aplicação de micronutrientes, bem como a evolução e perspectivas de sua utilização no País.

## 2. Micronutrientes vegetais

Por serem exigidos em maiores quantidades pelas plantas, os elementos químicos carbono (C), oxigênio (O), hidrogênio (H), nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) são denominados macronutrientes. Nos cultivos comerciais, normalmente, o suprimento dos seis últimos nutrientes depende do uso de fertilizantes e corretivos de solo. Existem ainda outros sete elementos requeridos em pequena proporção, mas que são igualmente indispensáveis para o adequado desenvolvimento dos vegetais, os

chamados micronutrientes. É sabido que o boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo) e zinco (Zn) desempenham funções essenciais no metabolismo da planta, sem as quais a produção das culturas é inviabilizada. Embora não seja essencial para os vegetais, o cobalto (Co) é fornecido para plantas leguminosas, pois trata-se de um elemento necessário ao processo de fixação biológica de N. Outros elementos químicos, como o silício (Si) e o níquel (Ni), são considerados úteis para as plantas, uma vez que podem promover efeitos favoráveis ao crescimento, apesar de não terem propriamente uma função de nutriente.

## 3. Micronutrientes no solo

### 3.1. Principais minerais e rochas fontes de micronutrientes no solo

#### a) Boro

O elemento está presente em diversos minerais, usualmente na forma de boratos ou borossilicatos, embora poucos tenham importância como fonte de B. A turmalina seria o mineral de maior relevância para os solos ácidos de regiões úmidas. Outros importantes minerais de boro são o bórax, a colemanita e a ulexita. Ao contrário dos demais micronutrientes, há maior concentração de B em granitos do que em basaltos. Comparativamente às rochas maciças, as rochas clásticas, calcárias, folhelhos e aquelas que contêm argilas marinhas

são mais ricas em B, originando solos com maior disponibilidade do nutriente. Todavia, a principal fonte para as plantas nos solos agrícolas é a matéria orgânica (DANTAS, 1991; RAIJ, 1991).

### **b) Cloro**

O cloro e o boro são os micronutrientes de maior solubilidade e tendem a ser carregados pelas águas, acumulando-se nos oceanos. Cloretos de sódio, potássio, magnésio ou cálcio (ex: halita, silvinita, carnalita, taquidrita) são os principais minerais de cloro, os quais se caracterizam pela elevada solubilidade e dificilmente permanecem como tais no solo (somente sob condições de aridez). Apesar disso, não têm sido detectadas deficiências em condições normais de cultivo (RAIJ, 1991). Em decorrência dessa situação, não existem muitos estudos e não há maiores preocupações quanto ao fornecimento desse micronutriente. O cloro está presente na água da chuva, além do mais, costuma ser adicionado indiretamente nas adubações, uma vez que o cloreto de potássio é largamente utilizado na agricultura como fonte de K.

### **c) Cobre**

Ocorre em minerais primários, freqüentemente associado ao enxofre na forma de sulfetos, como a calcopirita, a calcocita e a bornita. Aparece como componente-traço em minerais constituintes de rochas ígneas e em minerais secundários na forma de óxidos, carbonatos e silicatos. Normalmente, os minerais de cobre apresentam elevada solubilidade, razão pela qual não devem estar presentes em solos mais intemperizados. O cobre como elemento isolado caracteriza-se pela baixa solubilidade, sendo fortemente retido pela fase sólida do solo. À semelhança do que ocorre com os demais micronutrientes, o conteúdo total de Cu nos solos varia muito. A fração disponível pode ser insuficiente para o crescimento das culturas, mesmo em solos com maior riqueza do elemento (FERREIRA e CRUZ, 1991).

### **d) Ferro**

O ferro é importante constituinte da crosta terrestre (5% em peso) e está presente em todos os ti-

pos de solo. As rochas ígneas (95% da crosta terrestre) são especialmente ricas, estando o elemento presente em minerais como olivina, augita, hornblenda e biotita. O ferro ocorre em solos também na forma de óxidos primários como a hematita, ilmenita e magnetita. Com o intemperismo, os óxidos e hidróxidos de Fe acumulam-se no perfil e passam a ser abundantes nos solos altamente intemperizados. Apesar disso, a deficiência pode ocorrer, mesmo em solos com elevados conteúdos de Fe, pois pequena proporção permanece solúvel (BATAGLIA, 1991; BORKERT *et al.*, 2001a).

### **e) Manganês**

Após o ferro, o manganês é o elemento mais abundante na crosta terrestre e sua ocorrência geológica está bastante associada à do primeiro. Os teores de Mn nas rochas variam de 350 a 2.000 mg kg<sup>-1</sup>. As rochas ferro-magnesianas apresentam maior abundância do elemento. O Mn faz parte de diversos minerais, ligado principalmente ao oxigênio e silício. Os óxidos (ex: pirolusita e manganita) e sulfetos de manganês são as formas mais comuns nos solos. Durante o intemperismo, os compostos de Mn são oxidados, reprecipitados e concentrados na forma de minerais secundários. A disponibilidade do nutriente pode ser bastante variável, implicando em deficiência ou toxicidade às plantas, dependendo da solubilidade dos compostos de manganês presentes no solo (BORKERT, 1991; RAIJ, 1991; BORKERT *et al.*, 2001a).

### **f) Molibdênio**

Em minerais, o molibdênio ocorre como sulfeto (molibdenita) ou na forma de óxidos (ilsemanita, povelita e ferrimolibdita). A maior parte do molibdênio presente no solo está em formas oclusas, no interior de minerais primários e secundários. O intemperismo desses minerais libera íons molibdato, cuja solubilidade aumenta em condições alcalinas, contrariamente ao que se observa com os outros micronutrientes metálicos (Cu, Fe, Mn e Zn). Os teores totais e disponíveis de Mo nos solos são normalmente inferiores aos dos demais micronutrientes (SANTOS, 1991; RAIJ, 1991).

### g) Zinco

Está presente em diversas rochas básicas e ácidas, situação condicionada, em parte, pelo fato de que a substituição isomórfica de Mg por Zn nos silicatos se dá com certa facilidade. Aparece como elemento acessório em minerais primários, tais como olivina, hornblenda, augita, biotita e magnetita. Formas comuns de compostos que contêm o elemento envolvem sulfetos (esfalerita), carbonatos, silicatos e fosfatos (SOUZA e FERREIRA, 1991; RAIJ, 1991).

### 3.2. Reações e interações dos micronutrientes no solo

O comportamento dos micronutrientes no solo é muito influenciado pelas características do meio. Fatores ligados à textura e mineralogia do solo, matéria orgânica, pH, condições de oxi-redução e interação entre nutrientes tornam mais complexa a dinâmica no solo e interferem na disponibilidade às plantas. A natureza e intensidade dos fenômenos relacionados a esses fatores variam conforme as características do solo e o micronutriente em questão.

O cobre, ferro, manganês e zinco em solução apresentam-se na forma de cátions. Todos são convertidos em formas insolúveis pela elevação do pH do solo. Além disso, Cu e Zn caracterizam-se por adsorver fortemente aos colóides inorgânicos do solo e formar complexos com a matéria orgânica. Já Fe e Mn podem também passar para formas de diferentes solubilidades devido a processos de oxi-redução (RAIJ e BATAGLIA, 1991). Os micronutrientes boro, cloro e molibdênio comportam-se mais como ânions, no tocante à dinâmica no solo. O boro e cloro são fracamente retidos, sendo facilmente lixiviados. De certo modo, a dinâmica do molibdênio assemelha-se à dos fosfatos. O Mo, na forma de molibdato, é adsorvido às cargas positivas dos colóides, sendo a força de retenção tão maior quanto mais ácido for o solo. Assim sendo, a calagem, ao elevar o pH, favorece o aumento da disponibilidade ao ponto de satisfazer completamente o requerimento de Mo pelas culturas (FONTES *et al.*, 2001).

Ao diminuir a disponibilidade de Mn, a calagem evita um problema comum nos solos ácidos, que é a toxicidade do elemento às plantas. Por outro lado, na região do Cerrado, valores de pH em água acima de 6,0 e saturação por bases maior que 50% provocam redução na disponibilidade dos micronutrientes catiônicos (Cu, Fe, Mn e Zn), e o uso exagerado de calcário tem sido causa freqüente de deficiências (SOUZA, 1998). A calagem excessiva indisponibiliza esses micronutrientes pela formação de óxidos, cuja solubilidade vai depender do pH (VOLKWEISS, 1991).

Para o cobre, por exemplo, a redução da disponibilidade com a elevação do pH decorre não só da diminuição da solubilidade do elemento na forma de óxidos, mas também do aumento da precipitação e adsorção às superfícies dos colóides e da maior estabilidade das ligações com a matéria orgânica (HARMSSEN e VLEK, 1985, citados por FERREIRA e CRUZ, 1991). A adsorção de Zn aos óxidos de ferro e de alumínio aumenta com a elevação do pH. Além disso, o elemento é adsorvido com uma energia variável em função do tipo de argila: vermiculita > montmorilonita > illita > caulinita (SOUZA e FERREIRA, 1991).

A presença de formas disponíveis de Fe e Mn está muito condicionada às mudanças nas condições de oxi-redução do meio. Assim, os ciclos de umedecimento e secagem do solo e a atividade biológica interferem na disponibilidade desses micronutrientes (BORKERT *et al.*, 2001a). Numa situação em que predominam processos de redução (ex: encharcamento), esses elementos tendem a passar para formas mais solúveis, sendo absorvidos em maiores quantidades pelas plantas.

Solos pobres em matéria orgânica e arenosos são mais propensos às deficiências de micronutrientes, pois, além de não disporem de uma importante fonte que é a matéria orgânica, a lixiviação é facilitada pela falta de cargas elétricas que permitiriam a retenção dos micronutrientes adicionados via adubação. Por outro lado, teores elevados de matéria orgânica também podem levar à deficiência de cátions metálicos (principalmente o Cu) que

formam complexos de alta estabilidade com compostos orgânicos.

Interações antagônicas entre nutrientes no solo e na planta são comuns e podem provocar problemas de desbalanço nutricional e deficiência de micronutrientes (DECHEN *et al.*, 1991; BORKERT *et al.*, 2001a). Altas concentrações de P podem induzir à carência de Zn, comprometendo o crescimento. Níveis elevados de Cu inibem fortemente a absorção de Zn e vice-versa. O mesmo ocorre na interação Fe-Mn. A absorção de Mo pode ser prejudicada por efeito competitivo do sulfato. Outros possíveis tipos de antagonismo são relatados na literatura, mas não foram ainda investigados em detalhes.

### 3.3. Disponibilidade de micronutrientes nos solos brasileiros

Grande parte dos solos brasileiros é naturalmente deficiente em micronutrientes, notadamente Zn e B. Mesmo as terras férteis são exauridas quando utilizadas para fins agrícolas, principalmente em sistemas de alta produtividade e uso intensivo do solo. Adicionalmente, têm-se como agravantes, o aumento do uso de fertilizantes concentrados que não contêm micronutrientes como impurezas, a redução da disponibilidade de micronutrientes catiônicos decorrente de calagem inadequada e a maior exportação de nutrientes devido ao uso de variedades mais produtivas e ao emprego de técnicas agrônomicas que proporcionam produtividades cada vez mais elevadas. Por tudo isso, o risco de problemas associados à carência de micronutrientes é grande quando não se atenta para a sua correta reposição. Na Tabela 3.1 são sumarizadas as principais condições que favorecem a ocorrência de deficiências.

Apesar do uso crescente, a análise de solo para micronutrientes possui limitações. Têm-se problemas na avaliação da disponibilidade devido à dificuldade de detecção dos baixos teores presentes nos solos, à dinâmica complexa dos elementos e às freqüentes contaminações na amostragem ou mesmo nos procedimentos de análise. As determinações mais comuns envolvem o uso de soluções

ácidas ou de agentes complexantes para extração de micronutrientes catiônicos (Cu, Fe, Mn e Zn), enquanto o B é quantificado após extração com água quente. A análise das folhas das culturas, em complementação à análise do solo, é de grande utilidade e permite melhorar bastante o monitoramento das reservas de micronutrientes no solo.

**Tabela 3.1** – Condições de maior probabilidade de deficiência de micronutrientes.

Micronutriente	Condições que favorecem a deficiência*
B	solos arenosos; alta pluviosidade; <u>veranicos e estação seca</u> ; <u>baixos teores de matéria orgânica</u> ; pH fora da faixa de 5,0 a 7,0
Cu	solos orgânicos; pH fora da faixa de 5,0 a 6,5; níveis elevados de outros íons metálicos como Fe, Al e Mn; doses elevadas de N
Fe	<u>calagem excessiva (pH elevado)</u> ; <u>solos encharcados</u> , excesso de outros metais como Mo, Cu e Mn; excesso de P; pH fora da faixa de 4,0 a 6,0
Mn	<u>calagem excessiva (pH elevado)</u> ; <u>solos arenosos</u> ; solos orgânicos; excesso de Ca, Mg e K; níveis elevados de Fe, Cu e Zn; pH fora da faixa de 5,0 a 6,5
Zn	calagem excessiva (pH elevado); altos índices de P, matéria orgânica elevada; <u>solos arenosos (baixa CTC)</u> ; pH fora da faixa de 5,0 a 6,5
Mo	solos ácidos (pH menor que 5,5); <u>solos arenosos</u> ; doses pesadas de sulfatos; níveis elevados de Cu

Fonte: adaptado de Araújo (1998) e Lopes (1999).

\* Itens sublinhados representam as condições mais comumente associadas aos problemas de deficiência no Brasil.

Provavelmente em função do reduzido número de estudos realizados até o momento, em geral, há certa semelhança entre os níveis críticos de micronutrientes no solo propostos para regiões distintas (Tabela 3.2). Todavia, variações de níveis críticos no solo e na planta têm sido detectadas para diferentes locais e culturas (FAGERIA, 1998; BORKERT *et al.*, 2001B; EMBRAPA, 2001; HITSUDA *et al.*, 2001; BORKERT *et al.*, 2002; SFREDO *et al.*, 2002; PEREIRA *et al.*, 2002a,b), sugerindo a conveniência de estudos específicos, considerando as

condições de solo, clima, cultivares, manejo e produtividade. Essa carência de pesquisa é notada principalmente quando os técnicos buscam maior refinamento na avaliação nutricional e adubação das culturas em sistemas de alta produtividade.

**Tabela 3.2** - Faixas de disponibilidade consideradas adequadas na interpretação de análise de solos para micronutrientes, segundo diferentes fontes de consulta.

	Raij <i>et al.</i> <sup>1</sup> (1996)	Alvarez V. <i>et al.</i> (1999) <sup>2</sup>	Galvão <sup>2</sup> (1999)	Sousa e Lobato <sup>2</sup> (1998)	Comissão <sup>3</sup> (1994)	Amplitude <sup>4</sup> de valores
B <sup>5,6</sup>	0,21-0,60	0,36-0,60	0,3-0,5	0,5	0,1-0,3	0,3-0,6
Cu <sup>7</sup>	0,3-0,8	0,8-1,2	0,5-0,8	0,5	0,2-0,5	0,5-1,2
Fe	5-12	19-30	-	-	-	19-30
Mn <sup>8</sup>	1,3-5,0	6-8	2-5	5	-	2-8
Zn <sup>9</sup>	0,6-1,2	1,0-1,5	1,1-1,6	1	0,2-0,5	1,0-1,6

1 Extrator DTPA para Cu, Fe, Mn e Zn. Estado de São Paulo.

2 Extrator Mehlich 1 para Cu, Fe, Mn e Zn. Estado de Minas Gerais e região do cerrado.

3 Extrator HCl 1,0 mol L<sup>-1</sup> para Cu e Zn. Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.

4 Dados referentes ao extrator Mehlich 1.

5 Extração com água quente.

6 Nível crítico adequado para a soja no Mato Grosso seria de 0,13 mg dm<sup>-3</sup> (Pereira *et al.*, 2002a).

7 Faixa adequada para a soja no Mato Grosso seria de 1,6-2,4 mg dm<sup>-3</sup> (Sfreda *et al.*, 2002).

8 Nível crítico adequado para a soja no Mato Grosso seria de 12,5 mg dm<sup>-3</sup> (Pereira *et al.*, 2002b).

9 Nível crítico adequado para a soja no Mato Grosso seria de 2,5 mg dm<sup>-3</sup> (Borket *et al.*, 2002).

#### 4. Deficiências de micronutrientes em culturas no Brasil

Desde a década de 1950, vem sendo relatada ampla ocorrência de deficiências de micronutrientes no País, especialmente de Zn e B, com frequência variável conforme a região e dependendo da espécie cultivada (MALAVOLTA, 1994; LOPES e ABREU, 2000). Na região do Cerrado, a baixa disponibilidade de micronutrientes parece ser mais crítica. Segundo Galvão (1998), de modo geral, as

respostas mais marcantes e freqüentes em solos de cerrado são para Zn (arroz, milho, soja, café), B (algodão, soja, trigo) e Cu (soja, trigo). Nos últimos anos, também têm sido detectadas muitas áreas com deficiência de Mn induzida por manejo inadequado da calagem, ou seja, aplicação de calcário em excesso ou má incorporação do produto no solo. A falta dos outros micronutrientes é

menos comum, sendo observada em casos isolados, para condições específicas de solo, cultura e manejo.

É preciso ressaltar, entretanto, que há grande discrepância em relação ao nível de detalhamento de tais informações para diferentes culturas. Para algumas dessas culturas

dispõe-se de razoável conhecimento, respaldado por resultados de pesquisa, enquanto outras não foram ainda suficientemente estudadas quanto aos requerimentos em micronutrientes.

#### 5. Principais fontes de micronutrientes

São muito variadas as opções de produtos empregados como fontes de micronutrientes. Tais fontes diferem bastante quanto ao estado físico, reatividade química, custo e biodisponibilidade. As mais comuns são os produtos inorgânicos (óxidos, carbonatos e sais metálicos como os sulfatos, cloretos e nitratos), os quelatos sintéticos obtidos pela reação de sais metálicos e um agente quelatizante (ex: a partir de reação de um sal de Fe com o ácido etilenodiaminotetraacético – EDTA, obtém-se o Fe-EDTA), as “fritas” (“*Fritted Trace Elements*” – FTE, materiais vítreos moídos) e os complexos orgânicos resultantes da reação de sais metálicos com subprodutos de indústrias como a de celulose (LOPES, 1999; MORTVEDT, 2001). Em geral, as fontes solúveis (sais e quelatos) são mais caras, por unidade de nutriente, que as insolúveis (óxidos e fritas) (VOLKWEISS, 1991).

Em virtude das baixas dosagens empregadas, a aplicação uniforme nas lavouras pode constituir um

problema para o manejo da adubação com micronutrientes. Assim, o fornecimento de micronutrientes agregados aos formulados NPK na adubação de base tem se tornado habitual. Na maioria dos formulados, a concentração de cada micronutriente não ultrapassa 0,5%, mas a distribuição na lavoura é bastante facilitada (VOLKWEISS, 1991). A dificuldade é encontrar fertilizantes ensacados contendo o micronutriente necessário na quantidade requerida para diferentes condições de cultura e solo. Os micronutrientes podem ser incorporados ao formulado ou revestir os grânulos de NPK. Contudo, uma fonte solúvel pode ser convertida a insolúvel por reações, durante a fabricação de misturas e vice-versa. Sais solúveis de Cu, Fe, Mn e Zn tendem a se tornar insolúveis quando incorporados a fosfatos de amônio e ou fertilizantes amoniados mistos (LOPES, 1991). Apesar do uso generalizado, faltam estudos mais aprofundados sobre fontes misturadas ou incorporadas ao NPK.

Outros insumos agrícolas, como calcário, gesso e fertilizantes fosfatados, apresentam teores razoáveis de micronutrientes como contaminantes. Normalmente esses produtos são utilizados em larga escala e, assim, quantidades expressivas de micronutrientes podem ser adicionadas ao solo, indiretamente. Na agricultura brasileira, em 2003, somente as aplicações de calcário e fertilizantes fosfatados adicionaram o correspondente a cerca de 50% de B, 49% de Cu, 161% de Mn, 46% de Mo e 42% de Zn em relação às quantidades desses micronutrientes que foram exportadas nos produtos colhidos (YAMADA, 2004). Alguns fungicidas também possuem micronutrientes (Cu, Zn ou Mn) em sua composição e, portanto, não deixam de ser fontes desses elementos. As quantidades de Cu ministradas nas aplicações para controle fitossanitário acabam por atender a demanda das culturas em termos nutricionais (MARSCHNER, 1995; PÜLSCHEN, 2004).

É importante destacar que muitas matérias-primas utilizadas para a produção de fertilizantes com micronutrientes são subprodutos da indústria metalúrgica e podem apresentar teores variáveis

de metais pesados como contaminantes (cádmio, por exemplo). Portanto, existe a preocupação com o potencial de acumulação desses elementos químicos no solo e sua transferência para os produtos colhidos. Todavia, tais riscos são minimizados devido às reduzidas quantidades desses fertilizantes necessárias ao adequado desenvolvimento das culturas (LOPES, 1999; MORTVEDT, 2001).

## 6. Adubação com micronutrientes

A preocupação principal do agricultor sempre foi a manutenção da fertilidade do solo por meio de adubações para o fornecimento de N, P e K, nutrientes que sempre proporcionam alta resposta em produção. No entanto, diversos estudos evidenciam a obtenção de consideráveis ganhos de produtividade devido à aplicação de micronutrientes. Nesse contexto, especialmente em sistemas de produção mais tecnificados, consolidou-se a prática de fertilização com Zn, B, Cu e outros micronutrientes de maneira generalizada, como forma de garantir produtividades satisfatórias das diversas culturas. Reflexo disso é que, nos últimos anos, o consumo de micronutrientes na agricultura brasileira aumentou cerca de 13,3 vezes, enquanto o incremento no uso de macronutrientes no mesmo período foi de 2,1 vezes (YAMADA, 2004). Essa situação propiciou abertura para um novo mercado e para o desenvolvimento de formulações e produtos que variam de fontes simples, comercializadas separadamente, até verdadeiros coquetéis de fontes e misturas com outras substâncias tidas como melhoradoras do aproveitamento de nutrientes ou promotoras do crescimento das plantas.

### 6.1. Recomendações gerais de manejo e eficiência da adubação

Lopes (1986) destaca a existência de efeitos positivos, nulos e detrimental da aplicação de micronutrientes, havendo, em termos de respostas, grande especificidade local em relação a solos e culturas. Esse aspecto é indicativo de que o estabelecimento de recomendações abrangentes e padronizadas não seria a estratégia ideal quan-

do se visa ao fornecimento racional de micronutrientes.

Em geral, para a obtenção de bons resultados, o manejo da adubação com micronutrientes deve ser algo mais refinado que aquele adotado para os macronutrientes, em virtude da maior complexidade inerente ao comportamento dos primeiros no solo e na planta. A análise de solo é a referência para o dimensionamento da aplicação de micronutrientes em áreas que nunca foram adubadas. A partir de então, a conveniência de uma adubação complementar deve ser confirmada por meio da análise foliar (SOUSA, 1998).

A análise de solo tem a vantagem de permitir a avaliação da fertilidade do solo e a adoção de medidas corretivas, previamente ao plantio da lavoura. Entretanto, não é conveniente manejar a adubação somente com base na análise do solo, que algumas vezes leva a interpretações e recomendações duvidosas. Em virtude dos aspectos já comentados, a análise de solo para micronutrientes está sujeita a interferências e sua interpretação ainda não foi satisfatoriamente aperfeiçoada. No caso do zinco, por exemplo, o nível crítico para o milho é de  $1 \text{ mg dm}^{-3}$ , quando o pH está em torno de 6,0, e aumenta com a elevação do pH (GALRÃO, 2002). O nível crítico de Cu também costuma ser maior em solos com altos conteúdos de matéria orgânica. Dessa forma, a análise das folhas da cultura é altamente recomendável visando ao diagnóstico mais preciso do estado nutricional da lavoura, o qual, em última instância, reflete a eficiência no manejo da adubação.

Em virtude da falta de informações pormenorizadas para condições locais, a chamada "adubação de segurança" é ainda muito difundida. Para a região do Cerrado, por exemplo, a adubação de segurança consiste da aplicação a lanço e incorporação, a cada quatro ou cinco anos, de doses que variam de 4,0-6,0 kg de Zn; 3,0-6,0 kg de Mn; 0,5-2,0 kg de B; 1,0-4,0 kg de Cu; e 0,2-0,4 kg de Mo por hectare. Normalmente, o efeito residual dessa adubação é suficiente para quatro ou mais cultivos, sobretudo em relação ao Cu e Zn (CO-

MISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DE GOIÁS, 1988; SOUSA, 1998; GALRÃO, 2002).

Embora para culturas perenes a adubação foliar realizada junto com a aplicação de defensivos seja prática rotineira, não há dúvida de que, para culturas anuais, a melhor forma de aplicação de micronutrientes é via solo. Neste caso, a adubação foliar só é recomendada quando não foi feita aplicação no solo ou esta foi insuficiente (GALRÃO, 1998). Assim sendo, preferencialmente, a adubação foliar deve ser suplementar à via solo. Seu efeito residual é pequeno ou nulo. Segundo Lopes (1999), pulverizações foliares de Zn em milho, Mn na soja e Mo em feijão podem dar bons resultados em relação a não aplicação dos referidos micronutrientes. As adubações foliares feitas juntamente com os tratamentos fito-sanitários são mais compensatórias em termos de custo (VOLKWEISS, 1991). Os micronutrientes podem ainda ser fornecidos via semente (principalmente Co e Mo) ou por imersão das raízes de mudas em soluções contendo os nutrientes desejados.

Não é tarefa simples a análise comparativa dos resultados obtidos em diferentes experimentos testando fontes, doses e formas de aplicação de micronutrientes. Muitos dos trabalhos publicados não descrevem o histórico de área (nível inicial de disponibilidade e aplicações anteriores de micronutrientes, uso de defensivos com micronutrientes na sua composição, etc), as características dos fertilizantes, os procedimentos de aplicação e outras informações que podem influenciar muito a ocorrência e a magnitude das respostas. Dessa forma, há resultados controversos, dificultando conclusões consistentes sobre a eficiência da adubação com micronutrientes.

## 7. Problemas e perspectivas do uso de micronutrientes

A dificuldade de se definir doses precisas para diferentes condições ambientais e de manejo é, provavelmente, o aspecto mais limitante à utilização de micronutrientes de maneira eficiente. Os sistemas de diagnose nutricional e as reco-

mendações de manejo não foram ainda suficientemente aprimorados, por isso, são bastante restritas as possibilidades de variar as dosagens na adubação. Ademais, a estreita amplitude entre os níveis de deficiência e de toxidez de micro-nutrientes é um outro fator que torna arriscado tal procedimento.

Normalmente, os níveis críticos de micronutrientes na planta são distintos conforme a espécie cultivada e o próprio tipo de solo. Alguns estados possuem valores de referência para interpretação de análise foliar, definidos a partir de experimentação local ou, muitas vezes, por extrapolação de dados obtidos em outras regiões ou no exterior. A soja está entre as plantas mais estudadas no Brasil. Todavia, como pode ser observado pelas informações apresentadas na Tabela 7.1, muitos valores de níveis críticos foliares de micronutrientes propostos nas publicações nacionais são similares aos que haviam sido indicados por Peck (1979) com base em resultados de pesquisa estrangeira. Essa situação pode ser interpretada como um indicativo de que, a despeito dos esforços de pesquisa, ainda não houve nítido progresso na definição dos níveis críticos para essa cultura.

Muitas vezes, a adubação com micronutrientes é executada sem se atentar para a sua real necessidade. Principalmente em áreas cultivadas há mais tempo e que já apresentam certa reserva de micronutrientes devido ao efeito residual de adubações anteriores, isso pode significar custos adicionais e desperdício de insumos. Como já mencionado, em várias regiões, tornou-se tradicional a aplicação sistemática de Zn e B, micronutrientes cuja resposta à aplicação é freqüente para um grande número de culturas. Em função disso, muitas áreas hoje apresentam disponibilidade adequada, ou mesmo alta, de Zn. Nessa condição, a adubação continuada com esse micronutriente pode ser desnecessária e cara (VOLKWEISS, 1991).

A enorme diversidade de produtos comercializados como fonte de micronutrientes, muitos deles coquetéis de vários nutrientes e outras substâncias para uso via solo, folha ou semente, são complicadores para a definição de recomendações de adubação. Esse fato é agravado pela existência de falhas na legislação que trata das garantias dos fertilizantes. Em alguns casos, obtém-se ganho de produtividade, mas é difícil detectar qual nutriente propiciou tal ganho. Silva *et al.* (2001), trabalhando com vários produtos comerciais contendo

**Tabela 7.1** - Faixas de teores adequados de micronutrientes para interpretação de análise foliar da soja, segundo diferentes fontes de consulta.

	Ambrosano <i>et al.</i> (1996) <sup>1,2</sup>	Embrapa (1996) <sup>1,2</sup>	Malavolta <i>et al.</i> (1997) <sup>1</sup>	Martinez <i>et al.</i> (1999)	Galvão (1999)	Consultor O. C. Martins citado por Vitti e Trevisan (2000) <sup>2</sup>	Fundação MS citada por Vitti e Trevisan (2000) <sup>2</sup>	Peck (1979) <sup>1</sup>	Amplitude de valores
B	21-55	21-51	21-55	20	21	44	64	21-55	20-64
Cu <sup>3</sup>	10-30	10-40	10-30	10	4	10	8	10-30	4-40
Fe	50-350	51-350	51-350	50	-	128	155	51-350	50-350
Mn	20-100	21-100	21-100	20	20	62	71	21-100	20-100
Mo	1-5	1-5	-	-	-	-	-	1-5	1-5
Zn	20-50	21-50	21-50	20	20	45	51	21-50	20-50

<sup>1</sup> Nível crítico é o limite inferior da faixa.

<sup>2</sup> Nível crítico para produtividades acima de 60 ha<sup>-1</sup>.

<sup>3</sup> Sugestão de faixa adequada de 6-14 mg kg<sup>-1</sup> (Embrapa, 2001).

macro e micronutrientes e aminoácidos, não obtiveram respostas para aplicações foliares na soja em Uberlândia-MG. Num estudo semelhante, Sfredo *et al.* (1996) detectaram resposta em produtividade até mesmo para a aplicação de água pura, com 19% de ganho em relação à testemunha, enquanto ganhos de 20 a 36% foram obtidos com diversos produtos comerciais multinutrientes. Esses autores associaram o incremento de produção à presença de Mo nos produtos.

É preciso considerar que o que é estatisticamente diferente nos experimentos não significa, necessariamente, que seja vantajoso para o agricultor e vice-versa. Muitas vezes, os ganhos em produtividade pela adubação com micronutrientes são discretos. Por isso, a relação benefício/custo, no contexto da propriedade agrícola, é que dará indicativo da viabilidade dos resultados experimentais. A falta de análise econômica de experimentos costuma ser uma grande falha nos trabalhos com micronutrientes.

A grande maioria das pesquisas realizadas no Brasil até o momento foram voltadas para sistemas de cultivo com preparo convencional do solo. Nessas condições, a mobilização periódica do solo permite a incorporação e homogeneização dos corretivos e fertilizantes em todo o volume da camada arável, independentemente da forma como foram aplicados. O preparo do solo tende a anular as variações na dinâmica e disponibilidade de micronutrientes decorrentes do modo de distribuição dos adubos (localizado ou a lanço, incorporado ou não). É de se esperar que o preparo periódico também favoreça as reações de solubilização, em função da diluição das fontes na camada arável e do maior contato com as partículas do solo. A introdução de sistemas com menor mobilização do solo, como o plantio direto, é um fator que certamente deve influenciar o manejo da adubação com micronutrientes. A aplicação de nutrientes de forma balanceada é um dos maiores desafios para os que trabalham com plantio direto (SPEHAR e LANDERS, 1997). A despeito de sua importância, esse novo condicionante não tem sido devidamente considerado nas ações de pesquisa.

Um outro aspecto que tem merecido destaque é que, embora seja essencial para as plantas, o excesso de certos micronutrientes, como Zn e Cu, é motivo de preocupação quanto ao problema de contaminação ambiental, haja vista que estes elementos enquadram-se dentre os chamados metais pesados (NELLESSEN e FLETCHER, 1993; MARQUES *et al.*, 2002) e podem acumular-se no solo no decorrer de aplicações sucessivas. Nesse aspecto, é preciso considerar que aportes não previstos desses elementos ocorrem quando da aplicação de fertilizantes, corretivos e defensivos.

## 8. Necessidade de pesquisa

A maioria dos trabalhos de revisão abordando a adubação com micronutrientes no Brasil ressalta a necessidade de maiores esforços direcionados para a pesquisa concernente ao tema. O pequeno número de trabalhos, em comparação ao que se publica sobre os macronutrientes, é uma evidência contundente de que os estudos envolvendo micronutrientes têm sido relegados. Assim, muito ainda está por ser feito. Há necessidade de aprimoramento das informações referentes às áreas cultivadas há décadas, assim como de pesquisa de base sobre disponibilidade e resposta a micronutrientes em áreas e culturas recém-incorporadas à exploração agrícola.

As prioridades de estudos ainda são: a calibração de análises de solo e folhas, eficiência de fontes, doses e modos de aplicação e efeito residual de micronutrientes. É importante que sejam feitas avaliações econômicas dos resultados. Falta aprimoramento dos limites de interpretação de análise de solos e plantas, considerando-se as diferenças de comportamento das culturas (LOPES, 1991; MALAVOLTA *et al.*, 1991; RAIJ e BATAGLIA, 1991; VOLKWEISS, 1991). O ideal é que estudos envolvendo todas essas questões fossem conduzidos de forma difusa, no maior número possível de microrregiões, de modo a produzir informações e tecnologias adequadas para condições locais. Tem-se comprovado que a extrapolação de informações de manejo de micronutrientes para áreas de grande abrangência geográfica nem sempre contribui

para aumentar a eficiência no uso de insumos ou a produtividade das culturas.

Apenas mais recentemente tem-se atentado para a possibilidade de seleção, melhoramento ou modificação genética visando à obtenção de genótipos mais eficientes na absorção e/ou utilização de micronutrientes. Quase sempre, os programas de melhoramento tradicionais trabalham a seleção em condições edáficas otimizadas, descartando a chance de se obter materiais mais adaptados ao crescimento em ambientes com suprimento subótimo ou deficitário de micronutrientes. A existência de variabilidade genética, em termos de resposta diferencial de cultivares ao fornecimento de micronutrientes, já foi evidenciada para culturas como a soja (BROCH e FERNANDES, 1999) e o milho (GALRÃO, 1986).

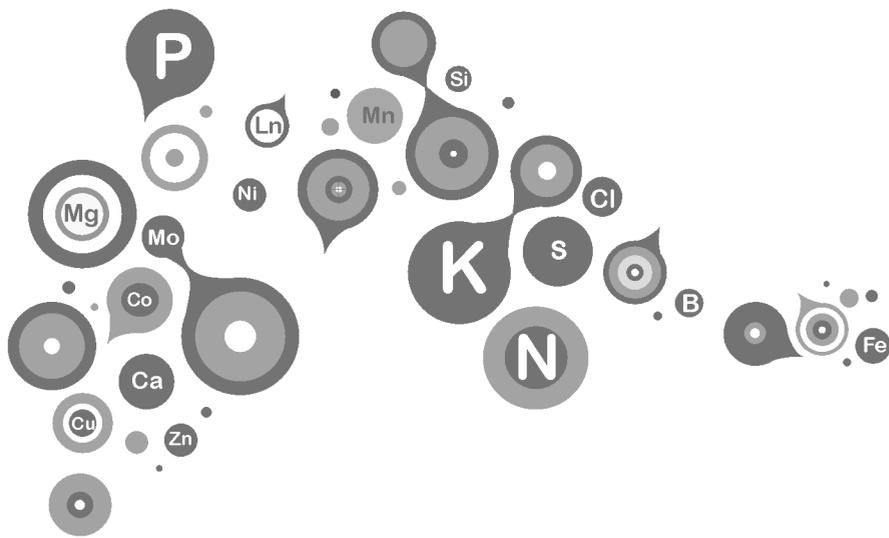
## 9. Referências bibliográficas

- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; CANTARUTTI, R.B.; LOPES, A.S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (eds.) Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação. Viçosa: CFSEMG, 1999. p.25-32.
- AMBROSANO, E.J.; TANAKA, R.T.; MASCARENHASH. A.A. Leguminosas e oleaginosas. In: RAIJ, B.van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (eds.). Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. 2ed. Campinas: Instituto Agrônômico, 1996. p.189-191. (Boletim técnico, 100).
- ARAÚJO, M.A.G. Adubação com nutrientes secundários e micronutrientes em plantio direto. In: CURSO SOBRE ASPECTOS BÁSICOS DE FERTILIDADE E MICROBIOLOGIA DO SOLO SOB PLANTIO DIRETO, 1, 1998. Rio Verde. Resumos de palestras... Passo Fundo: Aldeia Norte, 1998, p.5-12.
- BATAGLIA, O.C. Micronutrientes no solo: ferro. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. (Eds.) Micronutrientes na agricultura. Piracicaba: POTAFOS/CNPq, 1991. p.159-172.
- BORKERT, C.M. Micronutrientes no solo: manganês. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. (Eds.) Micronutrientes na agricultura. Piracicaba: POTAFOS/CNPq, 1991. p.173-190.
- BORKERT, C.M.; HITSUDA, K.; CASTRO, C.; SFREDO, G.J.; LANTMANN, A.F.; PEREIRA, J.E.; YAMADA, T. Adubação da soja com macro e micronutrientes e manejo da fertilidade do solo em rotação de culturas em solos do Brasil. In: HOFFMANN-CAMPO; C.B.; SARAIVA, O.F. (org.). Resultados de pesquisa da Embrapa Soja – 2000: solos. Londrina: Embrapa Soja, 2001b. p.23-35. (Documentos, 162).
- BORKERT, C.M.; PAVAN, M.A.; BATAGLIA, O.C. Disponibilidade e avaliação de elementos catiônicos: ferro e manganês. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P.; RAIJ, B. van; ABREU, C.A. (Eds.) Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001a. p.151-185.
- BORKERT, C.M.; PEREIRA, L.R.; SFREDO, G.J.; OLIVEIRA JR., A.; ORTIZ, F.R. Calibração de zinco no solo do estado do Mato Grosso. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 24, São Pedro, 2002. Resumos... Londrina: Embrapa Soja, 2002. p.126-127. (Documentos, 185).
- BROCH, D.L.; FERNANDES, C.H. Resposta de diferentes cultivares de soja a aplicação de micronutrientes via semente. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 21, 1999, Dourados. Resumos... Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste/Embrapa Soja, 1999. p.215-216. (Documentos, 7).
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DE GOIÁS. Recomendações de corretivos e fertilizantes para Goiás: 5ª aproximação. Goiânia:UFG/Emgopa, 1988. 101p. (Informe Técnico, 1).
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO RIO GRANDE DO SUL E SANTA CATARINA. Recomendações de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 3 ed. Passo Fundo: Comissão de Fertilidade do Solo – RS/SC, SBCS – Núcleo Regional Sul, 1994. 224p.

- DANTAS, J.P. Micronutrientes no solo: boro. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. (Eds.) Micronutrientes na agricultura. Piracicaba: POTAFOS/CNPq, 1991. p.113-130.
- DECHEN, A.R.; HAAG, H.P.; CARMELLO, Q.A.C. Mecanismos de absorção e translocação de micronutrientes. In FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. (eds.). Micronutrientes na agricultura. Piracicaba: POTAFOS / CNPq, 1991. p.79-97.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja. Recomendações técnicas para a cultura da soja na Região Central do Brasil: 1996/97. Londrina: CNPSo, 1996. 164p. (Documentos, 96).
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja. Tecnologias de produção de soja: região central do Brasil, 2001/2002. Londrina: Embrapa Soja, 2001. 267p. (Documentos, 167)
- FAGERIA, N.K. Manejo da calagem e adubação do arroz. In: BRESEGHELLO, F.; STONE, L.F. (eds.). Tecnologia para o arroz de terras altas. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1998. p.67-78.
- FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. Micronutrientes no solo: cobre. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. (Eds.) Micronutrientes na agricultura. Piracicaba: POTAFOS/CNPq, 1991. p.131-157.
- FONTES, R.L.F.; ABREU, C.A.; ABREU, M.F. Disponibilidade e avaliação de elementos aniônicos. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P.; RAIJ, B. van; ABREU, C.A. (Eds.) Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. p.187-212.
- GALRÃO, E.Z. Correção da deficiência de micronutrientes em solos de cerrado para culturas anuais. Brasília: Embrapa Cerrados, 1999. 2p. (Guia Técnico do Produtor Rural, 29).
- GALRÃO, E.Z. Micronutrientes. In: GOEDERT, W.J. (ed.) Solos dos Cerrados: tecnologias e estratégias de manejo. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1986. p.237-259.
- GALRÃO, E.Z. Micronutrientes. In: SIMPOSIO SOBRE FERTILIDADE DO SOLO EM PLANTIO DIRETO, 1997, Dourados. Anais... Dourados: Embrapa-CPAO, 1998. p.76-80. (Embrapa-CPAO. Documentos, 22).
- GALRÃO, E.Z. Micronutrientes. In: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (eds.). Cerrado: correção do solo e adubação. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002. p.185-226.
- HITSUDA, K.; SFREDO, G. J.; KLEPKER, D. Capacidade de suprimento de enxofre e micronutrientes em dois solos de cerrado do nordeste do Brasil - diagnose nutricional de enxofre na soja. REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 23, 2001, Londrina. Resumos... Londrina: Embrapa Soja, 2001. p.93-94. (Embrapa Soja. Documentos, 157).
- LOPES, A.S. Micronutrientes nos solos e culturas brasileiras. In: SEMINÁRIO FÓSFORO, CÁLCIO, MAGNÉSIO, ENXOFRE E MICRONUTRIENTES: Situação atual e perspectivas na agricultura. São Paulo, 1984. Anais... São Paulo: Manah, 1986. p.110-141.
- LOPES, A.S. Micronutrientes: filosofias de aplicação e eficiência agrônômica. São Paulo: ANDA, 1999. 72p. (Boletim Técnico, 8)
- LOPES, A.S. Micronutrientes: filosofias de aplicação, fontes, eficiência agrônômica e preparo de fertilizantes. In FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. (eds.). Micronutrientes na agricultura. Piracicaba: POTAFOS / CNPq, 1991. p.357-390.
- LOPES, A.S.; ABREU, C.A. Micronutrientes na agricultura brasileira: evolução histórica e futura. Tópicos em Ciência do Solo, Viçosa, v.1, p.265-298, 2000.
- MALAVOLTA, E. Fertilizantes e seu impacto ambiental: micronutrientes e metais pesados, mitos, mistificação e fatos. São Paulo: Produquímica, 1994. 153p.
- MALAVOLTA, E.; BOARETTO, A.E.; PAULINO, V.T. Micronutrientes – uma visão geral. In FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. (eds.). Micronutrientes na agricultura. Piracicaba: POTAFOS / CNPq, 1991. p.1-33.

- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319p.
- MARQUES, J.J.G.S.M.; CURTI, N. e SCHULZE, D.G. Trace elements in Cerrado soils. *Tópicos em Ciência do Solo*, 2:103-142, 2002.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 2ed. New York: Academic Press, 1995. 889p.
- MARTINEZ, H.E.P.; CARVALHO, J.G.; SOUZA, R.B. Diagnose foliar. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (eds.) *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação*. Viçosa: CFSEMG, 1999. p.143-168.
- MORTVEDT, J.J. Tecnologia e produção de fertilizantes com micronutrientes. Presença de elementos tóxicos. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P.; RAIJ, B. van; ABREU, C.A. (Eds.) *Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura*. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. p.237-253.
- NELLESSEN, J.E. e FLETCHER, J.S. Assesment of published literature on the uptake, accumulation, and translocation of heavy metals by vascular plants. *Chemosphere*, 27:1669-1680, 1993.
- PECK, T.R. Plant analysis for production agriculture. In: *SOIL PLANT ANALYST'S WORKSHOP, 7*, Bridgetown, 1979. *Proceedings...*, 1979. p.1-45.
- PEREIRA, L.R.; BORKERT, C.M.; CASTRO, C.; SFREDO, G.J.; OLIVEIRA JR., A.; OLIVEIRA NETO, W. Calibração de boro para a cultura da soja em solo do Mato Grosso. In: *REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 24*, São Pedro, 2002. *Resumos...* Londrina: Embrapa Soja, 2002a. p.123- 124. (Documentos, 185).
- PEREIRA, L.R.; BORKERT, C.M.; SFREDO, G.J.; OLIVEIRA JR., A.; ORTIZ, F.R. Calibração de manganês para a cultura da soja em solo do Mato Grosso. In: *REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 24*, São Pedro, 2002. *Resumos...* Londrina: Embrapa Soja, 2002b. p.122-123. (Documentos, 185).
- PÜLSCHEN, L. Application of micronutrients: pros e cons of the different application strategies. In: *IFA INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MICRO-NUTRIENTS*, New Delhi, 2004. *Annals...* Paris: IFA, 2004. Disponível em: [www.fertilizer.org/ifa/news/2004\\_3.asp](http://www.fertilizer.org/ifa/news/2004_3.asp) (Acesso em 21/06/2004).
- RAIJ, B. van. Geoquímica de micronutrientes. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. (Eds.) *Micronutrientes na agricultura*. Piracicaba: POTAFOS/ CNPq, 1991. p.99-111.
- RAIJ, B. van; BATAGLIA, O.C. Análise química do solo. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. (eds.) *Micronutrientes na agricultura*. Piracicaba: POTAFOS / CNPq, 1991. p.333-355.
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; ABREU, C.A. Interpretação de resultados de análise de solo. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Eds.) *Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo*. Campinas: Instituto Agrônomo, 1996. p.8-13.
- SANTOS, O.S. Micronutrientes no solo: molibdênio. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. (Eds.) *Micronutrientes na agricultura*. Piracicaba: POTAFOS/ CNPq, 1991. p.191-217.
- SFREDO, G.J.; BORKERT, C.M.; CASTRO, C. Efeito de micronutrientes sobre a produção de soja em três solos do Estado do Paraná. *Informações Agrônomicas*, Piracicaba, n.75, p.2-3, 1996.
- SFREDO, G.J.; PEREIRA, L.R.; BORKERT, C.M.; OLIVEIRA JR., A.; ORTIZ, F.R. Calibração de cobre no solo do Mato Grosso para a cultura da soja. In: *REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 24*, São Pedro, 2002. *Resumos...* Londrina: Embrapa Soja, 2002. p.120-121. (Documentos, 185).
- SILVA, L.A.; HAMAWAKI, O.T.; SOUZA, M.P. Resposta da soja à adubação foliar com fertilizantes à base de macronutrientes, micronutrientes

- e aminoácidos. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 23, Londrina, 2001. Resumos... Londrina: Embrapa Soja. 2001. p.86. (Documentos, 157).
- SOUSA, D.M.G. de. Principais aspectos da fertilidade do solo sob plantio direto. In: CURSO SOBRE ASPECTOS BASICOS DE FERTILIDADE E MICROBIOLOGIA DO SOLO SOB PLANTIO DIRETO, 1, 1998, Rio Verde. Resumos de palestras. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1998. p.72-77.
- SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E. Soja: correção do solo e adubação. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1998. 30p. (Plano de Safra 1998/99).
- SOUZA, E.C.A.; FERREIRA, M.E. Micronutrientes no solo: zinco. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. (Eds.) Micronutrientes na agricultura. Piracicaba: POTAFOS/CNPq, 1991. p.219-242.
- SPEHAR, C.R.; LANDERS, J. Características, limitações e futuro do plantio direto nos cerrados. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 2, 1997, Passo Fundo. Anais... Passo Fundo: Embrapa-CNPT, 1997. p.127-131.
- VITTI, G.C.; TREVISAN, W. Manejo de macro e micronutrientes para alta produtividade da soja. Informações Agronômicas, Piracicaba, n.90, 2000. 16p. (Encarte técnico).
- VOLKWEISS, S.J. Fontes e métodos de aplicação. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. (eds.). Micronutrientes na agricultura. Piracicaba: POTAFOS / CNPq, 1991. p.391-412.
- YAMADA, T. Deficiências de micronutrientes, ocorrência, detecção e correção: o sucesso da experiência brasileira. Informações Agronômicas, Piracicaba, n.105, p.1-12, 2004. (Encarte Técnico)



# 3

## Agricultura e sustentabilidade. Materiais fertilizantes e moderadores

<b>Capítulo 12</b>	Pó-de-rocha como fertilizante alternativo para sistemas de produção sustentáveis em solos tropicais	385
<b>Capítulo 13</b>	Aplicação dos produtos da pirólise rápida de biomassa como fertilizante natural	397
<b>Capítulo 14</b>	Calcário agrícola no Brasil	409
<b>Capítulo 15</b>	O gesso nos agrossistemas brasileiros: fontes e aplicações	445
<b>Capítulo 16</b>	Gipsita: características geológicas e sua aplicação na agricultura	479
<b>Capítulo 17</b>	O gesso na agricultura brasileira	485
<b>Capítulo 18</b>	Uso de zeólitas na agricultura	493
<b>Capítulo 19</b>	Caracterização e perspectivas para o uso e manejo da turfa	509
<b>Capítulo 20</b>	Impactos radiológicos da indústria do fosfato	525

## “Entre Aspas”

O efeito imediato de se parar o uso de fertilizantes minerais é que a produção das culturas iria cair a níveis sustentáveis apenas pelo solo e pela relativamente pequena contribuição dos materiais orgânicos; as produtividades iriam cair progressivamente, à medida que as reservas do solo fossem utilizadas, eventualmente atingindo os baixos níveis observados em experimentos de campo de longa duração (ISHERWOOD, 2000).

Considerando que apenas 5% das 160 milhões de cabeças do rebanho bovino brasileiro está disponível para a coleta de dejetos e que cada animal produz, por dia, 24 kg de esterco com 80% de umidade e 0,55% de N, 0,25% de  $P_2O_5$  e 0,60% de  $K_2O$ , estima-se que seria possível obter algo em torno de 1 milhão de toneladas de  $N + P_2O_5 + K_2O$ , o que ainda assim representa uma quantidade considerável. (MOREIRA, F. M. S. & SIQUEIRA, J. O).

Na França, em 1850, a produtividade média do trigo era de 1000 kg/ha. Em 1950, atingiu 1600 kg/ha, com um consumo de fertilizantes de 1,1 milhão de toneladas. Em 1973 a produtividade média foi de quase 4500 kg/ha, com um consumo de fertilizantes de 5,8 milhões de toneladas de nutrientes, dos quais 1,8 milhões era de nitrogênio. A produtividade média entre 1994 e 1996 foi de 6772 kg/ha com um consumo de fertilizantes de 4,8 milhões de toneladas de nutrientes, dos quais 2,4 milhões eram de nitrogênio. /.../

Na China, usando matéria orgânica para manter a fertilidade da terra, a produtividade de arroz foi mantida em 700 kg/ha por milhares de anos. Durante os últimos 40 a 50 anos, usando uma combinação de matéria orgânica disponível e um sem-

pre crescente uso de fertilizantes minerais, a produtividade aumentou em 6 vezes, atingindo na média, entre 1994 e 1996, 5958 kg/ha. A. Subba Rao e Sanjay Srivastava (1998) escreveram: Os fertilizantes desempenharam um papel proeminente na agricultura da Índia. De meros 0,13 milhões de toneladas em 1955-56, o consumo de fertilizantes aumentou dramaticamente nas últimas quatro décadas atingindo 14,3 milhões em 1996-97. Como consequência da crescente demanda de grãos alimentícios, fibras, combustível e forragem para atender às necessidades da sempre crescente população, o consumo de fertilizantes está crescendo anualmente. A contribuição dos fertilizantes na produção total de grãos na Índia tem sido espetacular; de um por cento em 1950 para 58 por cento em 1995. De acordo com M. Velayutham, a contribuição dos fertilizantes para a produção adicional de alimentos foi de 60 por cento. Consumo de fertilizantes e produção agrícola mostraram um crescimento fenomenal durante o período de 1951 e 1995. A preocupação atual é assegurar a sustentabilidade da produção das culturas, um meio ambiente saudável e uma lucratividade para o produtor de baixa renda, com o uso de fertilizantes.

No Japão, A. Suzuki (1997) relata que levantamentos em 1990, em 92 experimentos, mostraram que a produtividade média nacional obtida sem o uso de nitrogênio, aplicado por vários anos, foi 70 % das parcelas adubadas. As produtividades diminuíram gradualmente com o passar dos anos. Em um experimento de longa duração, após 50 anos de adubação NPK, não houve diminuição de produção nas parcelas adubadas. A produtividade das parcelas sem fertilizantes foi cerca de 40% das parcelas adubadas.

# Capítulo 12 - Pó-de-rocha como fertilizante alternativo para sistemas de produção sustentáveis em solos tropicais

## Os autores

### Ricardo Melamed

Engenheiro Agrônomo (UFRRJ), Ph.D. Pesquisador do MCT.  
E-mail: melamed@mct.gov.br

### José Carlos Gaspar

Geólogo (UnB), D.Sc., Professor Titular da UnB. E-mail: gasp@unb.br

### Norbert Miekeley

Químico, D.Sc., Professor da PUC-RJ. E-mail: miekeley@rdc.puc-rio.br

## 1. Introdução

### 1.1. Aspectos econômicos

A alternativa que impulsionou a atividade agrícola mundial a procurar satisfazer o grande crescimento da demanda por alimentos foi o aumento do rendimento de produção, com cerca de 90% nos últimos 35 anos, apesar de a área cultivada ter aumentado somente 8% (CAMPORA, 2003). Isso aconteceu, em grande parte, devido ao uso intensivo de fertilizantes.

No Brasil o consumo de fertilizantes por área agricultável ainda é muito baixo, se comparado ao consumo em países desenvolvidos e também em alguns países em desenvolvimento. Enquanto a Malásia, Holanda, Reino Unido, Japão, China, Egito, França, Vietnã, Alemanha, Itália aplicam 634, 604, 386, 376, 367, 349, 262, 248, 244, 202 kg/ha, respectivamente, o Brasil aplica 120 kg/ha. Há, portanto, perspectivas de aumento na intensidade de adubação na agricultura brasileira, principalmente num cenário de indução de cultivo de oleaginosas para produção de biocombustível. Apesar desses dados, o Brasil é um dos maiores importadores mundiais de fertilizantes e o quarto maior consumidor, atrás da China, EUA e Índia e à frente de países como França, Alemanha e Canadá. Isso se deve aos seguintes fatores: i) extensa área plantada refletindo na dimensão da produção agrícola brasileira (o PIB agrícola brasileiro ultrapassou R\$ 87 bilhões em 2001), ii) existência de solos muito

pobres quanto aos macronutrientes potássio e fósforo e iii) insuficiente produção doméstica de potássio, fosfatos, compostos nitrogenados e enxofre.

Em 2000, o Brasil importou 13 milhões de toneladas (13 Mt) de matérias-primas e de produtos intermediários para fabricação de fertilizantes, no valor de US\$ 1,15 bilhão. Desse total, os insumos potássicos foram responsáveis por US\$ 580 milhões, equivalendo a aproximadamente 2,6 Mt de produtos para fertilizantes (ANDA, 2001). A importação de produtos potássicos intermediários do ano de 1999 para o ano de 2000 teve um aumento de 36%.

Em todo o hemisfério sul há apenas uma mina de potássio em operação, a de Taquari-Vassouras, em Sergipe, com uma produção, em 2002, de aproximadamente 340 mil toneladas de  $K_2O$ , que satisfaz menos de 12% das necessidades do País em potássio: 2,9 Mt (DNPM, 2003). No Brasil, nos últimos seis anos, o modesto aumento da produção de  $K_2O$  tem ficado muito abaixo da forte progressão do consumo de fertilizantes potássicos no País. A produção brasileira de potássio, nos últimos cinco anos, satisfaz apenas 14,4% em 1998, 15,4% em 1999, 11,9% em 2000, 11,5% em 2001 e 11,4% em 2002 do consumo aparente. As importações foram provenientes, essencialmente, de apenas quatro países: Canadá, Rússia, Alemanha e Israel (DNPM, 1999, 2000, 2001 e 2003).

Quanto aos fertilizantes fosfatados, a produção interna satisfaz somente 52% das necessidades do setor agrícola em 2004. Portanto, o Brasil importou aproximadamente 1,5 milhão de toneladas de concentrados fosfáticos, 0,5 milhão de toneladas de ácido fosfórico e 5 milhões de toneladas de produtos intermediários de fosfato, perfazendo um total de aproximadamente US\$ 1,2 bilhões (DNPM, 2005). A rocha apatítica é a fonte para manufatura de ácido fosfórico, consumindo 90% da apatita processada. As características químicas, mineralógicas e texturais dos minérios ou dos concentrados fosfáticos determinam a melhor opção para processamento e remoção de impurezas. Em geral, 90% dos fertilizantes fosfatados são obtidos através de rotas químicas, enquanto somente 2% são obtidos através de rotas térmicas.

## 1.2. Aspectos fisiológicos dos macronutrientes

Dos elementos requeridos na nutrição de plantas, o C, H, O, N, P e S formam as proteínas e compõem o protoplasma. Os elementos considerados essenciais são: K, Ca, Mg, Fe, Mn, Mo, Cu, B, Zn, Cl, Na, Co, V e Si.

O teor de P nas plantas é de 0,1-0,4%. As plantas podem absorvê-lo principalmente na forma  $H_2PO_4^-$  e secundariamente na forma  $HPO_4^{2-}$ . Ainda assim, pyrofosfatos e metafosfatos são componentes de fertilizantes comerciais, pois essas formas são hidrolizadas a ortofosfato em soluções aquosas. O P é prontamente mobilizado nas plantas. Quando uma deficiência ocorre, o elemento contido nos tecidos mais velhos são translocados para as ativas regiões meristemáticas.

O teor de K nas plantas é tipicamente de 1-5%. É absorvido pelas raízes na forma  $K^+$ , embora ocorra principalmente em várias outras formas no solo. O K é um elemento móvel que é translocado aos tecidos meristemáticos jovens caso ocorra deficiência. Ao contrário do N, S e P, o K não se combina com outros elementos para formar protoplasma, gorduras e celulose, sendo sua função principal catalítica por natureza. As principais funções do K são: ativação enzimática, regulação osmótica e

controle de abertura de stomata (importante papel na fotossíntese e de absorção de água pelas raízes), regulação de energia (síntese de ATP), translocação de assimilados, absorção de N, síntese de proteínas e síntese de amido (enchimento de grãos).

O teor de Ca ( $Ca^{2+}$ ) nas plantas é de 0,2-1%. O Ca é bastante imóvel, sendo pouco translocado no floema. É abundante nas folhas, ocorrendo nos vacúolos na forma de oxalatos, carbonatos, fosfatos.

O teor de Mg ( $Mg^{2+}$ ) nas plantas é de 0,1-0,4%. O Mg é móvel, sendo translocado de regiões mais velhas para regiões mais novas ocorrendo deficiência. É encontrado no centro clorofílico e na estrutura dos ribossomos.

Tanto Ca quanto Mg competem com o K para absorção pelas plantas. Portanto, é esperado que solos com altos níveis de Ca e Mg requeiram altos níveis de K para uma nutrição satisfatória das culturas. Assim, a disponibilidade de K depende mais de sua concentração relativa em Ca e Mg do que propriamente da quantidade de K presente no solo.

No caso de deficiência de outros elementos, quando ocorre um baixo nível de P, por exemplo, a adição de N tem pouco efeito na absorção de K. Ao contrário, ocorre um grande acréscimo na absorção de K, quando o N é adicionado em combinação com P.

## 1.3. Mecanismos de absorção de nutrientes

Para que os íons dos nutrientes no solo sejam absorvidos por raízes, eles devem entrar em contato com a superfície da raiz. Existem três possibilidades nas quais os íons no solo podem alcançar a superfície das raízes: i) interceptação de raízes (com troca por contato), ii) fluxo de massa com a solução do solo e iii) difusão na solução do solo.

A via por interceptação de raízes aumenta com o crescimento do sistema radicular, explorando a solução e a superfície do solo. A quantidade de nutrientes atingindo a esfera das raízes por fluxo de massa é determinada pela taxa de consumo de

água pela planta e a concentração do nutriente na água do solo. A difusão de íons na solução do solo é influenciada principalmente por três fatores: a concentração do nutriente, o seu coeficiente de difusão e a capacidade tampão da fase sólida para o elemento na fase líquida. A difusão é lenta e por curta distância na vizinhança das raízes. Estima-se que a difusão do K pode ocorrer até 0,2 cm e do P até 0,02 cm. A Tabela 1.1 mostra a significância relativa das três vias de suprimento de nutrientes às raízes

**Tabela 1.1:** Significância relativa das principais formas nas quais os íons dos nutrientes movem-se do solo para as raízes do milho.

Elemento	Vias de Suprimento (%)		
	Interceptação	Fluxo de Massa	Difusão
N	1	99	0
P	3	6	94
K	2	20	78
Ca	171	429	0
Mg	38	250	0
S	5	95	0
Cu	10	400	0
Zn	33	33	33
B	10	350	0
Fe	11	53	37
Mn	33	133	0
Mo	10	200	0

Fonte: Tisdale *et al.*, 1985.

Alguns pesquisadores acreditam que a troca iônica pode ocorrer entre os íons adsorvidos na superfície do solo ou matéria orgânica e os íons de H<sup>+</sup> adsorvidos na superfície das raízes (principalmente de grupos carboxílicos de substâncias pépticas), sem a intermediação da fase líquida do solo. Esse mecanismo pode ser importante pela ação de mucilagens e micorrizas. Essa Capacidade de Troca Catiônica (CTC) de raízes foi estimada em 10 a 100 cmol/kg, sendo muito maior em plantas leguminosas do que em gramíneas. Daí a tendência das plantas leguminosas de absorver preferencialmente íons com carga bivalente a íons com carga univalente, sendo que o reverso ocorre com as gramíneas. Esse foi o motivo atribuído à sobrevivência de gramíneas

em pastos com mistura de forrageiras com deficiência de K<sup>+</sup>.

#### 1.4. Aspectos físico-químicos

Apesar de as plantas possuírem uma maior necessidade fisiológica de K do que de P, da comparável carência dos solos brasileiros quanto aos dois elementos e da dependência externa ser muito maior com relação ao K, maior atenção tem sido dispensada, no Brasil, ao suprimento de P do que ao do K, provavelmente devido à maior complexidade na físico-química e manejo do P em latossolos que se estendem por uma área de aproximadamente 100 milhões de ha (MALAVOLTA e KLIEMANN, 1985), com um relevo que permite a mecanização agrícola, características físicas que propiciam ótimas condições de drenagem, mas com pH ácido, baixo valor de saturação de bases e alto teor de Al. Essa complexidade de manejo de P esta relacionada à fixação do P adicionado pelos constituintes dos latossolos (óxidos e hidróxidos de Fe e Al), tornando esse elemento indisponível para as plantas (LOPES, 1983). Dessa forma, o manejo adequado para produção agrícola em latossolos requer um suprimento acumulativo de P, esgotando os sítios de imobilização desses solos, e adubação localizada nas linhas de plantio (NOVAIS e SMITH, 1999). Em solos de carga variável, como é o caso dos latossolos, o aumento do pH promove o aumento de carga superficial negativa, o que diminui a sorção de fosfato. Portanto, a calagem, necessária em latossolos para elevação do pH e imobilização do Al, contribui para o aumento da disponibilidade do P para as plantas. No entanto, uma calagem criteriosa deve ser conduzida para obter-se um manejo adequado, evitando assim a formação de compostos insolúveis de P, a valores de pH acima de 6-6,5.

Os fertilizantes fosfatados comercializáveis são classificados como acidulados ou termo-processados. Nos acidulados, que são os mais relevantes, tem-se, entre outros, o ácido fosfórico, os superfosfatos, os fosfatos de amônio e os fosfatos nítricos. O ácido fosfórico é manufaturado pelo tratamento da rocha fosfática com ácido sulfúrico

ou pela queima de fósforo, que dá origem ao pentóxido de fósforo, seguida de reação com água. O ácido fosfórico com 24% de P (55%  $P_2O_5$ ) é usado na acidulação de rochas fosfáticas para produção de superfosfato triplo e é neutralizado com amônia na manufatura de fosfatos de amônio, que são completamente solúveis em água.

As rochas fosfáticas não tratadas são relativamente estáveis e bastante insolúveis em água. Importantes fontes comerciáveis contêm 11-18% de P total. A efetividade da rocha fosfática como fertilizante diretamente aplicado ao solo depende de sua reatividade química, que, por sua vez, depende do grau de substituição do carbonato por fosfato na estrutura da apatita (TISDALE *et al.*, 1985). Vários testes de solubilidade podem ser aplicados para avaliação da reatividade da rocha fosfática. Estes incluem: citrato de amônio neutro, 2% ácido cítrico, 2% ácido fórmico, citrato de amônio ácido. A solubilidade por citrato neutro dessas fontes varia entre 5-17% do total de P, mas o valor residual das rochas de baixa reatividade pode ser considerável.

### 1.5. Pó-de-rocha como fertilizante alternativo

Os fertilizantes industriais de alta solubilidade têm sido largamente empregados em áreas agrícolas e estima-se que, no Brasil, as perspectivas são de uma maior demanda de fertilizantes. Nos 40 milhões de hectares cultivados com grãos (dados de 1997), predominam os latossolos, solos em estágio avançado de intemperismo que se caracterizam pela presença de óxidos de ferro e alumínio. Estes solos são ácidos, pobres em nutrientes minerais (P, K, Ca e Mg), com baixa capacidade de adsorção de cátions e de permeabilidade elevada. Os insumos aplicados na forma de sais solúveis são, em parte, perdidos por lixiviação, que é mais elevada no período chuvoso, quando as atividades agrícolas são mais intensas, visto que no Brasil predomina a agricultura de sequeiro. O processo de lixiviação promove o carreamento desses sais solúveis pelas águas de drenagem e contribui para a eutrofização de cursos de água. Assim, a agri-

cultura tropical de sequeiro, fortemente dependente de fertilizantes devido às características naturais dos solos e do regime de chuvas, constitui atividade que causa impactos de ordem econômica – perda de insumos por lixiviação – e ambientais – poluição de águas subterrâneas e de superfície.

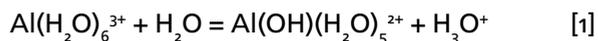
Uma alternativa atraente ao uso de fertilizantes industriais é a utilização de pó-de-rocha, pois, por ter uma solubilidade mais lenta que a dos fertilizantes comerciais, o pó-de-rocha se constitui em fonte de nutrientes para as plantas cultivadas durante longos períodos, promovendo o aumento da capacidade de troca de cátions (CTC) dos solos, devido à formação de novos minerais de argila durante o processo de alteração da rocha. A aplicação de pó-de-rocha (rochagem) é uma prática agrícola há muito utilizada, sendo a calagem e a fosfatagem natural casos particulares dessa prática. A rochagem reduz os custos de produção agrícola, por utilizar um produto alternativo ou servir como suplementação aos adubos químicos solúveis industrializados. O emprego do modelo de remineralização do solo com o uso de pó-de-rocha constitui-se também numa alternativa viável em termos econômicos e ecológicos, devido ao baixo custo do processo de beneficiamento, que envolve apenas moagem das rochas usadas na composição do produto, e devido à liberação gradual de nutrientes, que diminui as perdas por lixiviação e favorece uma ação de longo prazo do insumo aplicado. Além disso, a elevada demanda da agricultura brasileira por fertilizantes, a qual não consegue ser atendida pela indústria nacional, poderia ser adicionalmente suprida pela utilização de pó-de-rocha, que é um produto obtido a partir do beneficiamento simples de matérias-primas de ampla distribuição geográfica, diminuindo-se os gastos com importação e ampliando-se as alternativas para o mercado consumidor.

Entre os benefícios advindos da utilização de pó-de-rocha como fertilizante destacam-se: o fornecimento lento de vários nutrientes (macro e micronutrientes) importantes para a nutrição mineral de plantas cultivadas; aumento da disponibilidade desses nutrientes nos solos cultivados; aumen-

to de produção; reequilíbrio do pH do solo; aumento da atividade de microrganismos e de minhocas; aumento da quantidade e da qualidade do húmus; controle da erosão do solo devido ao melhor desenvolvimento das plantas cultivadas e ao aumento da matéria orgânica do solo; aumento da reserva nutricional do solo; aumento da resistência das plantas à ação de pragas, doenças, secas e geadas, devido à melhoria de seu estado nutricional; diminuição da dependência de fertilizantes, pesticidas e herbicidas, cuja produção exige um elevado consumo de energia.

## 2. Fontes de acidez dos solos e necessidades de calagem

Em latossolos, as principais fontes de acidez são: i) a dissociação de prótons dos grupos de hidroxilas, componentes estruturais dos oxihidróxidos de Fe e Al e ii) a presença de Al trocável em combinação com a falta de cátions básicos por lixiviação. Os íons  $Al^{3+}$  deslocados das argilas minerais por outros cátions são hidrolizados de acordo com as seguintes reações:



Em cada reação acima ilustrada há a liberação de prótons e, conseqüentemente, o decréscimo do pH. Para neutralizar esses prótons, os materiais geralmente adicionados são óxidos, hidróxidos, carbonatos e silicatos de Ca ou Ca +Mg. No caso dos calcários que contêm  $CaCO_3$ , ocorre a provisão de  $OH^-$ , que neutraliza a acidez e aumenta o pH do solo, além de fornecer Ca:



O aumento do pH controla a disponibilidade do Al que é tóxico às plantas, pela precipitação de  $Al(OH)_3^0$  na faixa de pH entre 6,0 e 8,0.

Para neutralização do Al tóxico, diminuindo sua saturação no complexo de troca no qual é substituído por Ca e Mg, para a eliminação do excesso

de Mn, o critério mais seguro para recomendação de calagem é o que eleva a porcentagem de saturação de bases (V%) a um valor adequado para a cultura, de acordo com a equação desenvolvida por Quaggio (1983) e modificada por Malavolta (1984):

$$NC = (T(V_2 - V_1) / PRNT) \cdot P \quad [6]$$

onde:

NC = necessidade de calcário (t/ha)

T = soma de bases (H+Al+K+Ca+Mg)

$V_2$  = saturação de bases desejadas (50-60)

$V_1 = S/T \times 100$  ( $S=K+Ca+Mg$ )

$P = 1$  (quando incorporado a 20 cm de profundidade e 1,5 a 30 cm de incorporação)

Estudos conduzidos por Melamed *et al.* (2005) para verificar a eficiência de pó-de-rocha no suprimento de nutrientes durante uma seqüência de cultivos, mostraram a eficiência relativa de um calcário dolomítico e de um carbonatito na correção de dois solos tropicais: um latossolo e um gleissolo do Planalto Central do Brasil. De modo geral, a correção do pH pelas rochas foi mais eficiente no latossolo do que no gleissolo. No latossolo, os efeitos das rochas na elevação do pH dos solos foram similares. No gleissolo, o calcário foi mais eficiente do que o carbonatito na correção da acidez. Nas unidades controle, o decréscimo no pH foi atribuído à liberação de ácidos orgânicos pelas plantas com a seqüência de cultivos.

## 3. Mecanismos físico-químicos do sistema rocha-solo-planta

No Brasil, entre as rochas ígneas disponíveis com potencial para utilização em sistemas de produção agrícola em latossolos destacam-se os carbonatitos, que são formados por mais de 50% de carbonatos, o que lhes atribui uma composição mineralógica próxima à dos calcários e mármore usados como corretivos de acidez desse tipo de solo. Adicionalmente, os carbonatitos apresentam significativas vantagens em relação aos calcários, porque, além do cálcio e magnésio (pre-

sentes na calcita e dolomita), contêm freqüentemente altos teores de potássio (presente na flogopita e biotita), de fósforo (presente na apatita) e de micronutrientes.

Além disso, os carbonatitos também contêm elevados teores de ETR (elementos terras-raras), presentes tanto em minerais específicos (monazita, bastnaesita e sinchisita), como na estrutura da apatita. Os elementos terras-raras, que são considerados por alguns como deletérios, têm sido, atualmente, utilizados na agricultura chinesa com índice de sucesso muito elevado. Na mina da Ultrafértil, em Catalão, além do minério de terras-raras (monazita), têm-se apatita com cerca de 1% de elementos terras-raras na sua estrutura. A maior parte da produção mundial de rocha fosfática provém de depósitos sedimentares. No entanto, no Brasil, os depósitos associados a complexos carbonatíticos são responsáveis pela maior parte da produção brasileira de concentrados apatíticos, enquanto os fosfatos sedimentares formam reservas pequenas e de difícil exploração.

Em comparação com os fosfatos e carbonatos de origem ígnea e metamórfica, os sedimentares são mais facilmente intemperizáveis. Mesmo assim, sua solubilidade natural é lenta, embora maior do que no caso das rochas ígneas ou metamórficas. Por exemplo, as características morfológicas, químicas e físicas das apatitas contidas nos carbonatitos determinam seu comportamento no solo e, conseqüentemente, estabelecem o tempo necessário para sua desestabilização e disponibilização do fósforo, podendo favorecer ou comprometer o potencial agrônomo e econômico de carbonatitos.

Nesse contexto, vários experimentos foram conduzidos (COSTA JUNIOR, 2002; GASPAR, 2005) visando investigar o potencial agrônomo de carbonatitos como fonte alternativa de nutrientes para plantas cultivadas. Nessa etapa prospectiva do tema, três grandes tópicos foram abordados: o estado do conhecimento sobre os complexos carbonatíticos existentes no Brasil; a caracterização química e mineralógica de pó-de-rocha pro-

veniente do Complexo Carbonatítico Catalão I, com ênfase nas apatitas; a cinética de dissolução do carbonatito e a avaliação do potencial agrônomo e da disponibilização de nutrientes por misturas de pó-de-rocha e latossolos, tendo como base o calcário comercial ou o carbonato de cálcio e suprimento de fertilizantes solúveis. Os resultados dessas ações mostraram que: a) a dissolução da apatita do carbonatito é incongruente havendo evidência de dissolução bioquímica dos grãos de apatita (adicionalmente, as raízes das culturas e as colônias de bactérias parecem desempenhar papel importante na dissolução da apatita); b) o carbonatito e o calcário comercial apresentaram eficiências semelhantes na elevação do pH do solo, na insolubilização do alumínio trocável e, conseqüentemente, na neutralização da acidez do solo; c) o teor de Ca trocável foi menor nos tratamentos com carbonatito do que nos outros tratamentos, resultado este atribuído aos diferentes teores de CaO dos materiais; d) o carbonatito liberou menos da metade de magnésio em relação ao calcário, diferença esta possivelmente causada pela mineralogia do material de origem, já que o conteúdo de MgO dos materiais é similar; e) apesar da menor eficiência do carbonatito como fonte de P na fase de estabelecimento de pastagem de braquiária, é necessário verificar, ao longo do tempo, o seu efeito residual. O uso simultâneo de fonte solúvel de P com o carbonatito pode ser uma estratégia a ser utilizada na formação da pastagem. Enquanto a primeira fonte se mostrou necessária ao estabelecimento, a viabilidade da segunda, na sua manutenção, deve ser ainda avaliada.

A complexidade dos mecanismos envolvidos no sistema solo-rocha-planta requer estudos de especiação geoquímica, em adição aos dados agrônomo geralmente coletados nesse tipo de avaliação. Essa complexidade tem no seu âmago as várias interações entre os parâmetros físico-químicos do sistema que são possíveis de ocorrer. Essas interações, que estão resumidas no Diagrama 3.1 (NOVAIS e SMITH, 1999), se constituem no racional para a compreensão dos mecanismos envolvidos no sistema rocha-solo-planta:

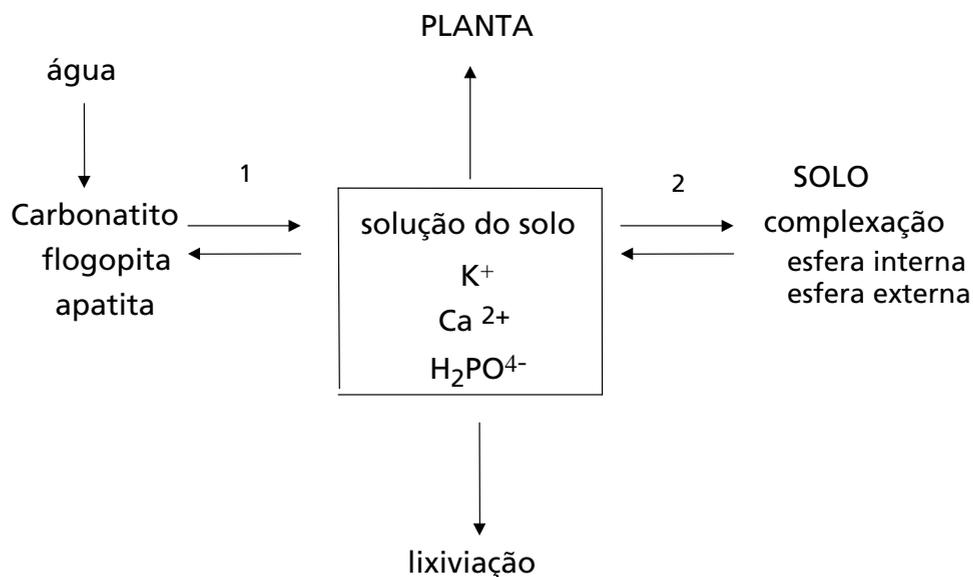


Diagrama 3.1 - Interações rocha-solo-planta.

Observa-se que para pós-de-rocha pouco solúveis a reação 1 terá seu equilíbrio deslocado para a direita com a adição de  $H^+$ . Esse fornecimento de prótons já é favorecido pelo pH ácido dos latossolos. A complexidade envolvida no sistema pode ser ilustrada pelo fato de que, apesar da maior acidez proporcionar a solubilização da rocha, essa acidez pode promover uma complexação de esfera interna do fosfato com o solo, tornando o fosfato menos disponível para a planta. Por outro lado, um pH mais elevado, favoreceria uma maior disponibilização do fosfato fixado ao solo para a planta, embora a solubilização da rocha seja menor. Um pH mais elevado também favoreceria uma maior CTC, visto que esses solos se caracterizam por carga variável dependente do pH, o que contribuiria para retirar K e Ca da solução do solo, via reação 2, promovendo a dissolução do carbonatito.

O diagrama acima também indica que o consumo dos produtos da reação 1, quer seja via absorção pela planta, ou pela complexação com o solo (reação 2) ou até pela lixiviação, promoverá também o deslocamento do equilíbrio da reação 1 para a direita, contribuindo para a dissolução da rocha. Obviamente, é de interesse que esse consumo seja

preferencialmente via absorção pelas plantas ou numa possível complexação de esfera externa para posterior deslocamento via reação 2, que pode depender da cinética envolvida no sistema.

Outra estratégia importante, na captação de nutrientes, é a escolha da cultura a ser desenvolvida nos ensaios. O efeito acidificante da rizosfera de algumas plantas pode efetivamente favorecer a dissolução do carbonatito. Outros fatores de importância no aproveitamento do carbonatito são a atividade microbiana dos solos e a quantidade de matéria orgânica, que também deve contribuir para dissolução do carbonatito pela produção de ácidos orgânicos.

Melamed *et al.* (2005) conduziram estudos em casa de vegetação envolvendo um delineamento fatorial para avaliação da eficiência agrônômica de carbonatito com relação a um calcário dolomítico aplicado a um latossolo vermelho e um gleissolo gipsítico. Essa eficiência foi avaliada durante uma seqüência de cultivos: soja-tomate-soja-milho. As Figuras 3.1 e 3.2 mostram o crescimento da soja no primeiro cultivo e do milho no último cultivo, respectivamente.



**Figura 3.1** - Crescimento e desenvolvimento da soja, 15 dias após a emergência.



**Figura 3.2** - Crescimento e desenvolvimento do milho antes da colheita.

Os resultados desse estudo mostraram os efeitos da aplicação do carbonatito quanto ao suprimento de potássio, fósforo, cálcio e magnésio, zinco e manganês.

#### a) Potássio

- Os teores de K tanto na parte aérea como no sistema radicular da soja<sub>1</sub> (1º cultivo) foram mais altos quando o carbonatito foi utilizado em comparação com o calcário. A análise estatística dos teores totais de K extraídos pela soja<sub>1</sub> confirma a maior bio-disponibilidade relativa de K quando o carbonatito foi aplicado. O teor de K no sistema radicular da soja<sub>2</sub> também respondeu positivamente à aplicação do carbonatito, enquanto não houve efeito do carbonatito no teor de K do milho. À exceção desses resultados, o teor de K no tomate foi relativamente maior quando o calcário foi utilizado.
- O carbonatito foi eficiente no suprimento de K quando este elemento estava menos disponível no solo. Quando não foi adicionado K solúvel, a concentração de K na parte aérea da soja<sub>1</sub> foi de 7 mg/g na presença do calcário e de aproximadamente 9 mg/g na presença do carbonatito. Com a aplicação de 40 mg K/kg solo, a concentração de K na parte aérea da soja<sub>1</sub> foi praticamente a mesma.

- no primeiro cultivo com soja, a eficiência biogeoquímica do carbonatito variou de 8,9% a 27,3%, no gleissolo, enquanto no latossolo variou de 2,4% a 18,4%. A eficiência agrônômica foi de 36,2% no gleissolo e 11,7% no latossolo.

#### b) Fósforo

- Apesar de atribuída uma cinética relativamente baixa e lenta de dissolução da apatita do carbonatito, os teores de P no sistema radicular da soja<sub>1</sub> (já no primeiro cultivo) foram mais altos quando o carbonatito foi utilizado em comparação com o calcário, sendo que essa diferença foi bastante significativa. O mesmo foi observado no terceiro cultivo (soja<sub>2</sub>). Embora esses resultados sejam bastante animadores, os teores de P extraídos pela soja<sub>1</sub> e soja<sub>2</sub> não foram diferentes para as duas rochas. Já no segundo cultivo (com tomate), o teor de P extraído foi maior quando o calcário foi aplicado.
- Com a adição de 50 mg P/kg de fertilizante solúvel, a extração de P pela soja<sub>2</sub> foi maior nos solos tratados com carbonatito do que com calcário. Porém, o inverso ocorreu com a adição de 100 mg P/kg de fertilizante solúvel.
- Ao final dos quatro cultivos, a extração de P foi maior nos tratamentos em que foi aplica-

do carbonatito, sendo que as extrações no gleissolo foram maiores que no latossolo.

- No latossolo, a eficiência das rochas na calagem é semelhante, resultando em valores de pH similares. Nesse solo, o carbonatito proporcionou uma maior disponibilidade relativa de P, do período de incubação ao final do primeiro cultivo. Com o tempo, as diferenças entre as rochas se anulam, sugerindo que o P antes disponível é imobilizado nos processos de sorção. No gleissolo, a eficiência de calagem do calcário é relativamente maior, promovendo valores de pH mais elevados do que no tratamento com o carbonatito. Nesse solo, até o final do primeiro cultivo, as diferenças entre as rochas quanto à disponibilidade de P são minimizadas. A partir do segundo cultivo, a disponibilidade de P do gleissolo tratado com carbonatito é maior do que a do gleissolo tratado com calcário, refletindo mais claramente a cinética de dissolução da apatita do carbonatito num solo com menor capacidade de sorção de P.
- A eficiência biogeoquímica variou de 1,4% a 23,1% e de 1,1% a 4,8%, estimadas pelo citrato de amônio e pela resina de troca iônica, respectivamente, quando aplicadas ao gleissolo, ao passo que, no latossolo variou de 1,1% a 21,6% e de 1,0% a 7,0%. A eficiência agrônômica do carbonatito para fornecer P no primeiro cultivo com soja foi de 3,8% no latossolo e de 14,4% no gleissolo.

#### c) Cálcio e magnésio

- Em praticamente todos os cultivos, os teores de Ca e Mg das plantas foram mais elevados nos tratamentos com calcário do que naqueles com o carbonatito, apesar das semelhanças entre as duas rochas nas concentrações desses elementos. Esses resultados confirmam a solubilidade diferenciada dos minerais constituintes das duas rochas que contêm esses elementos.

#### d) Zinco e manganês

- Os teores de Zn e Mn absorvidos foram maiores em essencialmente todas as culturas quando tratadas com carbonatito, refletindo os teores totais desses elementos nessa rocha que são em média de 1500 mg Mn/kg e 80 mg Zn/kg.

### 4. Biogeoquímica de elementos tóxicos

Recentemente, tem-se verificado uma crescente preocupação com o uso de insumos na agricultura, tanto calcários como fertilizantes, porque muitos desses insumos podem conter elementos tóxicos, dependendo da natureza dos minérios de que provêm, constituindo-se numa ameaça ao meio ambiente e ao homem. Na maioria dos países, a legislação que regula insumos agrícolas refere-se somente à idoneidade das informações contidas nas etiquetas. Essa preocupação com a contaminação de solos e águas subterrâneas levou alguns países, ainda que de maneira incipiente, a estabelecer limites toleráveis para certos elementos contidos nos insumos agrícolas (CFIA, 1997). Os limites para elementos considerados deletérios à saúde humana têm sido discutidos no Brasil (CONAMA, 2006) com o objetivo de estabelecer-se uma legislação que regule o uso de diferentes materiais na agricultura.

Enquanto alguns elementos são extremamente tóxicos, outros, como o B, Cu e Mo, têm uma margem estreita entre essencialidade e toxicidade (ADRIANO, 1986). No caso dos elementos terras-raras, apesar de efeitos adversos à saúde humana terem sido relatados (SAX, 1989; SABBIONI *et al.*, 1982), esses elementos têm sido amplamente usados na China para aumentar a produtividade e a qualidade das culturas. Dessa forma, em vista dessa contradição, a necessidade de estabelecimento de limites para elementos terras-raras se torna polêmico.

Vários metais, radionuclídeos e elementos terras-raras estão geralmente associados à apatita (LAPIDO-LOUREIRO e MELAMED, 2006; FERNANDES *et al.*, 2004), que é fonte de fósforo (LAPIDO-LOU-

REIRO e MELAMED, 2006; FERNANDES, RIO e FRANKLIN, 2004). Estudos conduzidos por Otero *et al.* (2005) caracterizaram vários fertilizantes quanto aos níveis de elementos-traço e terras-raras que foram usados para identificar a fonte de  $PO_4$  em fertilizantes e a relação entre as diferentes fontes de fosfato e metais pesados.

Os principais elementos considerados não metabólicos, encontrados no carbonatito estudado por Melamed *et al.* (no prelo) foram Sr (~0,8%) e Ba (~0,3%). Os níveis de Ni e Cu estão na faixa de 70-80 mg/kg, Rb e Zr na faixa de 50-60 mg/kg, Zn, Co e Y na faixa de 30-40 mg/kg e Pb, Nb, Pd e Ga na faixa de 10-20 mg/kg.

A concentração de Th no carbonatito é de aproximadamente 15 mg/kg e a de U está abaixo de 5 mg/kg. Como era de se esperar as concentrações de elementos terras-raras no carbonatito são relativamente altas. Nesse estudo, em geral, a aplicação de carbonatito não resultou em níveis de elementos não metabólicos nas plantas acima dos limites estabelecidos na legislação. No entanto, apesar de não terem sido encontrados limites estabelecidos para Sr e Ba, a aplicação de carbonatito resultou em níveis bastante elevados desses elementos absorvidos em todos os cultivos. As concentrações de Sr e de Ba nas plantas chegaram a atingir níveis iguais a 650 mg/kg e 160 mg/kg, respectivamente, e com taxas de translocação das raízes para as partes aéreas na faixa de 70-80%. Quanto aos elementos terras-raras, a absorção somente foi maior no último cultivo com o milho, fato que foi atribuído à lenta cinética de dissolução da apatita.

## Referências bibliográficas

- ADRIANO, D.C. 1986. Trace Elements in the Terrestrial Environment. Springer-Verlag, New York.
- ANDA. 2001. *Anuário Estatístico Setor de Fertilizantes*, ANDA, S. Paulo
- ANDERS, E. e GREVESSE, N. 1989. Abundance of the elements: Meteoritic and Solar. *Geochim. Cosmochim. Acta* 53, 197-214.
- BAKKEN, A. K., GAUTNEB, H. e MIHR, K. 1997. The potential of crushed rocks and mine tailings as slow-releasing K fertilizers assessed by intensive cropping with Italian ryegrass in different soil types. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 47:41-48.
- CAMPORA, A. 2003. "Situación del potasio en el mundo y sus perspectivas", Em: NIELSON H., Sarudiansky., *Fertilizantes Y Enmiendas de origen mineral*, Buenos Aires, Argentina, 283p.
- CFIA - Canadian Food Inspection Agency. 1997. Trade Memorandum, T-4-93, Standards for metals in fertilisers and supplements.
- CONAMA, 2006. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Ministério do Meio Ambiente do Brasil.
- COSTA JUNIOR, C.N. 2002. Dissolução química e biogeoquímica de apatita magmática. Tese de doutorado. Universidade de Brasília.
- DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral. 1999. *Sumário Mineral*.
- DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral. 2000. *Sumário Mineral*.
- DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral. 2001. *Sumário Mineral*.
- DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral. 2003. *Sumário Mineral*.
- FERNANDES, H.M., RIO, M.A.P. e FRANKLIN, M.R. 2004. Impactos radiológicos da indústria dos fosfatos, [www.cetem.gov.br/publicação/CETEM\_SED\_56.pdf].
- FYFE, W. S., LEONARDUS, O. H. e OLORUNFEMI, N. 1983. Global tectonics and agriculture: a geochemical perspective. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 9:383-399.
- GASPAR, J. C. 2005. Projeto pó-de-rocha: uma alternativa à importação de K para uso na agricultura brasileira. Relatório Técnico Final. CNPq/EMBRAPA/UNB.
- HINSINGER, P., BOLLAND, M. D. A. e GILKES, R. J. 1996. Silicate rock powder: effect on selected

- chemical properties of a range of soils from Western Australia and on plant growth as assessed in a glasshouse experiment. *Fertilizer Research* 45:69-79.
- LAPIDO-LOUREIRO, F.E. e MELAMED, R. 2006. O fósforo na agricultura brasileira: uma abordagem mineiro-metalúrgica [www.cetem.gov.br/publicação/cetem\_sed\_70\_pdf].
- LOPES, A.S. 1983. Solos sob cerrado. Inst. Potassa e fosfato.
- MALAVOLTA, E. 1984. A prática da calagem. 3ª. Edição. Bol.Técnico 2, Indústria Mineradora Pagliato Ltda, Sorocaba.
- MALAVOLTA, E. e KLIEMANN, H.J. 1985. Desordens nutricionais no cerrado. Associação Brasileira para pesquisa da potassa e do fosfato.
- MELAMED, R. e GASPAR, C. 2006. Carbonatite Powder Application for Sustainable Production Systems in Tropical Soils: I. Potassium Geochemistry and Bioavailability. No prelo.
- MELAMED, R. e GASPAR, C. 2006. Carbonatite Powder Application for Sustainable Production Systems in Tropical Soils: II. Phosphorus Geochemistry and Bioavailability. No prelo.
- MENGEL, K. 1994. Exploitation of potassium by various crop species from primary minerals in soils rich in micas. *Biol. Fertil. Soils* 17: 75-79.
- NOVAIS, R. F. e SMITH, T. J. 1999. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Universidade Federal de Viçosa, MG.
- OTERO, N., VITÒRIA, L. SOLER, A. e CANALS, A. 2005. Fertiliser characterisation: Major, trace and rare-earth elements. *Applied Geochem* 20, 1473-1488.
- QUAGGIO, J.A. 1983. Métodos de laboratório para a determinação da necessidade de calagem. Em: *Acidez e Calagem no Brasil*. B. van Raij. O. C. Bataglia e N. M. Silva, coordenadores. Soc. Bras. Ci. Solo, Campinas.
- SABBIONI, E., PIETRA, R., GAGLIONE, P. 1982. Long-term occupational risk of rare-earth pneumoconiosis. A case report as investigated by neutronactivation analysis. *Sci. Total Environ.* 26, 19-32.
- SAX, N.I. 1989. Dangerous properties of industrial materials. Van Nostrand Reinhold, New York, p. 3527.
- SCOVINO, J. L. S. e ROWELL, D. L. 1988. The use of feldspars as potassium fertilizers in the savannah of Colombia. *Fertilizer Research* 17; 71-83
- TISDALE, S.L., NELSON, W.L. e BEATON, J.D. 1985. *Soil Fertility and Fertilizers*. Fourth Edition. Macmillan Publishing Company. New York
- US-EPA, 1999. Background report on fertilizer use, contaminants and regulations, EPA 747-R-98-003, Office of Pollution Prevention and Toxics, Washington, DC.
- WEERASURIYA, T. J., PUSHPAKUMARA, S. e COORAY, P. I. 1993. Acidulated pegmatite mica: a promising new multi-nutrient mineral fertilizer. *Fertilizer Research* 34: 67-77.

# Capítulo 13 - Aplicação dos Produtos da Pirólise Rápida de Biomassa como Fertilizante Natural

## Os autores

### José Dilcio Rocha

Engenheiro Químico, D.Sc. Engenharia Mecânica, UNICAMP.  
Diretor da BLOWARE. E-mail: jdr@bioware.com.br

### Juan Miguel Mesa Pérez

Engenheiro Químico, D.Sc. Engenharia Agrícola, UNICAMP.  
Diretor da BLOWARE. E-mail: juan@bioware.com.br

### Luís Augusto Barbosa Cortez

Engenheiro Agrônomo, Ph.D., UNICAMP/NIPE. E-Mail: cortez@pq.cnpq.br

## 1. Introdução

A crescente demanda por biocombustíveis com a finalidade de substituição dos combustíveis fósseis levará ao uso exaustivo dos recursos hídricos e dos solos, recursos esses não-renováveis. A reposição de nutrientes é mais do que desejável nos solos agriculturáveis. Ela é necessária e fundamental para a manutenção da produtividade.

A redução das emissões de gases de efeito estufa tem mobilizado os governos na busca de alternativas sustentáveis, já que é quase um consenso que a queima de combustíveis fósseis é uma das principais causas antropogênicas do significativo aumento da temperatura da terra e outros fenômenos climáticos a ele relacionados.

Também é desejável que ao agricultor seja dada a alternativa de produzir alimentos e combustíveis, duas fontes de energia essenciais para a manutenção da vida e desenvolvimento das atividades humanas no planeta. Sendo o solo a fonte primária dessas matérias-primas, conjuntamente com a água e a luz solar, os cuidados devem ser redobrados para manter os recursos naturais.

No tocante às emissões de gases de efeito estufa, o setor energético é um grande emissor, seguido também dos setores siderúrgico e de fertilizantes minerais. Esse último, além de energético-intensivo está diretamente ligado ao setor de mineração, atividade essa capaz de modificar e degradar rapidamente o meio ambiente. A substituição desses fertilizantes por insumos derivados da

biomassa contribuirá enormemente para a mitigação das emissões.

O crescimento da agricultura orgânica é significativo no Brasil e, mundialmente, também vem alcançando altos níveis de crescimento. Ou seja, a sociedade atual deseja alcançar a qualidade na produção de alimentos de há 50 anos atrás, quando o consumo de pesticidas, herbicidas e fertilizantes minerais era inexistente, porém lançando mão de novas tecnologias que garantam também altas produção e produtividade, uma vez que a população mundial continua aumentando. A solução para isso está no emprego de tecnologias que sejam compatíveis com as condições ambientais, como o controle biológico de pragas, o plantio direto, o uso de adubação orgânica etc.

Nesse contexto, o aprendizado com as práticas ancestrais de cultivo da terra é um caminho que se abre à humanidade. No Brasil, a descoberta arqueológica da Terra Preta de Índio (TPI), também conhecida como Terra Preta Arqueológica (TPA), caracterizada por faixas bem definidas de terras agriculturáveis ao longo de rios amazônicos, desvendou aos estudiosos do tema um exemplo de tecnologia que os índios daquela região usavam na agricultura. Prática agrícola similar foi também encontrada em outras regiões do planeta, como na África Central. Ou seja, a biomassa florestal era parcialmente degradada com o uso de calor, e o carvão vegetal resultante era incorporado ao solo como fonte de nutrientes e retentor de umidade e

proliferador de microrganismos benéficos à atividade agrícola (LIMA, 2001).

Os processos de conversão termoquímica de biomassa são um conjunto de técnicas cuja principal característica é a elevada temperatura na qual eles acontecem. Os processos biológicos são de baixa temperatura quando comparados aos processos térmicos. Cada processo ainda tem associado a ele diferentes tecnologias de conversão. Assim sendo, o processo é a concepção que explica o mecanismo de funcionamento do fenômeno, e a tecnologia é o instrumento que o realiza dentro das condições operacionais indicadas e com determinados rendimentos e qualidade dos produtos gerados. Os principais processos termoquímicos de transformação de biomassa são: combustão, gaseificação, pirólise rápida, liquefação, carbonização e torrefação. Cada um deles tem produtos e rendimentos diferentes e acontece em determinadas condições operacionais, conforme mostrado na Tabela 1.1. Neste capítulo será tratada apenas a pirólise rápida como fonte viável de insumos para uma prática agrícola sustentável e renovável.

**Tabela 1.1** - Rendimentos dos produtos típicos obtidos por meio de diferentes formas de pirólise de biomassa

Processo	Características	Líquido	Carvão	Gás
Pirólise rápida	Temperaturas moderadas (450-550°C), curtos tempos de residência dos vapores e biomassa com pequeno tamanho de partícula.	75%	12%	13%
Carbonização	Baixas temperaturas (350-450°C), longos tempos de residência (pode ser de dias), partículas grandes.	30%	35%	35%
Gaseificação	Alta temperatura (900°C), longos tempos de residência, partículas de tamanho variado.	5%	10%	85%

Fonte: Bridgwater, 2001.

## 2. A biomassa como fonte de energia e insumos renováveis

O termo biomassa foi inventado por volta de 1975, para descrever os materiais naturais que podem ser utilizados como combustível. Inclui toda matéria orgânica de origem vegetal ou animal, inclusive os materiais procedentes de sua transformação natural ou artificial. Em seu conceito mais amplo, abrange toda a matéria viva existente num dado momento, na Terra. Qualquer tipo de biomassa provém, em última instância, do processo de conversão fotossintética. A biomassa energética engloba todos aqueles materiais que, por serem biomassa, são passíveis de serem utilizados para fins energéticos.

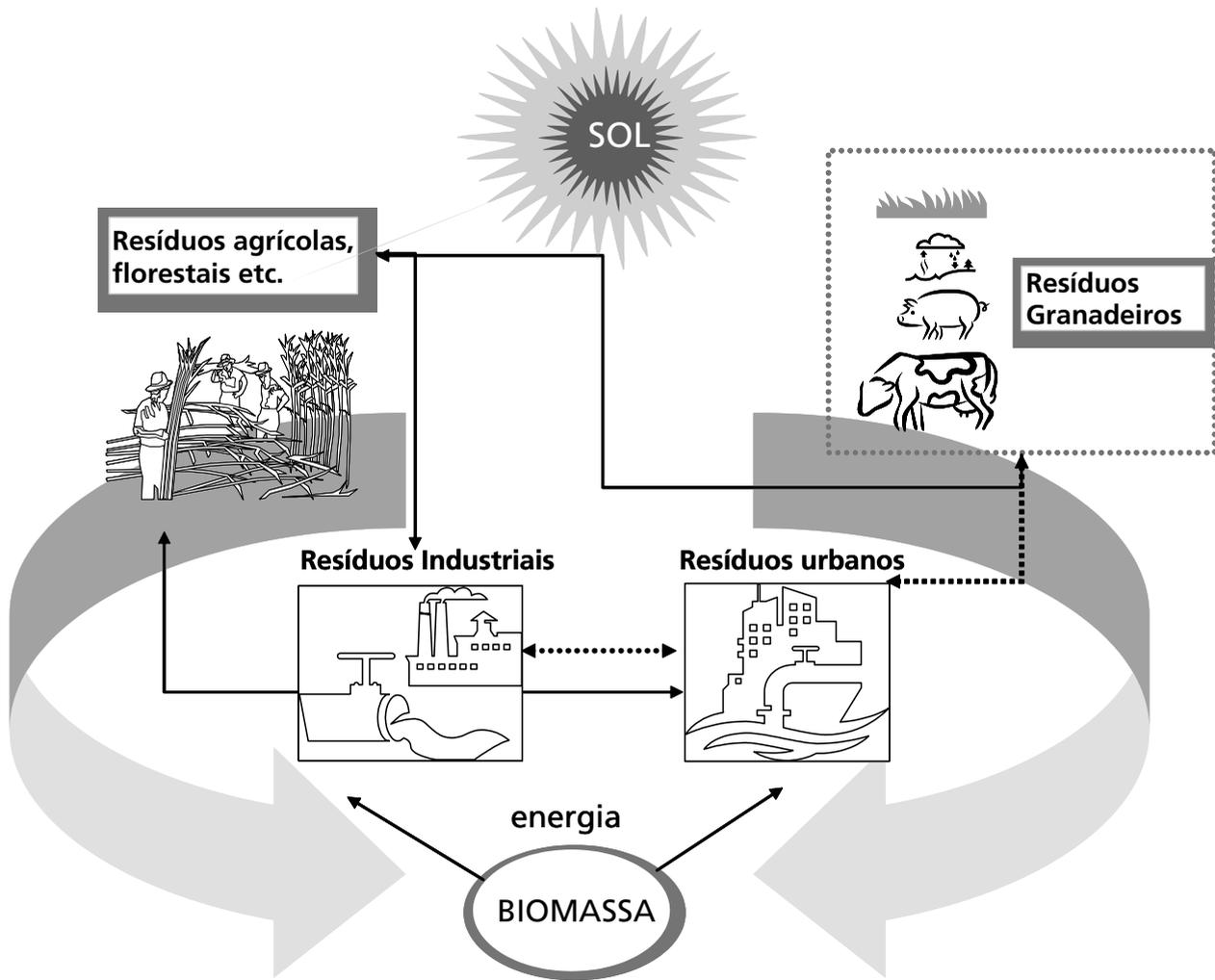
A biomassa é uma fonte de energia renovável, resultante do armazenamento da energia solar nas plantas. Por meio da fotossíntese, as plantas convertem o CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) da atmosfera nos compostos orgânicos usados em seu crescimento. A energia química armazenada nas plantas e nos animais (que se alimentam de plantas e outros animais), ou em seus resíduos, é chamada bioenergia. Essa energia contida na planta pode ser recuperada mediante vários processos, dos quais o mais simples é a combustão, como se vê na Figura 2.1.

Durante a combustão, a biomassa libera sua energia em forma de calor, e o carbono é reoxidado, ou seja, transformado em CO<sub>2</sub>, restituindo-se, desta forma, à atmosfera o CO<sub>2</sub> absorvido pela planta durante seu crescimento. Assim, o CO<sub>2</sub> liberado na combustão não contribui para o efeito estufa, uma vez que o ciclo de crescimento e combustão é auto-sustentável. No ciclo natural da vida, a biomassa morre e se decompõe em suas moléculas elementares, liberando também calor. A liberação de energia pela conversão de biomassa reproduz a decomposição natural, mas de um modo mais rápido, e essa energia é formada de energia renovável. Utilizando-se a biomassa, recicla-se o carbono e não se

adiciona CO<sub>2</sub> à atmosfera, ao contrário do que acontece com os combustíveis fósseis. De todas as formas de energia renovável, a biomassa é a única que efetivamente armazena a energia solar. Além disso, é a única fonte renovável de carbono e pode ser empregada na produção de combustíveis sólidos, líquidos e gasosos (PINHEIRO *et al.*, 2001).

### 3. Os constituintes da biomassa vegetal

A biomassa lignocelulósica é uma mistura complexa de polímeros naturais de carboidratos conhecidos como celulose, hemicelulose, além de lignina e pequenas quantidades de outras substâncias, como extrativos e cinzas, os quais estão contidos na parede celular das plantas.



Fonte: elaborado por W.A. Pippo, ref. Mesa-Pérez, 2003.

Figura 2.1 - Biomassa e energia solar

A parte correspondente às cinzas nos materiais lignocelulósicos é constituída por óxidos de cálcio, potássio, sódio, magnésio, silício, ferro e fósforo, e seu conteúdo é menor que um 1% em massa na maioria desses materiais. Os teores de extrativos, como terpenos, resinas, ácidos graxos, taninos, pig-

**Tabela 3.1** - Composição química elementar de materiais lignocelulósicos.

Biomassa	C	H	O	N
Bagaço de cana-de-açúcar	43,82	5,85	47,10	0,35
Fibra de coco	47,65	5,67	45,61	0,19
Casca de coco	50,22	5,70	43,40	0,00
Sabugo de milho	47,57	5,00	44,60	0,00
Pé de milho	41,92	5,29	45,95	0,00
Resíduo de algodão	42,66	6,05	49,50	0,12
Casca de amendoim	48,26	5,66	39,39	0,81
Casca de painço	42,66	6,05	33,07	0,12
Casca de arroz	38,92	5,12	31,95	0,55
Palha de arroz	36,89	5,05	37,89	0,39
Madeira (Subadul, Índia)	48,15	5,87	45,09	0,03
Palha de Trigo	47,47	5,42	35,79	0,13

Fonte: Jenkins, 1990.

mentos e carboidratos ficam entre 2 e 5% em massa. Na Tabela 3.1, mostra-se a composição química elementar de diferentes materiais lignocelulósicos e, na Tabela 3.2, a composição média de diferentes tipos de materiais lignocelulósicos (JENKINS, 1990).

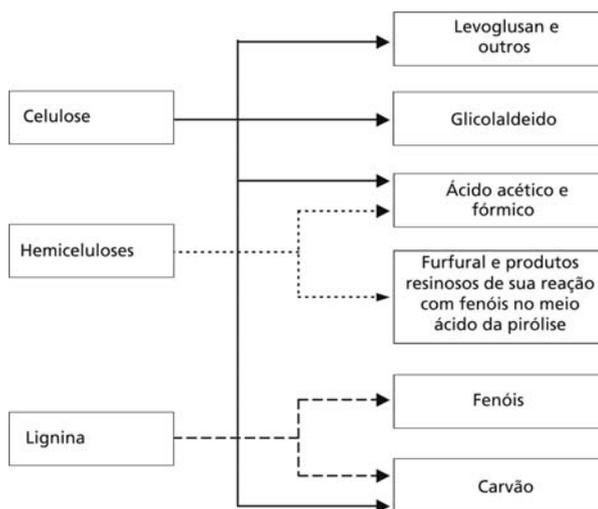
**Tabela 3.2** - Composição média de diferentes tipos de materiais lignocelulósicos.

Biomassa	Cinza	Celulose	Hemicelulose	Lignina
Bagaço de cana-de-açúcar	2,88	41,3	22,64	18,26
Fibra de coco	0,88	47,74	25,89	17,78
Casca de coco	0,68	36,28	25,06	28,73
Sabugo de milho	2,83	40,32	28,66	16,57
Pé de milho	6,84	42,71	23,61	17,50
Resíduo de algodão	5,36	77,79	15,96	0,00
Casca de amendoim	5,88	35,68	18,67	30,22
Casca de milho	18,10	33,28	26,94	13,97
Casca de arroz	23,46	31,29	24,32	14,30
Palha de arroz	19,78	37,04	22,67	13,64
Madeira (Subadul, Índia)	0,86	39,75	23,98	24,68
Palha de Trigo	11,19	30,52	28,90	16,38

Fonte: Jenkins, 1990.

#### 4. Produtos formados durante a pirólise dos componentes da biomassa

A Figura 4.1 resume os tipos de produtos líquidos e sólido (carvão) formados durante a pirólise dos três principais componentes da biomassa. Essa mistura de compostos líquidos, com diferentes graus de polaridade e solubilidade, não apresenta produto principal nenhum e, por isso, só é possível seu aproveitamento na forma de famílias de compostos (por exemplo, ácidos carboxílicos, fenóis, compostos neutrais etc.). A família de compostos mostrados na Figura 4.1 pode ser separada do bioóleo de acordo com a seqüência representada na Figura 4.2.



**Figura 4.1** - Produtos da pirólise dos principais componentes da biomassa.

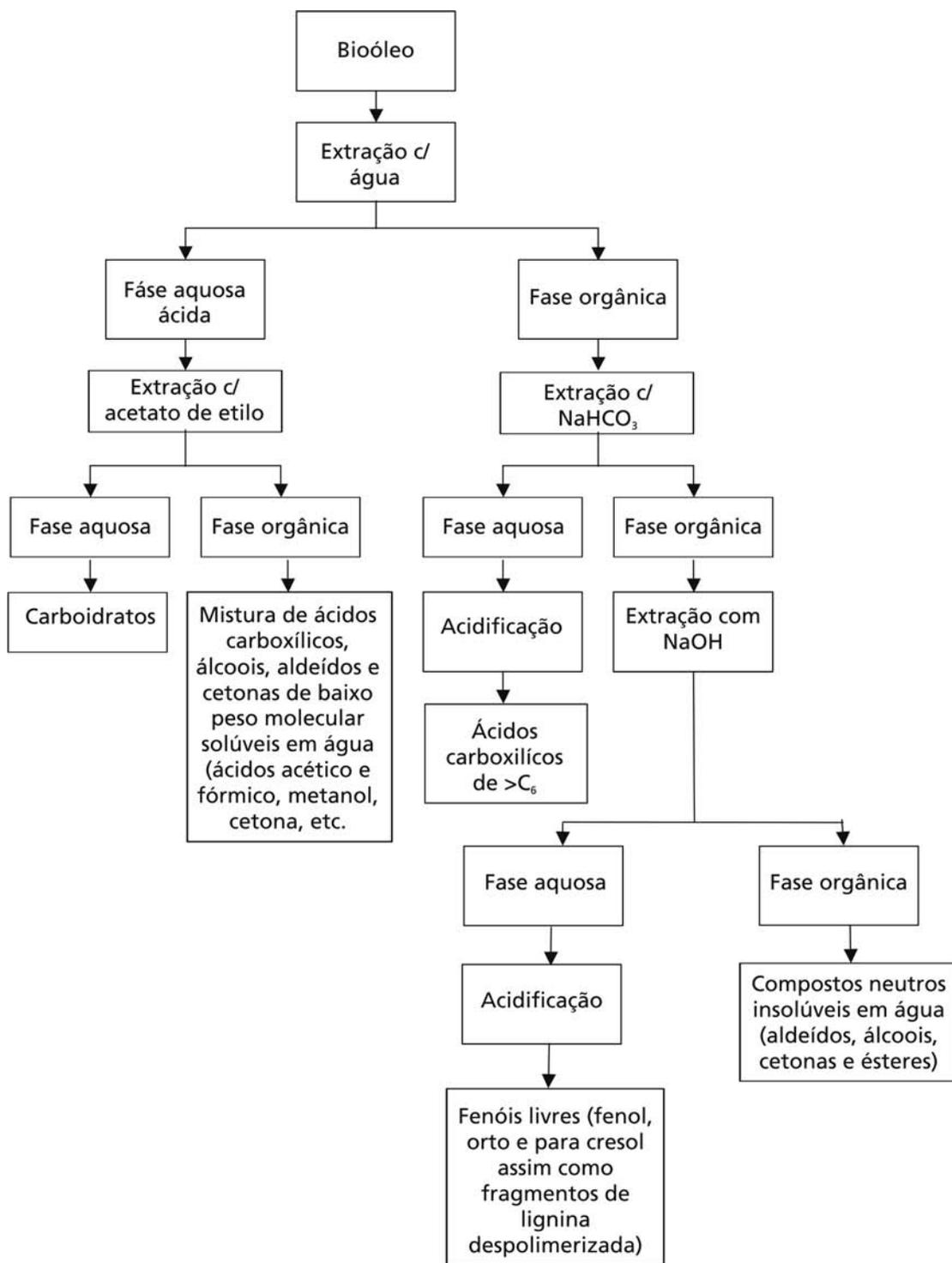


Figura 4.2 - Esquema de separação do bioóleo em diferentes frações.

A proporção de substâncias com maior ou menor peso molecular está condicionada ao tipo de pirólise: lenta no primeiro caso, e rápida, no segundo. As moléculas grandes causam a alta viscosidade do bioóleo, o que dificulta seu uso como combustível e como matéria-prima para a formulação de resinas fenol-formaldeído. Por outro lado,

essa característica pode ser útil para outros fins (por exemplo, para substâncias com atividade superficial). Os óleos leves da pirólise rápida têm muitas oportunidades de aplicação, podendo ser separados em frações prontas para a obtenção de diversos produtos de interesse comercial (Figura 4.3) (BRIDGWATER, 2002).

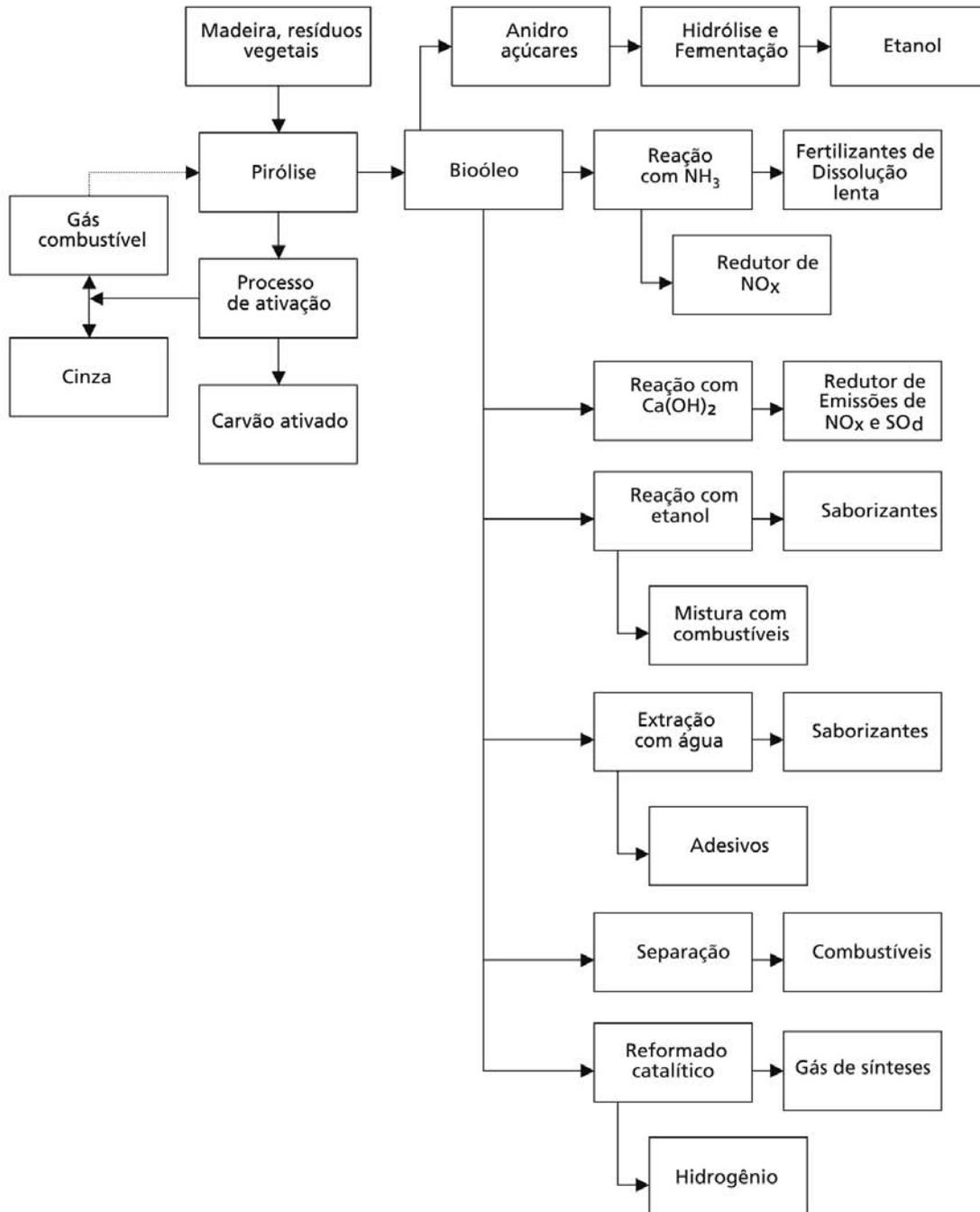


Figura 4.3 - Concepção de uma refinaria de bioóleo.

## 5. Processos de termoconversão de biomassa

Os principais métodos de conversão termoquímica da biomassa são: a pirólise, a liquefação, a gaseificação e a combustão. A gaseificação, a pirólise e a carbonização, essa última conhecida como pirólise lenta, podem ser consideradas variações de um mesmo processo, conforme mostrado na Tabela 1.1.

A **pirólise rápida** é um conceito relativamente inovador, porém a carbonização, também denominada **pirólise lenta**, para a produção de carvão vegetal, é conhecida e usada pelo homem há mais de 35 milhões de anos (ANTAL e GRØNLI, 2003). Ainda hoje, o carvoejamento é praticado em larga escala no Brasil e em outros países. No Brasil, são produzidos anualmente cerca de 10 milhões de toneladas de carvão vegetal, principalmente para uso siderúrgico, segundo dados do Balanço Energético Nacional, uma publicação oficial do governo federal. As principais características dessa atividade econômica é a pouca agregação tecnológica e a desatenção dada à mão-de-obra e ao meio ambiente. Essas características se traduzem no desperdício de até 75% da matéria-prima, que é perdida na forma de fumaça poluente, a não recuperação de subprodutos de alto valor agregado, devastação de florestas nativas para transformar em carvão, condições de trabalho inadequadas sem uso de EPI's, baixos salários e, muitas vezes, mão-de-obra não remunerada. A introdução de tecnologias industriais nesse setor é necessária para alterar esse quadro degradante. A proposta da tecnologia de leito fluidizado de pirólise rápida de resíduos agroindustriais atende a essa necessidade. Tecnologias inovadoras de pirólise lenta também são necessárias para partículas de grande tamanho, como troncos de árvores (ROCHA *et al.*, 2002; STAMATOV e ROCHA, 2007).

Apesar da variedade de tecnologias de pirólise rápida, o leito fluidizado borbulhante é uma das simples e eficientes. Os estudos relacionados ao campo da pirólise rápida de biomassa começou há alguns anos com o objetivo de desenvolver a tecnologia em escala de bancada e em escala pilo-

to e desenvolver e propor aplicações para seus co-produtos, quais sejam: o carvão vegetal fino, o bioóleo, o extrato ácido e os gases pirolíticos. A pirólise rápida em leito fluidizado borbulhante acontece em condições moderadas de temperatura, em torno de 500°C, pressão atmosférica e curto tempo de residência da ordem de segundos. O processo acontece na ausência total ou parcial de oxigênio. Em sistemas autotérmicos, a presença de oxigênio em quantidades de até 10% do estioquiométrico deve ser usada para que a energia necessária ao processo seja produzida com a combustão de parte da matéria-prima. Em sistemas com aquecimento indireto, a atmosfera dentro do reator de pirólise deve ser mantida isenta de qualquer gás oxidante, em se tratando de leito fluidizado, a fluidização deverá ser feita com gases de combustão, predominantemente, CO<sub>2</sub>. As principais exigências do processo, em termos de matéria-prima, são o pequeno tamanho de partícula, ao redor de 1 mm, e a baixa umidade, na faixa de 10-15%.

O princípio da pirólise rápida é a volatilização instantânea da matéria-prima e sua rápida recuperação na forma de líquido. Devido ao tamanho de partícula ser pequeno, a volatilização é beneficiada e a formação de líquidos, tanto extrato ácido quanto bioóleo, tem rendimentos altos. Como o tempo de residência dos vapores no interior do reator é curto, esses vapores não têm tempo necessário para se combinarem e formarem moléculas mais complexas do que aquelas formadas no início do processo. Comparativamente à gaseificação, que acontece a temperaturas em torno de 900°C, os vapores na pirólise rápida não sofrem craqueamento ostensivo a ponto de formarem gases como monóxido de carbono, hidrogênio etc., que são os constituintes do gás de síntese, embora parte da matéria-prima seja craqueada a esse estado. A água recuperada no extrato ácido e a água contida no bioóleo, neste último na forma emulsionada e na concentração de aproximadamente 30% em peso, é proveniente da umidade residual da matéria-prima, que entra no processo e é evaporada pela secagem drástica que antecede a degradação térmica dos

polímeros naturais da planta. Outra parte dessa água é formada nas reações de pirólise. A Figura 5.1 é uma visão geral da planta-piloto de pirólise rápida desenvolvida pela UNICAMP-BIOWARE (Mesa *et al.* 2002; ROCHA *et al.*, 2002; ROCHA *et al.*, 2002; MESA-PÉREZ *et al.*, 2003).



Fonte: cortesia BIOWARE Tecnologia.

Figura 5.1 - Vista da planta de pirólise rápida.

## 6. Uso do carvão vegetal na agricultura

Os efeitos benéficos da agregação de matéria orgânica ao solo são conhecidos desde o início da humanidade. A matéria orgânica, quando degradada termicamente na forma de carvão vegetal finamente subdividido, pode atuar como condicionador do solo e auxiliar do crescimento das plantas, oferecendo de forma contínua e dosada os nutrientes, aumentando a capacidade do solo de reter umidade e melhorando a sua capacidade de troca de cátions metálicos (LIMA, 2001).

Estudos sistemáticos sobre o tema têm sido conduzidos em várias partes do mundo. Muitos deles são baseados nas experiências ancestrais dos índios amazônicos. A recente conferência internacional intitulada *International Agrichar Initiative 2007 Conference*, que aconteceu na Austrália, de 29 de abril a 2 de maio de 2007, contou com a participação de delegados do Brasil, Austrália, União Euro-

péia, EUA, Japão, Nova Zelândia, Índia, Canadá e Filipinas ([www.iaconference.org/home.html](http://www.iaconference.org/home.html)).

No Brasil, a Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), para estudar essa aplicação, formou uma rede entre várias de suas unidades de pesquisa, que envolve: a unidade de Solos, sediada no Rio de Janeiro, RJ; a Amazônia Ocidental, sediada em Manaus, AM; Agrobiologia, de Seropédica-RJ; Florestas, de Colombo-PR; Pecuária Sudeste e Instrumentação Agropecuária, ambas em São Carlos-SP; Rondônia, de Porto Velho-RO; Amazônia Oriental, de Belém-PA e Embrapa Suínos e Aves, de Concórdia-SC. Esta rede também tem um representante na International Agrichar Initiative, uma organização internacional recém-criada para desenvolver o tema e que conta com representantes de 13 países. As pesquisas objetivam: a caracterização da agrobiodiversidade; o uso e fertilidade do solo; o manejo de nutrientes

em solos como a Terra Preta de Índio (TPI); o uso de resíduos agroindustriais para produzir novos solos do tipo TPI; o carvão vegetal como agregado em solos para culturas perenes; estudos da economicidade e externalidades do uso dos produtos da pirólise de biomassa na agricultura; propriedades químicas dos solos contendo carvão vegetal, como a capacidade de troca iônica e a atividade microbiana; propriedades físicas e hidráulicas da TPI e da Terra Mulata de Índio (TMI). As concentrações minerais nesse tipo de solo são muito mais elevadas do que nos solos vizinhos sem a adição de carvão vegetal. Para o nitrogênio e o fósforo foram reportadas concentrações três vezes superiores (TROMPOWSKY *et al.*, 2005; NOVOTNY *et al.*, 2007; CUNHA *et al.*, 2007; LEHMANN *et al.*, 2004).

O Museu Paraense Emílio Goeldi, de Belém-PA, tem um Grupo de Pesquisa para o Estudo de Terra Preta Arqueológica na Amazônia. Formado em 1997, conta com cerca de 20 pesquisadores. Esse grupo tem vasta publicação sobre o tema e organiza e

participa de eventos para discutir os diversos aspectos arqueológicos, econômicos e ambientais envolvidos. Vários dos principais sítios arqueológicos da TPI encontram-se no território do Pará (Caxiuanã e Quatipuru) e do Amazonas (como Manaus entre outros). Esses solos contêm coloração escura e restos de material arqueológico, como fragmentos cerâmicos, carvão e artefatos líticos. Sua composição elementar apresenta cálcio, carbono, magnésio, manganês, fósforo e zinco, o que os caracteriza como solos bastante férteis, segundo pesquisadores. Devido a sua alta fertilidade, essas terras são usadas pelos moradores ribeirinhos para o cultivo de agricultura de subsistência. A camada de TPA tem em média 40 a 50 cm, mas pode atingir até 2 m de profundidade em alguns sítios arqueológicos. A área desses sítios é, em geral, de 2 a 3 ha de extensão, mas sítios com dimensões superiores a 100 ha foram encontrados, como no caso de Caxiuanã-PA. A webpage do Museu tem a lista de toda a literatura sobre o tema.

Atualmente, várias organizações têm se ocupado em difundir o uso de carvão vegetal no solo. A Associação dos Produtores de Agricultura Natural, com sede em São Paulo-SP, tem manuais de como usar o carvão vegetal moído em conjunto com o extrato pirolenhoso na cultura de diversas plantas, como hortaliças, cereais (como arroz, milho, soja) e em plantas perenes adultas, como fruteiras, café etc. Essas técnicas são milenares e foram desenvolvidas e praticadas pelos japoneses. Elas são eficientes no controle de males e na melhoria do solo, pois controlam os nematóides, fusarium, aumentam a concentração de microrganismos benéficos, como o trichoderma, penicillium etc., proporcionam ambiente favorável para a multiplicação de micorrizas e outros microrganismos.

## 7. Uso do bioóleo na agricultura

Segundo Radlein *et al.* (1997), a produção de fertilizantes orgânicos nitrogenados é conhecida há muito tempo, usando fontes fósseis de carbono. Podem ser produzidos pela reação de amônia com ácidos húmicos naturalmente presentes na turfa e

nos carvões minerais do tipo lignito, pelo processo conhecido como amonoxidação. Por esse processo, o carvão mineral e outros materiais carbonosos sofrem uma oxidação parcial com ar atmosférico para aumentar a concentração de ácidos húmicos e, subseqüentemente ou mesmo simultaneamente, reagem com amônia. As primeiras publicações sobre esse processo foram feitas na forma de patentes nos anos de 1929 e 1931, por N. Caro e A.R. Frank, com patentes britânicas números 347.641 (1929) e 349.001 (1931), seguidos por Walton e Gardiner, com sua patente dos EUA número 1.858.230 (1932). As primeiras publicações usando biomassa e seus subprodutos são de M.I. Chudakov *et al.*, com a patente soviética número 223.823 (1968); Y.K. Kim *et al.*, no *Ind. Eng. Chem. Prod. Res. Dev.*, 23 (1984) 620 e a partir de resíduos de lignina do processo de pulpação de madeira de W.J. Detroit, patente dos EUA número 4.846.871 (1989) e o trabalho de D.Meier *et al.*, no *Proc. Second Brazilian Symposium of the Chemistry of Lignins and other Wood Components*, São Paulo, 1992, página 178.

Para ser usado como fertilizante de liberação lenta, o bioóleo proveniente da pirólise rápida de biomassa necessita de uma etapa de reação química com um composto que contenha o grupo funcional  $NH_2$ . A mistura de reagentes é aquecida para formar compostos nitrogenados. Várias fontes de biomassa podem ser usadas para a produção do bioóleo. O aquecimento a 110°C elimina a água e provoca a polimerização e solidificação do fertilizante. Também pode ser adicionado à massa reacional um substrato ou absorvente, como o próprio carvão vegetal na forma de pequenas partículas ou pó. Entre os principais macronutrientes, N, P, K, o nitrogênio é o mais volátil e rapidamente se perde antes de ser fixado pela planta. Na forma combinada com o bioóleo e o carvão, o nitrogênio tem uma vida média prolongada no solo (Radlein *et al.*, 1997).

Um projeto da União Européia, *Recycling of agricultural materials as a novel slow release fertiliser*, testou o bioóleo de pirólise rápida na produção de fertilizante de liberação lenta. Três

rotas foram exploradas: a reação de compostos nitrogenados com o bioóleo, a adição de compostos nitrogenados a biomassa antes de ser pirolisada e a reação direta de compostos nitrogenados durante a pirólise. Os resultados foram muito satisfatórios. O projeto custou cerca de um milhão e meio de euros e durou 36 meses, com início em 1999 e teve a participação de quatro instituições do Reino Unido, Alemanha e Dinamarca (Bridgwater *et al.*, 2000).

## 8. Uso do extrato ácido na agricultura

O extrato ácido, também conhecido como licor ou extrato pirolenhoso, quando proveniente da carbonização de lenha, é uma mistura aquosa de compostos solúveis derivados da degradação térmica da biomassa que têm efeito inseticida na agricultura. O pH dessa fração aquosa é muito baixo, cerca de 2, o que confere alto teor ácido provocado pela presença de ácidos carboxílicos de baixo peso molecular, além da presença de fragmentos pequenos da lignina. A lignina quando fragmentada origina compostos fenólicos que também têm caráter ácido com propriedade fungicidas e bactericida, como os cresóis, produtos muito usados na preservação de madeira antigamente. A degradação térmica da celulose e da hemicelulose origina açúcares que são hidrossolúveis e fixam esses constituintes do extrato ácido diluído nas folhas e caules das plantas, funcionando como repelente a pragas. Adicionalmente, o odor de fumaça que esses materiais carregam funciona como fumaça artificial para afugentar os parasitas vegetais (Maekawa, 2002; APAN, 2002).

O extrato pirolenhoso e seu uso agrícola são do conhecimento humano desde do século XVII, na Europa, quando se praticava a destilação seca da madeira, uma forma antiga de carbonização, que já naquela época recuperava os voláteis na forma de extrato pirolenhoso e alcatrão. Porém, as práticas e relatos mais amplos dessa aplicação vêm do Japão, que, em 1874, já desenvolvia técnicas construtivas de fornos de carbonização, obtinha produtos à base do extrato ácido e fazia testes experimentais na lavoura. No Pós-Guerra, em 1947, foi

editado o livro *Fabricação e Utilização do Extrato Pirolenhoso*, de autoria de T. Fukuda, que teve ampla aceitação e divulgou resultados na cultura do arroz. Desde então, as publicações na área vêm aumentando e a Associação Japonesa da Indústria Carvoeira e Extrato Pirolenhoso aglutina muitos estudiosos sobre o assunto. No Brasil, principalmente a comunidade japonesa tem sido grande usuária e propagadora dessas técnicas (MAEKAWA, 2002; APAN, 2002).

Um produto denominado Biopirol®, da empresa Biocarbo de Belo Horizonte - MG, é comercializado no Brasil há 10 anos. Ele é produzido pela destilação do alcatrão recuperado nos fornos de carbonização de lenha para uso siderúrgico na empresa V&M Tubes, também de Minas Gerais. É um produto natural com componentes da degradação térmica da lignina e das celuloses em solução aquosa e enriquecido com micronutrientes na seguinte composição e concentração em peso: Zn-1,8%, B-0,4%, Mn-0,5%, Cu-0,3%, Mg-0,3%, Fe-0,2% e S-1,8%. Desta forma, o registro no Ministério da Agricultura, Pecuária e Agronegócios (MAPA) foi permitido como um fertilizante organo-metálico. Ele funciona como um agrofertilizante e bioestimulante natural na formação da massa celular, defesa contra pragas e doenças e aumenta a qualidade, sabor e aroma. Seu uso reduz ou elimina a aplicação de defensivos e agrotóxicos e frutos mais duráveis, viçosos e saborosos. Esse produto deve ser usado de forma diluída em água em diversas proporções, dependendo da cultura na qual se deseja aplicar, variando de 1:50, para regar plantas adultas, até 1:500, na pulverização de hortaliças de folhas tenras. Existem dosagens adequadas por hectare e por período de aplicação.

## 9. Conclusões

Os derivados da pirólise rápida de biomassa podem contribuir decisivamente para o aumento da sustentabilidade e para o renovamento da agricultura, uma vez que são capazes de reciclar os nutrientes. Eles não substituem na totalidade a aplicação de micro e macronutrientes, mas podem diminuir o uso destes materiais. As cinzas conti-

das na biomassa, que variam muito de concentração e composição, dependendo do tipo de biomassa, são também fontes de nutrientes e ânions metálicos. A lixiviação, erosão e desertificação dos solos poderão ser minimizadas pela retenção de água e a proliferação da vida microbiana nas áreas aplicadas.

O ciclo do carbono agregado ao solo na forma de carvão vegetal e bioóleo é muito mais longo do que o ciclo do carbono nos biocombustíveis. Não existe ainda uma avaliação quantitativa conclusiva sobre a fixação de carbono para o uso dos produtos derivados da pirólise rápida de biomassa como fertilizante. Os aspectos econômicos também necessitam ser aclarados, o que demandará testes demonstrativos no campo e envolverá equipes multidisciplinares.

Também é claro que os biocombustíveis não são capazes de substituir os combustíveis fósseis na escala atual de consumo e serão necessárias mudanças profundas no modelo atual de desenvolvimento, além da substituição dos não-renováveis pelos renováveis. O padrão de consumo terá que admitir o uso racional e eficiente dos recursos naturais, sejam eles quais forem. Assim, a questão das emissões serão afetadas positivamente e as mudanças no uso dos fertilizantes renováveis em conjunto com essas medidas farão sentido e seus benefícios serão percebidos.

Conforme exposto aqui, não será por falta de conhecimento que a humanidade não tomará medidas positivas na direção da conservação do solo, melhoria da qualidade dos alimentos e na produtividade dos biocombustíveis. À luz de técnicas ancestrais e sua adaptação ao desenvolvimento tecnológico alcançado atualmente isso é possível.

Finalmente, a literatura citada nesse capítulo é apenas uma pequena amostra do enorme conjunto de publicações sobre o tema. Os interessados poderão ter como referência muitos livros e artigos científicos para se aprofundar em cada um dos assuntos.

## Referências bibliográficas

- ANTAL, M.J.Jr. e GRØNLI M. (2003). *The Art, Science, and Technology of Charcoal Production, Ind. Eng. Chem. Res.* 2003, 42, 1619-1640.
- APAN - Associação dos Produtores de Agricultura Natural. (2002). O que é a APAN e o que ela faz?. Manual de Agricultura Natural da APAN, São Paulo-SP, 10 páginas.
- BRIDGWATER, A.V. (2001). Towards the 'bio-refinery' fast pyrolysis of biomass. *Renewable Energy World*, James x James Editores, Londres, vol. 4, No.1, Jan-Fev 2001, p. 66-83.
- BRIDGWATER, A.V. (2002). *Fast pyrolysis of biomass: a handbook*. [S.l.]: Aston University, Bio-energy research group, UK. V.2.
- BRIDGWATER, A.V. *et al.* (2000). Slow release fertilisers by pyrolytic recycling of agricultural waste. *PyNE Newsletter* No. 10, dezembro de 2000, p.9.
- CUNHA, T.J.F.; MADARI, B.E.; BENITES, V.M.; CANELLAS, L.P.; NOVOTNY, E.H.; MOUTTA, R.O.; TROMPOWSKY, P.M.; SANTOS, G.A. (2007). Fracionamento químico da matéria orgânica e características de ácidos húmicos de solos com horizonte A antrópico da Amazônia (Terra Preta). *Acta Amazonica*, v. 37, p. 91-98, 2007.
- JENKINS, B.M. (1990). Fuel properties for biomass materials. In: *International Symposium on Application and Management of Energy in Agriculture: The Role of Biomass Fuels*. May, Delhi, India, p. 21-23.
- LEHMANN, J.; Campos, C.V.; Macedo, J.L.V. e German, L. (2004). Sequential fractionation and source of P in Amazonian Dark Earths. In: Glaser B and Woods WI (eds.) *Amazonian Dark Earths: Explorations in Time and Space*, Springer, Berlin, Germany. pp. 113-123.
- LIMA, H.N. (2001). *Gênese, química, mineralogia e micromorfologia de solos da Amazônia Ocidental*. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais. 176pp.

- MAEKAWA, K. (2002). Curso sobre Produção de Carvão, Extrato Pirolenhoso e seu uso na Agricultura, ministrado em Jacareí, SP, 02/02/2002 pelo Professor Kazuhico Maekawa, membro da Associação Japonesa de Processos de Carbonização e Extrato Pirolenhoso, 16 páginas, editado e traduzido pela APAN (Associação dos Produtores de agricultura Natural, São Paulo-SP).
- MESA-PÉREZ, J.M. (2004). Testes em uma planta de pirólise rápida de biomassa em leito fluidizado: critérios para sua otimização. Tese (Doutorado) - FEAGRI, Universidade Estadual de Campinas.
- MESA-PÉREZ, J.M.; OLIVARES, E.G.; ROCHA, J.D.; CORTEZ, L.A.B.; BROSSARD, L.E.P.; SEYE, O. E GONZÁLEZ, L.E.B. (2002). Tecnología de lecho fluidizado para pirolisis de biomasa vegetal. Anales del VII Congreso Internacional sobre *Azúcar y Derivados de la Cana-DIVERSIFICACIÓN* 2002, junho de 2002, Havana, Cuba, CD-ROM, 6 páginas. ISBN 959-7165-11-2.
- MESA-PÉREZ, J.M.; ROCHA J.D.; OLIVARES-GÓMEZ, E.; CORTEZ, L.A.B. E BROSSARD-PÉREZ, L.E. (2003). Pirólise rápida em leito fluidizado: uma opção para transformar biomassa em energia limpa. *Revista Analytical*, p.32-36.
- NOVOTNY, E.H.; AZEVEDO, E.R.; BONAGAMBA, T.J.; CUNHA, T.J.F.; MADARI, B.E.; BENITES, V.M.; HAYES, M.H.B. (2007). Studies of the Compositions of Humic Acids from Amazonian Dark Earth Soils. *Environmental Science and Technology Library*, v. 41, p. 400-405.
- PINHEIRO, P.C.C. *et al.* (2001). Fundamentos e Prática da Carbonização da Biomassa. In: 10 Congresso Internacional se Uso sa Biomassa Plan-tada para Produção de Metais e Geração de Eletricidade. Belo Horizonte, MG, Brasil.
- RADLEIN, D.; PISKORZ, J.; MAJERSKI, P. (1997). Method of Producing Slow-Release Nitrogenous Organic Fertilizer from Biomass US Patent 5,676,727.
- ROCHA, J.D.; OLIVARES-GÓMEZ, E.; MESA-PÉREZ, J.M.; CORTEZ, L.A.B.; SEYE, O. e BROSSARD-GONZÁLEZ, L.E. (2002) Produção de bioóleo combustível a partir de pirólise rápida de biomassa, IX Congresso Brasileiro de Energia, Rio de Janeiro, vol. 4, p.1896-1901.
- ROCHA, J.D.; OLIVARES GÓMEZ, E.; MESA PÉREZ, J. M.; CORTEZ, L.A.B., SEYE, O. E BROSSARD GONZÁLEZ, L.E. (2002). The demonstration fast pyrolysis plant to biomass conversion in Brazil. *Proceedings of the VII World Renewable Energy Congress*, junho/julho de 2002, Colônia, Alemanha, CD-ROM, 5 pág. ISBN 008 0440 79 7
- ROCHA, J.D.; OLIVARES GÓMEZ, E.; MESA PÉREZ, J. M.; BROSSARD GONZÁLEZ, L. E.; SEYE, O. E CORTEZ, L. A. B. (2002). Biomass Pyrolysis in Brazil - a Source of Biofuels. *The Tenth Biennial Bioenergy Conference - BIOENERGY'2002*, setembro de 2002, Boise, EUA, 10 páginas, CD-ROM.
- STAMATOV, V. e ROCHA, J.D. (2007). Bio-char refineries: an accessible approach for the development of biomass-based industry, *International Journal of Global Energy Issues*, (27), p.217-230.
- TROMPOWSKY, P.M.; BENITES, V.M.; MADARI, B.E.; PIMENTA, A.S.; HOCKADAY, W.; HATCHER, P. (2005). Characterization of humic like substances obtained by chemical oxidation of Eucalyptus charcoal. *Organic Geochemistry*, v. 36, p. 1480-1489.

# Capítulo 14 - Calcário agrícola no Brasil

## Os autores

---

### Samir Nahass

Geólogo, Coordenador-Geral da Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, SGM/MME. E-mail: samir.nahass@mme.gov.br

### Joaquim Severino

M.Sc., Professor de Política Agrícola UFPR/DERE

## 1. Introdução

A agricultura moderna deve ser voltada ao desenvolvimento sustentável, criando e mantendo a produtividade do solo em longo prazo. Os sistemas agrícolas empregados no Brasil, de uma maneira geral, começam a ser questionados, quando relacionados aos conceitos de sustentabilidade, isto é, “usar sem depredar, de modo a que os recursos naturais, notadamente o solo e a água, possam ser transferidos às gerações futuras, com um legado usufruto, em condições de capacidade produtiva”.

A aplicação do calcário, com tecnologia apropriada, na calagem dos solos protege o ambiente, incrementa a eficiência dos nutrientes e dos fertilizantes, melhora a efetividade de alguns herbicidas e aumenta a produtividade do cultivo. O excesso de acidez é um dos principais obstáculos para a obtenção de altos rendimentos e produtividade dos solos.

O uso de calcário traz benefícios inestimáveis à agricultura, dentre os quais se destacam a melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos, a redução da toxicidade de alguns elementos minerais, a influência na disponibilidade de nutrientes para a planta e a eliminação de elementos nocivos que destroem as culturas.

Pesquisas agrícolas exaustivas e abundantes comprovam que os solos brasileiros são, em sua maioria, muito ácidos e que a correção de sua acidez pela calagem é imprescindível para se obter uma

colheita abundante. Em alguns solos, quando não se utiliza a calagem, os rendimentos de certas culturas são tão baixos que o seu cultivo se torna economicamente inviável.

A acidez do solo é prejudicial à produtividade agrícola e deve ser combatida exaustivamente, sem trégua, pois se trata de fenômeno de ocorrência geral no País, que provoca perdas generalizadas à agricultura. Há necessidade de dar continuidade às políticas governamentais de incentivo ao produtor, ao agricultor, bem como reiniciar os programas desenvolvidos com sucesso nas últimas décadas do século passado por instituições governamentais e associações de classe, alguns dos quais apresentaram resultados prospectivos de inestimável valor. Esses programas contribuíram sobremaneira, no âmbito dos estados contemplados, para fomentar a demanda de insumos minerais utilizados pela agricultura, notadamente de calcários agrícolas, colocando à disposição do empresariado do setor mineral e agrícola informações precisas e confiáveis da geologia, da mineração, da produção, do consumo e da qualidade desses insumos, imprescindíveis à otimização dos seus suprimentos e à expansão das atividades atinentes.

## 2. Objetivos

Este capítulo, fundamentado principalmente em pesquisas bibliográficas, contatos e correspondências, mantidos com especialistas nacionais e estrangeiros, tem por objetivo precípuo introduzir o in-

interessado nos conceitos básicos para se obter uma boa e sustentável agricultura, enfatizando a grande utilidade do uso do calcário agrícola como corretivo de solo ou fertilizante. Procura-se sanar as dúvidas com relação ao uso e classificação do termo *calcário agrícola*, cuja conotação, em âmbito nacional e internacional, nem sempre é bem compreendida.

Serão apresentados dados sobre a pesquisa, a exploração, a comercialização, as políticas governamentais relativas ao emprego do calcário no Brasil, ao longo das últimas décadas, bem como novas estratégias, que poderão servir de subsídios às políticas destinadas ao uso deste recurso mineral na sustentabilidade agropecuária e melhoria dos recursos hídricos, baseadas principalmente na multifuncionalidade da agricultura, na qual os agricultores não são considerados meros produtores de matéria-prima, mas também recuperadores e preservadores dos recursos naturais.

### 3. Breve histórico

Desde tempos remotos, o calcário tem sido amplamente usado para diversos fins. Tanto nos tempos das cavernas, como nos tempos bíblicos e na antiguidade, pode-se constatar a existência de testemunhos relacionados ao uso dos calcários, dos dolomitos e dos seus produtos derivados em obras grandiosas e nos empregos domésticos.

Alguma evidência do seu uso como cal de argamassa, por exemplo, foi encontrada entre 7.000 e 14.000 anos atrás na região que é considerada hoje a Turquia Oriental. Evidências mais definitivas do seu uso em argamassa foram constatadas na antiga Iugoslávia, há cerca de 8.000 anos. No Tibet, foi usado para estabilizar argilas na construção das pirâmides de Shersi, 5.000 anos atrás.

Há 5.000 anos, os egípcios já incorporavam cal e gipsita calcinada na construção de suas pirâmides, principalmente em Gizeh. Também usavam a cal como um ingrediente da argamassa e do gesso.

Os romanos, há 2.000 anos, misturavam areia com finas camadas de terra e cinza vulcânica de

Pozzuoli, para produzir um forte e resistente composto de cimento e água salgada para uso na construção de edificações e blocos de concreto. Algumas dessas estruturas, tais como aquedutos, teatros, casas de banho etc., ainda continuam preservadas na Itália, Inglaterra, França e Espanha, entre outros países.

Os aquedutos da cidade de Cairo, Egito, os anfiteatros, casas de banho e sanitários das cidades de Sabrat e Leptus Magnus, ambas na Líbia, dentre outros, além de permanecerem quase totalmente preservados, são patrimônios históricos e consequentemente atrativos turísticos.

Em 1750, foi redescoberto o cimento hidráulico e, em 1824, inventado e patenteado o cimento Portland, usado até o presente. Seu nome deriva do cimento oriundo do calcário da Ilha de Portland, nos Estados Unidos.

Ressalta-se que o calcário é a mais útil e versátil de todas as rochas e minerais industriais, possuindo um amplo leque de disponibilidade e apresentando um custo relativamente baixo, quando empregado como agregado da construção civil, corretivo de solo ou fertilizante. Entretanto, um puro e microgranulado material do grau de um *filler* pode custar mais de US\$ 200.00/t.

No que diz respeito ao calcário agrícola, objeto deste trabalho, sabe-se que, desde a Renascença, a acidez do solo tem sido reduzida graças à adição da cal.

## 4. Calcários e dolomitos

### 4.1. Composição e propriedades

O calcário é uma rocha que contém uma quantidade significativa de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) nas suas variedades romboédrica, calcita e, mais raramente, a ortorrômbica, aragonita. Os componentes restantes podem incluir outros carbonatos, como a dolomita [ $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ] e componentes secundários, como quartzo, feldspato, pirita e siderita.

A calcita e a aragonita têm a mesma fórmula química, mas se diferenciam pela estrutura cristalina, ortorrômbica e trigonal, respectivamente. A calcita pura, a dolomita e a aragonita são minerais claros ou brancos. Entretanto, a rocha calcária, com impurezas, como a areia, argila, óxido e hidróxido de ferro, bem como com material orgânico, pode assumir expressiva variedade de cores, mas, em geral é de cor clara, bronze ou marrom. A dureza é baixa e sua resistência depende do grau de cimentação ou recristalização.

#### 4.2. Formação

Os calcários são rochas abundantes e ocupam expressivo volume da crosta, constituindo de 10 a 15% das rochas sedimentares encontradas na superfície da terra e contribuindo com significativa parcela para as rochas metamórficas e ígneas. É formado pela acumulação de conchas e fragmentos de concha, ou pela cristalização direta do carbonato de cálcio na água.

Os calcários, em sua maioria, são de origem marinha, formados em águas rasas, tipicamente em profundidades menores que 20 m. Poucos são formados em lagoas ou em água doce (travertino).

Dois processos de diagênese são importantes na formação do calcário. Um deles é a cimentação, na qual o carbonato de cálcio se precipita nos interstícios porosos, entre os grãos, cimentando todos os vazios, resultando numa rocha compacta e dura. O outro processo implica na alteração de minerais, tais como a transformação do cristal de aragonita em calcita (sistema ortorrômbico para trigonal), e a dolomitização da calcita pela absorção do magnésio das águas percolantes.

O dolomito é uma rocha que contém carbonato de cálcio e magnésio geralmente é mais dura e densa que o calcário. Como o calcário, é geralmente de cor branca, cinzenta, mas pode ter outras cores, a depender das impurezas que contém.

É formado, geralmente, a partir do calcário pela dolomitização, um processo diagenético que envolve a substituição de cálcio por magnésio na calcita. Isto pode ocorrer logo depois da deposição do calcário, pela troca com a água do mar, ou após a litificação, pela troca com as soluções de magnésio. O processo é, em parte, função da permeabilidade das rochas e pode, então, ser muito seletivo, dando lugar à intercalação de camadas de calcário e dolomito.

#### 4.3. Usos

O calcário é a mais útil e versátil de todas as rochas e minerais industriais, possuindo uma expressiva disponibilidade e baixo custo.

Na indústria, é uma matéria-prima essencial na fabricação do cimento, ferro e aço. É também importante na fabricação de papel e de lentes, de numerosos processos químicos, como *filler* nas pinturas, plásticos, borracha, asfalto e forros de tapetes, no tratamento da água e como agente preventivo de incêndios nas minas de carvão.

Os depósitos de calcários têm múltiplos usos. São fontes importantes de pedra britada ou agregados destinados a vários propósitos da construção civil, estradas de rodagem e base para trilhas ferroviárias. Devido à sua natureza relativamente macia e variedade de cores é também muito usado em escultura decorativa e como rocha ornamental (Tabela 4.1).

**Tabela 4.1** - Principais usos comerciais do calcário.

Tipo	Composição	Formação	Uso
Calcário puro	CaCO <sub>3</sub>	Deposição sedimentar, principalmente de conchas em águas do mar e em menor escala deposição química em água fresca	Agregados, agricultura, construção, <i>filler</i> , fábrica de cimento
Cal, Cal virgem ou Cal calcinada	CaO	Produzido pela calcinação do calcário para expelir o CO <sub>2</sub> e a água	Indústria do aço, papel, argamassa, agricultura, mineração de ouro e prata.
Cal hidratada ou extinta	Ca(OH) <sub>2</sub>	Formado pela adição de água na cal virgem	Indústria do açúcar, tratamento de água e curtição de couro, agricultura
Cal hidráulica	Calcário impuro contendo sílica e alumina	Produzido pelo aquecimento para formar um cimento que permanecerá endurecido em contato com a água	Cimento para concreto de construções subaquáticas

Fonte: Christie *et al.*, 2000.

## 5. Calcário agrícola

No Brasil, o termo calcário agrícola engloba vários produtos derivados, tais como: calcário calcinado, cal virgem, cal hidratada etc.

De acordo com a Secretaria de Fiscalização Agropecuária, é a seguinte a sua classificação, considerando-se a concentração de MgO:

- **Calcário calcítico**, quando apresenta teor de MgO menor que 5%;
- **Calcário magnésiano**, com teor de MgO entre 5 e 12%;
- **Calcário dolomítico**, com teor de MgO acima de 12%.

Franco e Souza Junior (2000) definem calcário agrícola como a rocha calcária moída, ou pó calcário, e seus produtos derivados: *calcário calcinado agrícola*, *cal virgem* e *hidratada agrícola*, *escória* e *outros*.

Na maioria dos países, o calcário agrícola é usado como cal. Nessa aplicação o termo cal abrange muitos produtos, tais como: produtos químicos derivados da calcinação de calcários calcíticos e dolomíticos seguidos pela hidratação, quando necessária. Isto é, no processo de calcinação a cal (CaO ou CaO.MgO) começa a se formar quando a temperatura de dissociação do calcário ocorre de 402°C, para o carbonato de magnésio, a 898°C, para o carbonato de cálcio (VAGT, 1997). A cal pode

também ser produzida por vários elementos carbonáticos, tais como aragonita, gesso, coral, mármore e conchas.

Neste trabalho, o termo *calcário agrícola*, quando utilizado sem nenhuma outra especificação, englobará a dolomita agrícola e os produtos agrícolas derivados, tais como o gesso agrícola (sulfato de cálcio hidratado, CaSO<sub>4</sub> . 2H<sub>2</sub>O) e outros.

Convém ressaltar que, na literatura mundial, o termo *lime* se refere à cal e pode ser subdividido em cal virgem (*quicklime*) e cal hidratada (*hydrated lime*), que poderão ser agrícolas ou não.

Na agricultura, enfatiza-se, os calcários magnésianos e dolomíticos são empregados sob forma de rocha moída, cal virgem (rocha moída e calcinada) e cal hidratada ou extinta (cal virgem hidratada). O calcário dolomítico é empregado, principalmente, como fertilizante de solos com deficiência de magnésio.

### 5.1 Qualidade e quantidade

Para os propósitos da agricultura, não há especificação definitiva dos teores de carbonato de cálcio a serem empregados para melhorar o desempenho da agricultura, mas, quanto maior for o teor de CaCO<sub>3</sub>, menor deverá ser a quantidade necessária para a sua aplicação.

Os corretivos são utilizados sob a forma de pó, para aumentar a sua reatividade e produzir me-

lhora assimilação pelo solo. O tamanho das partículas é inversamente proporcional ao tempo de reação do produto com o meio ácido dos solos, ou seja, quanto mais fino o calcário, maior será a velocidade da reação.

Os nutrientes do solo têm sua disponibilidade determinada por vários fatores, entre eles o valor do pH (potencial de hidrogênio), medida da concentração (atividade) de íons hidrogênio na solução do solo.

Assim, em solos com pH excessivamente ácido, ocorre diminuição na disponibilidade de nutrientes, como fósforo, cálcio, magnésio, potássio e molibdênio, e aumento da solubilização de íons, como zinco, cobre, ferro, manganês e alumínio, que, dependendo do manejo do solo e da adubação utilizados, podem atingir níveis de deficiência ou de toxicidade.

De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), a tendência da disponibilidade dos diversos elementos químicos às plantas, em função do pH do solo, pode ser ilustrada conforme a Figura 5.1. Nesta Figura, a disponibilidade varia como consequência do aumento da solubilidade dos diversos compostos em contato com o solo.

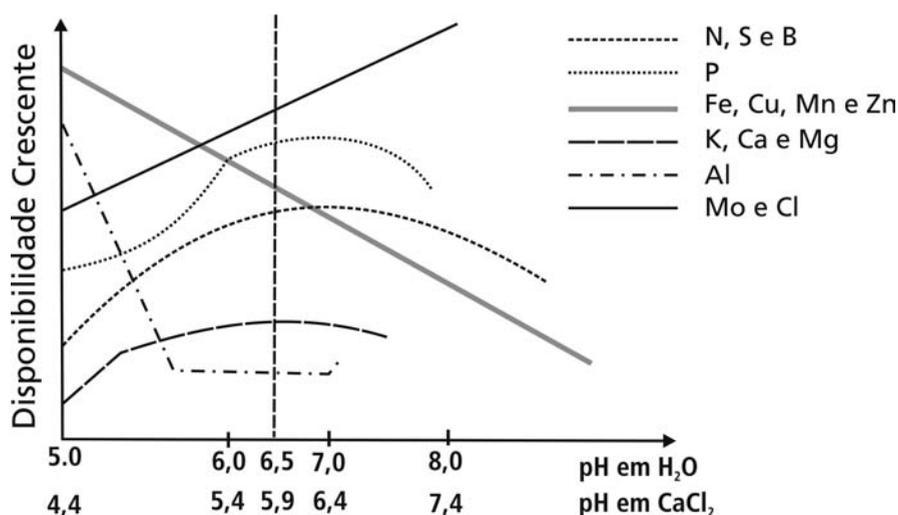
Os solos podem ser naturalmente ácidos, devido ao seu material de origem, ou podem desenvolver a acidez, em decorrência do uso contínuo de sistemas de irrigação. A maioria dos solos brasileiros é ácida. Segundo especialistas, o pH ideal a ser usado nesses solos situa-se entre 5,5 e 7, quando é possível a absorção de nutrientes de maneira satisfatória.

Como é de conhecimento geral, o pH é uma medida de acidez, neutralidade ou alcalinidade, que varia de 0 a 14, em que 7 corresponde à neutralidade, os valores abaixo de 7 indicam acidez e acima de 7, alcalinidade (Tabela 5.1).

Tabela 5.1 – Faixas de pH do solo.

3 - 4	Forte	ACIDEZ
4 - 5	Moderada	
5 - 6	Fraca	
6 - 7	Neutro	ALCALINIDADE
7 - 8	Fraca	
8 - 9	Moderada	
9 - 10	Forte	

Fonte: Coelho e Verlengia, 1973.



Fonte: EMBRAPA, 1999.

Figura 5.1 – Disponibilidade de elementos químicos às plantas.

Essa acidez, de acordo com Costa (2002), pode, ainda, ser desenvolvida por ação das chuvas<sup>1</sup>, pelo cultivo irracional das plantas (retirada de nutrientes pelas plantas), pelo uso contínuo de fertilizantes nitrogenados e pela erosão superficial<sup>2</sup>.

A maioria das culturas é tolerante à acidez, que não impede o seu desenvolvimento, mas é em ambiente neutro que a vegetação adquire o máximo de produtividade, pela maior fixação do fósforo no solo.

A acidez do solo pode ser corrigida aproximando-a da neutralidade pela "calagem", isto é, pela aplicação de calcário agrícola no solo.

Ela pode ser feita segundo duas metodologias básicas de análise de solos:

- neutralização do alumínio e suprimento de cálcio e magnésio; e
- saturação de bases do solo.

A incorporação do calcário ao solo se dá lentamente. Ela depende da capacidade de retenção de água pelo solo, da aeração e da granulação do produto. Trata-se de uma reação química de carbonatos de cálcio (pouco solúveis) e água, para formação de hidróxido de cálcio – que neutraliza o meio ácido, aumentando a disponibilidade de fósforo, nitrogênio e boro.

Foi constatado, por meio de resultados experimentais, que a incorporação de calcário em profundidade, além da camada arável, aumentou, por exemplo, a produção de milho e possibilitou uma maior extração de água, em solos com baixo teor de cálcio e alta saturação de alumínio, em todo perfil do solo.

O uso do gesso agrícola, em alguns solos, isolado ou agregado a outros insumos, tem agido como condicionador no sentido de acelerar a movimentação de alguns íons, especialmente cálcio e sulfato, no perfil do solo. Essa movimentação pode resultar em benefícios diretos para a cultura, situação em que a aplicação de calcário (tratamento fixo) e gesso promove melhor distribuição do sistema radicular no perfil, com o conseqüente aumento na absorção de água, de nutrientes móveis, como

o nitrogênio, e, em última instância, aumento de produtividade. Este assunto é tratado com mais detalhes em outros capítulos.

A correção do solo diminui a perda de nutrientes por lixiviação e evaporação, que, segundo estudos da Embrapa, chega a ser de 20% dos nutrientes consumidos como fertilizantes, quando aplicados a solos ácidos.

Além disso, o manejo correto do solo, pela calagem e fertilização, promove o aumento da produção pela maior produtividade agrícola dentro de uma mesma área, o que é chamado pelos especialistas de **crescimento vertical**. Assim, se evita que milhares de hectares de matas nativas sejam dizimados a cada ano para atender à demanda crescente de alimentos, fibras e outros produtos agrícolas.

*O agricultor ecologicamente certo é aquele que aumenta a sua produtividade verticalmente. Para isso, o primeiro passo a ser dado é a correção do solo, por meio do uso correto do calcário, seguindo-se a sua fertilização. Só assim estará contribuindo para o desenvolvimento sustentável da agricultura.*

Como indícios de acidez do solo, entre outros, pode-se citar: a existência de samambaias e sapé; a presença de cupim e de formigas cortadeiras, as quais cultivam os fungos das folhas que dependem da acidez do solo para se desenvolver.

De acordo com os produtores (fonte: internet, webpages das empresas Calcário Diamante e Calcário Dolomítico MIBASA), os principais benefícios da aplicação correta do calcário agrícola, além de elevar o pH, corrigindo a acidez do solo, são:

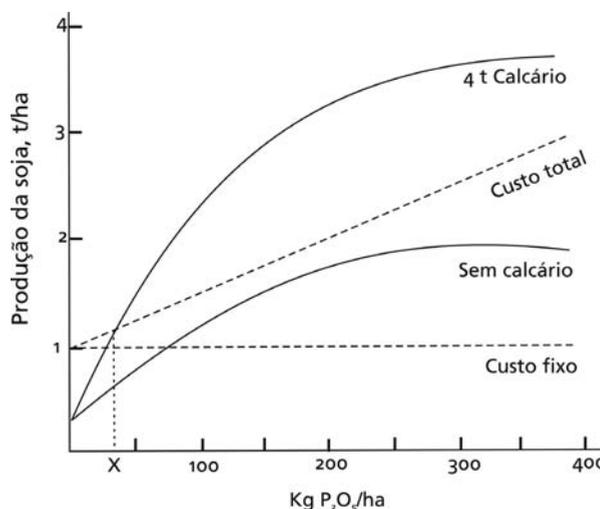
- proporcionar os nutrientes cálcio e magnésio e vários microelementos essenciais para as plantas;
- disponibilizar fósforo, potássio e enxofre retidos nas partículas do solo ácido;
- melhorar a atuação dos herbicidas, considerando que muitos deles perdem seus efeitos em solos ácidos;

- aumentar a disponibilidade de molibdênio, com a elevação do pH do solo;
- neutralizar a acidez do solo, reduzindo também a solubilidade do manganês, ferro e do alumínio, que são tóxicos às plantas, em grande quantidade;
- aumentar a atividade e o número de bactérias benéficas à saúde do solo, acelerando a decomposição dos resíduos das plantas, liberando nitrogênio e fósforo, benéficos ao crescimento dos vegetais;
- disponibilizar outros elementos mais raros às plantas;
- melhorar as condições de drenagem e arejamento do solo;
- combater diretamente a ocorrência e evolução das doenças, aumentando a resistência das plantas ao agente causador (fungos, bactérias ou vírus) e, indiretamente, através da reação do solo;
- proporcionar o equilíbrio das propriedades físico/químicas dos solo, propiciando melhor circulação de água, melhor aeração, maior disponibilidade de macro e micronutrientes, resultando, assim, num melhor e abundante desenvolvimento do sistema radicular das plantas.

De acordo com Goedert e Lobato (1988), pesquisadores do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, da Embrapa, a acidez e a baixa fertilidade geralmente ocorrem concomitantemente. São restrições que afetam a grande maioria dos solos do País, tanto em condições nativas, como em solos cultivados há muitos anos sem a reposição adequada de nutrientes, através de algum tipo de adubação. Sem dúvida, constituem-se na causa mais comum para a baixa produtividade dos sistemas de produção e, por isso, têm merecido destaque dentro da Ciência do Solo, no Brasil.

A curva de resposta à calagem e à adubação, em solo típico da região dos cerrados (Figura 5.2), caracteriza essa situação, evidenciando uma pequena produção, sem a adição desses insumos agrí-

colas, mas, também, mostrando a boa resposta da planta e a interação positiva resultantes da aplicação dos mesmos. Respostas semelhantes, em diferentes gradações e formas, podem ser encontradas na literatura nacional e internacional.



Fonte: Embrapa/CPAC, 1976.

**Figura 5.2** - Curvas de resposta da cultura da soja à adubação fosfatada, em dois níveis de calagem, em um latossolo vermelho-escuro.

Segundo Costa (2000):

*“a degradação das pastagens se constitui em um grande problema nas áreas de pastagens do Brasil. Perdas da fertilidade, superpastoreio, queimas periódicas e a ocorrência de plantas indesejáveis são os principais fatores responsáveis pela degradação das pastagens. A calagem e a fertilização são essenciais para a melhoria da fertilidade do solo e aumento da produção de forragem das pastagens e capineiras”.*

Entretanto, para que a calagem e a fertilização tenham resultados ótimos, torna-se de fundamental importância conhecer a qualidade e a quantidade do calcário a ser utilizada, em função principalmente da cultura, das características do solo e do clima.

A **qualidade** é medida pelo Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT), que, no caso do calcário, fornece o valor equivalente ao  $\text{CaCO}_3$ , que corresponde ao índice 100.

De acordo com Malavolta (1989), segue-se a classificação do PRNT do calcário (Tabela 5.2):

**Tabela 5.2** – Classificação do PRNT do Calcário.

PRNT do Calcário	Classificação
45 a 60%	Baixo
60,1 a 75%	Médio
75,1 a 90%	Alto
Maior que 90%	Muito alto

A **quantidade** de calcário a ser aplicada para determinado tipo de agricultura é fundamentada no resultado da análise de amostras do solo, cujo cálculo da quantidade a ser aplicada é baseado em diferentes métodos, sendo que o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) adota o de saturação por bases (COSTA, 2000).

O cálculo pode ser obtido a partir da seguinte fórmula:

$$NC = T (V_2 - V_1) f / 100$$

NC = toneladas de calcário/ha para cada camada de 0-20 cm

T = CTC a pH 7,0 ( $Ca^{+2} + Mg^{+2} + K^+ + H^+ + Al^{+3}$ );

CTC = Capacidade de Troca Catiônica

$V_2$  = saturação de bases desejadas para a cultura

$V_1$  = saturação de bases atuais do solo

f = fator de correção para PRNT = 100% ou 100/PRNT do calcário a ser aplicado

Quando aplicado em profundidade, deve-se utilizar o seguinte fator de correção ao resultado final (NC final):

— de 0 a 30cm – NC x 1,5

— de 0 a 40cm – NC x 2,0

— calagem superficial – NC/2,0.

De acordo ainda com Malavolta (1989), o calcário deve ser aplicado em um determinado tempo para que possibilite a sua reação no solo, seguindo-se a Tabela 5.3, a seguir.

Constatou-se que os efeitos da calagem prolongam-se por 2 a 5 anos, dependendo da cultura.

Embora a legislação brasileira apresente quatro faixas de variação de PRNT para os calcários agrícolas, que varia de 45 a 90%, o comércio não aceita produtos com PRNTs menores que 67%.

**Tabela 5.3** – PRNT e época de aplicação do calcário

PRNT do calcário (%)	Época de aplicação (Dias antes do plantio)
70	90
70 a 80	60
80 a 90	30

## 6. O calcário agrícola no Brasil

### 6.1 Características

O calcário agrícola no Brasil, de acordo com a legislação (extrato de minuta de Portaria do Ministério da Agricultura, 30/05/86, publicada no DOU, em 16/06/96, página 8673), é caracterizado pelas seguintes exigências mínimas:

Granulometria	100% (ou 95%) 70% 50%	< peneira 10 ABNT < peneira 20 ABNT < peneira 50 ABNT
---------------	-----------------------------	---

Qualidade química PN	(%CaCO <sub>3</sub> )	Σ óxidos (% CaO+MgO)
Escórias	60	30
Calcários	67	38
Calcário calcinado	80	43
Cal hidratada	94	50
Cal virgem	125	68
Outros	67	38

Qualidade agronômica – PRNT	
Tipo A	45 a 60%
Tipo B	60,1 a 75%
Tipo C	75,1 a 90%
Tipo D	> 90%

Qualidades mínimas admitidas	
PN	≥ 67%
PRNT	≥ 45%

Fórmula de cálculo do PRNT	
PRNT = PN x RE	
PN =	Poder de neutralização (% CaCO <sub>3</sub> )
RE =	Reatividade das partículas do corretivo
0%	fração retida em peneira 10 ABNT
20%	fração retida em peneiras 10 e 20 ABNT
60%	fração entre peneiras 20 e 50 ABNT
100%	fração passante em peneira 50 ABNT

Classificação Conforme teor de MgO		
Calcário calcítico	MgO	< 5%
Calcário magnesiano	MgO	5% e < 12%
Calcário dolomítico	MgO	≥ 12%

## 6.2 Depósitos e ocorrências

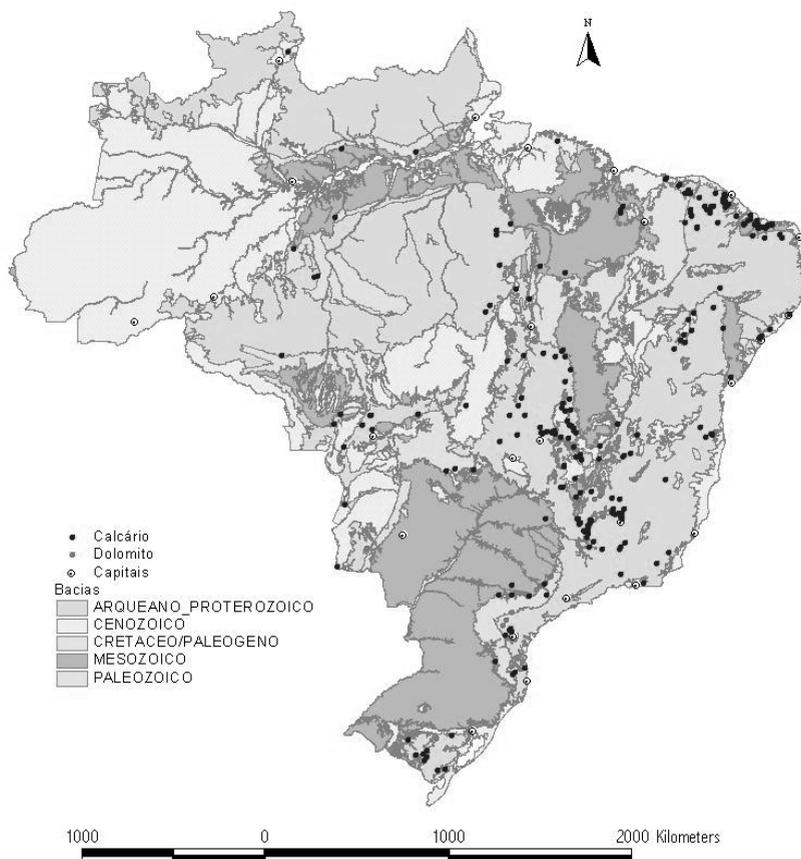
No Brasil, existe uma quantidade significativa de depósitos e ocorrências de calcários e dolomitos agrícolas. Pode-se afirmar que a maioria dos estados brasileiros possui alguma ocorrência ou depósito de calcário com características favoráveis à agricultura (Figura 6.1).

Os calcários agrícolas brasileiros são oriundos, principalmente, das bacias arqueanas-proterozóicas, bem como mesozóicas e paleozóicas. Já o dolomito agrícola, em menor quantidade, apresenta-se com maior abundância nas bacias paleozóicas, notadamente na Bacia do Paraná (Figura 6.2).



Fonte: Geologia, tectônica e Recursos Minerais no Brasil. Sistema de Informações Geográficas (SIG)/MME/CPRM. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística/IBGE.

**Figura 6.1** – Ocorrências e depósitos de calcários e dolomitos agrícolas nos estados brasileiros.



Fonte: Geologia, Tectônica e Recursos Minerais no Brasil.  
Sistema de Informações Geográficas (SIG)/MME/CPRM.

**Figura 6.2** – Terrenos geológicos.

Em termos de vegetação, o Brasil apresenta, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), os seguintes tipos, conforme distribuídos na Figura 6.3.

Considerando que o cerrado abrange cerca de 200 milhões de hectares e que o mesmo, geralmente, apresenta solos ácidos e quase sempre pobres em nutrientes, necessitando, portanto, de corretivos e fertilizantes, não há dúvida de que atenções agrícolas especiais deverão estar voltadas para ele. Os especialistas afirmam que cerca de 45% do adubo utilizado na lavoura perde a potencialidade por falta de calagem. Nesse sentido, a correção de sua acidez por intermédio da calagem torna-se indispensável para a elevação da produtividade dos cultivos, o que não deverá ser tarefa extremamente

difícil, considerando-se a potencialidade desta região em termos de reservas de rochas carbonáticas.

Com efeito, o Programa de Avaliação Geológico-Econômica de Insumos Minerais para Agricultura no Brasil (PIMA), da CPRM, mostrou que o Centro-Oeste brasileiro, por exemplo, que é coberto por uma área de aproximadamente 1.034.000 km<sup>2</sup> de cerrado (~52% da área total do cerrado brasileiro), apresenta reservas de rochas carbonáticas praticamente inesgotáveis, avaliadas em algumas dezenas de bilhões de toneladas. Essas reservas encontram-se concentradas principalmente no centro-leste de Goiás; na Província Serrana, no Mato Grosso; e Serra da Bodoquena, no Mato Grosso do Sul.

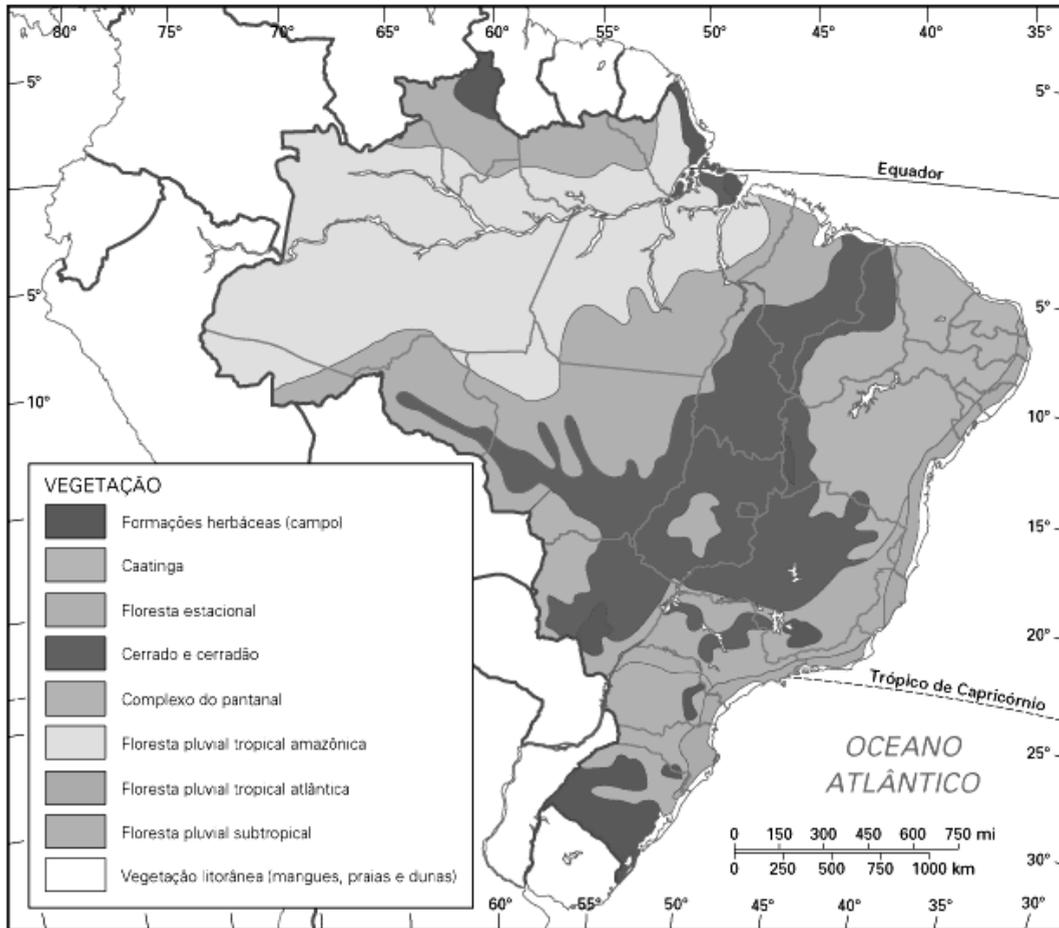


Figura 6.3 - Principais tipos de vegetações brasileiras.

Nos estados de Goiás, Tocantins e Distrito Federal, além dos grupos Bambuí e Araxá, são encontradas em lentes e camadas dos grupos Natividade, Arai e Tocantins e nas formações Piauí, Pedra do Fogo, Irati, Codó e Bauru. Em Mato Grosso, as reservas estão contidas na Formação Araras, nos grupos Beneficiente, Cuiabá e Bauru. No Mato Grosso do Sul, é abundante no Grupo Cuiabá e nas formações Cerradinho Araras e Xaraies (JUSTO, 1996).

Da mesma forma, as atenções agrícolas também deverão ser voltadas para as áreas já agricultadas da Amazônia, no sentido de se implementar uma tecnologia moderna, considerando-se que ainda é muito efetiva a tradição de roçar-queimar-plantar e abandonar e buscar outro torrão, onde o processo novamente se inicia. Esta prática provoca o crescimento horizontal sem propiciar necessaria-

mente a produção adequada, além de contribuir para a degradação do solo, contrapondo-se ao crescimento da produtividade agrícola vertical, esta benéfica ao desenvolvimento agrícola sustentável.

Resende (2001) alerta para o fato de que:

*“romper esse ciclo vicioso, requer conhecimento, orientação, domínio, aplicação de tecnologia adequada pela comunidade agrícola. O calcário agrícola desempenha significativo papel”.*

### 6.3. Produção e consumo

Dados precisos sobre a produção de calcário, principalmente de calcário agrícola, no mundo, não são fáceis de se obter. Entretanto, são apresentados, na Tabela 6.1, dados sobre os principais países produtores de cal hidratada, coletados por Miller e publicados no *U.S. Geological Survey Mineral*,

*Yearbook 2006*, no qual o Brasil se encontra entre os dez maiores produtores mundiais, colocado no sétimo lugar. Considerando que a produção mundial foi 271 milhões de toneladas, o Brasil contribuiu com, aproximadamente, 2,5% dessa produção.

Em 2006, de acordo com a Tabela 6.2, a produção brasileira de calcário agrícola, na qual está incluído o dolomito agrícola e produtos derivados, segundo a ABRACAL, foi de 16.736.400 t, verificando-se um decréscimo de 2,2% em relação ao ano anterior e de 38,8% em relação a 2003. O consumo aparente (Tabela 6.3) foi de 16.849.800 t, verificando-se também, praticamente, o mesmo decréscimo, respectivamente, em relação ao ano anterior e a 2003 (menor produção e consumo nos últimos seis anos).

O estado de Minas Gerais apresentou-se como o maior produtor de calcário agrícola em 2006, com uma produção de 3.902.700 t e um consumo aparente de 3.336.700 t, seguido por São Paulo (3.090.600 t) e Paraná (2.878.000 t). Os estados do São Paulo, Minas Gerais, Mato Grosso, Goiás e Rio Grande do Sul são os maiores consumidores.

Os estados de São Paulo e Rio Grande do Sul apresentaram um consumo aparente maior que as respectivas produções, enquanto os estados de Minas Gerais e Paraná apresentaram um consumo menor do que as respectivas produções. Estudos mais detalhados deverão ser elaborados no sentido de se verificar o motivo destas discrepâncias.

Cabe enfatizar que, apesar da pequena produção e consumos de calcário agrícola, as necessida-

**Tabela 6.1** - Produção mundial de cal hidratada (1.000 t).

País	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
1-China*	21.500	21.500	22.000	22.500	23.000	23.500	25.000	160.000
2-Estados Unidos	19.700	19.600	18.900	17.900	19.200	20.000	20.000	21.000
3-Japão (só cal virgem)	7.594	7.650	7.586	7.420	7.500	7.950	8.000	8.900
4-Rússia*	7.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.200
5-Alemanha*	7.600	7.600	7.000	7.000	7.000	6.700	6.700	7.000
6-México	6.500	6.500	6.500	6.000	6.000	5.700	5.800	5.700
7-Brasil	5.700	5.700	6.300	6.500	6.500	6.500	6.500	6.900
8-Itália*	3.500	3.500	3.500	3.000	3.000	3.000	3.000	4.800
9-Canadá	2.585	2.600	2.213	2.237	2.200	2.200	2.300	2.410
10-Reino Unido	2.500	2.500	2.500	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
11-Polónia	2.500	2.500	2.049	1.600	1.900	2.000	2.000	2.000
12-França*	2.400	2.400	2.400	2.500	2.500	3.000	3.000	3.500
13-Iran	2.138	2.200	2.000	2.200	2.200	2.200	2.200	2.500
14-Áustria*	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
15-Bélgica*	1.750	1.750	1.750	1.750	1.750	n.d.	n.d.	2.400
16-Romênia	1.700	1.700	1.790	1.829	1.800	n.d.	n.d.	2.000
17-Austrália	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	n.d.	n.d.	-
18-África do Sul (vendas)	1.920	1.345	1.615	1.598	1.600	1.500	1.600	1.600
19-Colômbia*	1.300	1.300	1.300	1.300	1.300	n.d.	n.d.	n.d.
20-República Tcheca	1.200	1.200	1.300	1.120	1.200	n.d.	n.d.	n.d.
21-Bulgária	1.100	1.100	2.025	2.000	2.000	n.d.	n.d.	2.500
22-Turquia	1.100	1.100	855	850	900	n.d.	n.d.	n.d.
23-Chile*	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	n.d.	n.d.	3.600
24-Espanha*	1.000	1.000	1.500	1.500	1.500	n.d.	n.d.	n.d.
25-Vietnã	1.026	1.156	1.180	1.200	1.200	n.d.	n.d.	n.d.
Outros países	9.020	9.460	10.600	11.500	11.000	29.800	30.000	22.000
Total Mundial	116.000	118.005	119.000	118.000	120.000	126.000	128.000	271.000

Fonte: ABRACAL e CONAB. A ordenação desta tabela tem como referência o ano de 2007.

(\*) = Dados estimados

des do País superam 70 milhões de toneladas/ano, face à extensa área coberta por solos ácidos, cerca de 50%. Toda produção brasileira de cal virgem e hidratada foi consumida pelo mercado interno (Tabela 6.4).

O Presidente da ABRACAL, Dr. Fernando C. Becker, enfatiza que várias são as barreiras que impedem a maior produção e o maior consumo de calcário agrícola no País, dentre as quais destacou:

**Tabela 6.2 - Produção de calcário agrícola por estado e no Brasil, no período 1996 a 2006 (em 1.000 t).**

UF	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
MG	2.697,5	2.845,4	2.466,6	2.951,9	3.287,8	2.740,0	3.379,9	3.832,8	3.600,9	3.644,7	3.902,7
SP	2.058,7	2.578,2	2.490,0	2.435,1	2.503,4	2.338,5	2.300,0	2.895,9	2.272,6	2.527,4	3.090,6
PR	3.979,4	4.887,8	4.125,4	3.231,9	3.514,9	4.259,9	*4.500,0	6.566,7	5.698,0	3.002,0	2.878,0
MT	1.161,4	1.548,5	1.734,3	1.718,5	3.074,1	3.176,8	4.623,4	5.250,7	6.415,0	2.785,7	1.690,4
GO	1.765,0	1.645,2	1.527,7	1.765,0	2.250,0	1.452,1	2.700,0	3.000,0	3.100,0	1.600,0	1.600,0
RS	1.587,2	1.791,1	1.824,8	1.745,5	1.768,6	1.894,8	1.844,6	2.443,8	1.935,5	742,8	900,2
TO	250,0	310,0	270,3	282,2	530,0	350,0	585,0	638,0	1.500,0	723,0	506,0
MS	320,0	510,0	300,0	300,0	550,0	580,0	933,4	800,0	920,0*	237,0	420,0
SC	279,4	378,2	282,6	253,2	382,7	295,8	*300,0	*200,0	352,0*	200,0*	300,0
PE	*60,0	*60,0	48,0	68,0	92,0	60,0	102,0	148,0	130,0	160,0	180,0
MA	280,0	300,0	315,0	250,0	420,0	400,0	350,0	400,0	400,0*	40,0	80,0
AL	*60,0	*80,0	*80,0	*80,0	80,0	73,8	*70,0	*100,0	101,7*		50,0
ES	84,6	151,8	161,3	240,0	413,9	127,5	213,1	294,0	229,5	209,5	n.d.
Outros	*179,0	*364,0	*659,4	*446,2	*437,8	*437,8	*538,0	*790,0	785,6*	1.248,0*	1.138,5
Total	14.763,1	17.432,2	16.285,4	15.767,5	19.305,2	18.187,0	22.439,4	27.359,9	27.127,6	17.120,1	16.736,4

Fonte: ABRACAL e CONAB.

(\*) estimado.

**Tabela 6.3 - Consumo aparente de calcário agrícola por estado e no Brasil, no período 1994 a 2006 (em 1.000 t).**

UF	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
SP	3.436,7	3.724,3	3.596,8	3.204,9	3.323,1	3.135,7	3.199,6	3.843,0	3.015,9	3.353,9	4.101,3
MG	1.870,4	1.958,0	1.876,8	2.177,2	2.986,7	2.343,8	2.778,1	2.921,5	2.374,5	2.257,9	3.336,7
MT	1.343,2	1.253,8	1.492,4	1.351,4	3.099,8	3.196,7	.463,5	5.433,4	7.056,5	2.927,0	1.693,2
PR	2.422,2	2.906,9	2.531,6	2.166,2	2.284,7	2.773,8	2.600,0	3.797,8	3.431,0	1.732,1	1.637,8
GO	2.350,0	1.844,2	1.590,6	1.990,0	2.550,0	1.543,1	3.000,0	3.033,4	3.000,0	1.948,2	1.625,0
RS	1.799,2	2.319,1	2.103,4	1.870,9	2.004,3	2.267,9	2.267,3	2.823,2	2.273,2	863,2	1.096,8
MS	591,9	899,8	642,6	599,5	813,6	897,0	1.083,0	1.593,4	1.620,0*	896,7	690,0
SC	695,6	926,1	738,6	496,0	596,0	592,8	1.100,0	725,2	958,8*	600,0*	529,5
TO	300,0	80,0	79,9	74,1	136,0	25,9	350,0	331,0	800,0	537,0	396,0
MA	280,0	220,0	274,0	215,0	380,0	400,0	350,0	500,0	500,0*	85,0	200,0
PE	*60,0	*60,0	40,2	56,0	92,0	50,0	90,0	132,0	90,0*	160,0	160,0
AL	*60,0	87,0	ND	117,2	*80,0	32,8	*70,0	*100,0	97,6*	n.d.	20,0
ES	59,9	112,8	112,6	240,0	411,9	82,1	161,9	229,0	158,0*	147,5	n.d.
Outros	347,9	667,4	1.056,4	746,0	1.054,1	736,0	773,0	1.000,0	694,1*	1.478,8	1.363,5
Total	15.617,0	17.059,6	16.135,2	15.304,4	19.812,2	18.077,6	22.286,4	26.462,9	28.318,9	16.987,3	16.849,8

Fonte: ABRACAL e CONAB.

(\*) estimado.

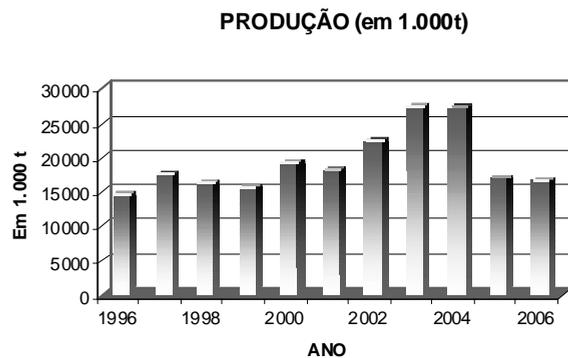
- educação necessária ao investidor e ao agricultor;
- proibição do uso do calcário oriundo de cavernas;
- inexistência de programas visando à divulgação sobre a necessidade do uso do calcário e o significado da calagem como corretivo do solo;
- inexistência de uma análise devida do solo, antes do plantio, o que deveria ser obrigatório;
- falta de financiamento adequado para o investimento;
- manutenção da isenção de ICMS sobre os insumos agrícolas e seu transporte;
- falta de regulamentação da Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais (CFEM) para o calcário agrícola. Essa contribuição deveria incidir somente no minério extraído e não no produto final advindo do seu processamento.

Embora as produções brasileiras de calcário agrícola tenham sido praticamente suficientes para atender ao consumo interno, elas estão longe do que o País poderia atingir, o que atesta a distribuição das reservas brasileiras, de acordo com a Tabela 6.5, elaborado a partir dos dados extraídos do Anuário Mineral do DNPM, de 2001, em que os números da casa do milho foram arredondados. Os dados apresentados na Tabela 6.5, embora sejam de 2001, não tiveram modificações significativas nos anos posteriores.

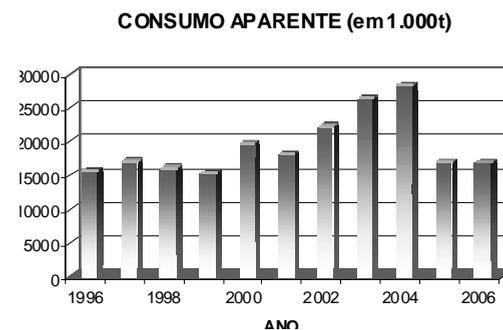
**Tabela 6.4 – Produção e consumo aparente de calcário agrícola no Brasil, em 2003 e 2006 (em 1.000t).**

Estado	Produção 2003	Produção 2006	Consumo Aparente 2003	Consumo Aparente 2006
1-Minas Gerais	3.832,8	3.902,7	2.921,5	3.336,7
2-São Paulo	2.895,9	3.090,6	3.843,0	4.101,3
3-Paraná	6.566,7	2.878,0	3.797,8	1.637,8
4-Mato Grosso	5.250,7	1.690,4	5.433,4	1.693,2
5-Goiás	3.000,0	1.600,0	3.033,4	1.625,0
6-Rio Grande do Sul	2.443,8	900,2	2.823,2	1.096,8
7-Tocantins	638,0	506,0	331,0	396,0
8-Mato Grosso do Sul	800,0	420,0	1.593,4	690,0
9-Santa Catarina	200,0	300,0	725,2	529,5
10-Pernambuco	148,0	180,0	132,0	160,0
11-Maranhão	400,0	80,0	500,0	200,0
12-Alagoas	100,0*	50,0	100,0	20,0
13-Espírito Santo	294,0	n.d.	229,0	n.d.
Outros	790,0*	1.138,5	1.000,0	1.363,5
<b>Total</b>	<b>27.359,9</b>	<b>16.736,4</b>	<b>26.462,9</b>	<b>16.849,8</b>

Fonte: ABRACAL e SINDICALC.



**Gráfico 6.1 - Produção anual de calcário no Brasil.**



Fonte: ABRACAL.

**Gráfico 6.2 – Consumo aparente de calcário no Brasil.**

**Tabela 6.5** – Reservas de calcário no Brasil (ano 2000).

Estado	Reservas (em t)		
	Medida	Indicada	Inferida
1 – Mato Grosso do Sul	11.295.506.315	6.459.651.315	6.317.833.534
2 – Minas Gerais	9.847.241.528	4.341.151.333	4.398.860.480
3 – Paraná	4.784.294.892	826.243.613	1.442.130.937
4 – Mato Grosso	4.553.661.792	7.500.613.053	7.478.982.047
5 – São Paulo	3.126.753.572	1.945.159.006	670.326.870
6 – Ceará	2.570.394.076	1.948.262.758	1.460.342.252
7 – Bahia	2.213.281.881	867.494.565	774.555.849
8 – Goiás	2.154.848.401	1.723.858.146	323.720.177
9 – Rio Grande do Norte	2.093.380.555	1.812.311.477	1.282.079.880
10 – Rio de Janeiro	1.920.250.723	521.616.469	51.500.005
11 – Paraíba	1.124.322.168	510.307.987	1.241.306.882
12 – Espírito Santo	748.580.476	105.098.893	19.948.214
13 – Sergipe	656.643.953	282.798.345	185.244.189
14 – Pará	539.485.347	239.960.284	219.894.811
15 – Maranhão	298.090.793	3.811.113	n.d.
16 – Rio Grande do Sul	277.333.757	162.300.918	119.485.137
17 – Pernambuco	241.637.364	167.200.587	114.495.741
18 – Distrito Federal	214.919.287	63.056.874	31.151.755
19 – Santa Catarina	178.166.718	8.022.054	2.735.028
20 – Tocantins	105.490.189	37.217.249	43.840.812
21 – Amazonas	84.583.438	107.538.577	44.000.000
22 – Alagoas	77.510.897	37.473.000	33.040.000
23 – Piauí	59.092.994	78.108.557	121.080
24 – Rondônia	n.d.	n.d.	n.d.
<b>Total</b>	<b>49.165.470.216</b>	<b>29.749.256.173</b>	<b>26.264.595.380</b>

Fonte: DNPM, 2001.

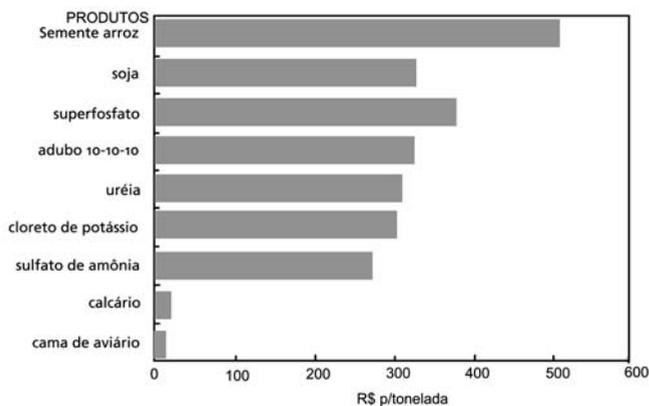
#### 6.4. Preço

O preço do calcário agrícola está atrelado ao preço do transporte, que é o principal fator que influencia no valor final do produto, o qual varia conforme a região. Além disso, o custo do frete caracteriza-se como um dos principais entraves ao aumento do consumo do produto. O preço do calcário no Pará chega a ser 10 vezes maior do que o seu preço no Paraná, podendo ser, ainda, muito maior em Roraima, por exemplo.

O valor do frete é determinado pela distância da região produtora do insumo e da possibilidade de uso de frete de retorno. Estudos mostram que a maior parte das moageiras encontra-se às margens das rodovias que servem de escoamento da produção de grãos na região Centro-Sul, facilitando, portanto, o uso do frete de retorno para baratear os custos finais do calcário. Entretanto, o frete pode representar de 26% a 67% do preço final, dependendo da distância a ser percorrida. Existe

uma relação inversa t/km a ser considerada para o preço do frete, isto é, quanto menor a distância, maior será o custo por km.

De qualquer forma, o preço do calcário agrícola não é elevado, principalmente quando comparado com outros insumos utilizados na agricultura (Gráfico 6.3). O quadro comparativo, embora apresentado em 1997, mantém, nos dias atuais, praticamente, as mesmas proporções comparativas.



Fonte: Instituto CEPA/SC – 08/97.

**Gráfico 6.3** – Comparativo de preços e insumos.

## 6.5 Mercado de calcário agrícola no Brasil

Dados precisos sobre o mercado de calcário agrícola no Brasil carecem de um estudo mais detalhado, à semelhança daqueles realizados pela:

- **Associação Brasileira dos Produtores de Cal** (Calcários e Dolomitos no Brasil – Usos e Mercados, 1978), que apresentou um diagnóstico completo sobre uso, mercado, produção, reservas, minerações, depósitos, ocorrências, projeções etc.
- **METAGO** – Metais de Goiás S/A (Calcário para Corretivo de Solo em Goiás – Diagnóstico e Alternativas para Abastecimento, 1985), através do qual foi elaborando um diagnóstico real do mercado consumidor e produtor de pó de calcário em Goiás, destinado principalmente aos prefeitos e empresários, notadamente pequenos e médios mineradores. Regiões com déficit de produção foram apontadas, possibilitando o surgimento de novas usinas moageiras de calcário, bem como o abastecimento do mercado consumidor de forma mais racional e econômica, contribuindo, assim, para o desenvolvimento sustentável das áreas produtoras.
- **Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola S.A./Companhia Baiana de Pesquisa Mineral (EBDA/CBPM)** – Executaram, em 1998, um trabalho conjunto de diagnóstico, apresentando os principais resultados de um amplo estudo sobre a oferta e a demanda de corretivos de solos no estado da Bahia, que serviram de base para novas ações dirigidas ao aumento da utilização do calcário na agricultura baiana. O resultado do levantamento das informações básicas sobre o tema serviu de ferramenta para subsidiar intervenções de produtores rurais para a correção de solos ácidos e orientar instalações de indústrias em áreas mais adequadas, ajustadas ao ponto de vista econômico, à demanda e à qualidade do calcário disponível.
- **UNICAMP** – O Instituto de Geociências desenvolveu pesquisa no período de março de 2000 a fevereiro de 2002, sobre o mercado de calcário para uso agrícola no estado de São Paulo. Esse trabalho resultou na dissertação de mestrado defendida por Cleide de Marco Pereira, em março de 2002, intitulada *Caracterização da Produção e Consumo de Calcário para Uso Agrícola no Estado de São Paulo*. Foram atualizados dados econômicos referentes à produção, distribuição e consumo de calcário, além de demonstrar os benefícios sociais, econômicos e ecológicos decorrentes de seu uso e os aspectos ambientais relacionados à lavra.
- **CPRM** – Serviço Geológico do Brasil, por intermédio do PIMA, cujo objetivo precípua era fomentar, em âmbito nacional, a demanda de insumos minerais utilizados pela agricultura, colocando à disposição dos empresários dos

setores mineral e agrícola informações da geologia e da produção desses insumos, com vistas à otimização dos seus suprimentos e à expansão das atividades. Infelizmente, esse programa encontra-se suspenso e somente os estados do Amazonas, Roraima, Pará, Amapá, Pernambuco, Alagoas, Paraíba, Rio Grande do Norte, Bahia e Sergipe foram estudados.

Em Pernambuco, por exemplo (Estudo de Mercado de Calcário para Fins Agrícolas do Estado de Pernambuco, 2000), a metodologia aplicada buscou direcionar a pesquisa para a geração de informações que se constituíram como estímulos para novos investimentos na produção de calcário agrícola, visando à instalação de unidades industriais em locais mais próximos da sua utilização, o que poderia implicar na oferta de corretivos de solos e fertilizantes a custos inferiores aos praticados na atualidade, favorecendo a produção de alimentos.

No Pará (Insumos Minerais para a Agricultura e Áreas Potenciais nos Estados do Pará e Amapá), foi efetuada uma apreciação genérica sobre os insumos minerais usados na agricultura, seja como matéria-prima para a indústria de fertilizantes e aditivo de solo, seja em termos de geologia e da potencialidade da ocorrência de jazimentos. Segundo o autor da publicação, Resende (2001), algumas ações têm sido desenvolvidas no Pará sob a coordenação do Governo do Estado, buscando uma caracterização mais precisa dos depósitos de calcário, com o objetivo de estimular a implantação de unidades moageiras, bem como a avaliação de depósitos conhecidos, tais como os depósitos de calcário em Palestina.

## 6.6. Unidades Rudimentares de Produção

Existe ainda um problema que deverá ser sanado. Trata-se do elevado número de pequenas unidades rudimentares, existentes na grande maioria dos estados brasileiros, principalmente no Norte e Nordeste, de produção de derivados de rochas calcárias. Estas unidades são altamente impactantes, tanto pela escavação de enormes cavas, como pela emissão de gases e partículas poluentes durante o processo de fabricação desses derivados.

O geólogo Marcelo Rafael Correa Borges da Fonseca, da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), ciente da magnitude do problema, elaborou um projeto objetivando sanar esse problema no Nordeste brasileiro. De uma maneira geral, informa que, no nosso Nordeste, a produção mineral tem sido, nas últimas décadas, uma importante atividade no processo de integração da região à economia nacional. Entretanto, a maioria da atividade extrativa dos calcários vem ocorrendo pela garimpagem, ocasionando uma produção desordenada e utilizando-se de tecnologias rudimentares de lavra e beneficiamento, ocasionando sérios prejuízos ao meio ambiente e ao aproveitamento ótimo do minério.

A disponibilidade dos recursos minerais favoreceu, a partir da década de 80, a instalação de indústrias de beneficiamento e transformação do calcário, alavancando a poluição atmosférica, derivada do pó de calcário e da combustão de lenha e pneus usados na transformação da cal, liberando gases tóxicos.

Ressalta Borges, que, normalmente, a comunidade local convive com a extração e o beneficiamento das rochas calcárias. Como consequência:

- parte dela apresenta doenças do aparelho respiratório;
- a vegetação é coberta por uma fina camada de pó, reduzindo a fotossíntese e sua capacidade produtiva;
- os trabalhadores diretamente envolvidos com a lavra e o beneficiamento estão expostos ao pó, ruídos, odores e altas temperaturas.

Borges enfatiza ainda a necessidade de se criar, em termos estratégicos, um instrumento capaz de implementar o desenvolvimento econômico e social da região, com proteção aos ecossistemas representativos e específicos, incorporando o ponto de vista institucional, e regulamentar os dispositivos da Carta de 1988, que privilegiam o garimpo efetuado de forma cooperativa, o que, sem dúvida alguma, é válido para todo território nacional em locais que apresentam o mesmo problema.

Nesse aspecto, as análises ambientais deverão ser realizadas sob o ângulo da utilização racional das jazidas, da implantação de tecnologias adequadas e modernas, do regime de trabalho, do controle das operações e da contribuição da empresa ao processo de desenvolvimento. Projetos devem ser executados transcendendo a simples tomada de providências para proteger a natureza.

Considerando que esse tipo de produção de cal, seja ela agrícola ou não, se localiza principalmente em regiões onde as necessidades básicas da população ainda não se encontram atendidas, será necessário, portanto, conhecer os reflexos ocasionados à cultura, à organização social e ao bem-estar das comunidades locais.

## 7. Políticas do calcário agrícola no Brasil

### 7.1. Operação Tatu

No final da década de 60, o estado do Rio Grande do Sul conduziu uma experiência, muito bem sucedida, conhecida nos meios rurais pelo nome de Operação Tatu, que visava demonstrar ao agricultor que as práticas de calagem e da fertilização, quando bem utilizadas, podem aumentar a produtividade e a renda da exploração.

Essa operação proporcionou ganhos de produtividade no Rio Grande do Sul bastante alentados, conforme alguns exemplos apresentados na Tabela 7.1.

**Tabela 7.1** – Ganhos de produtividade no estado do Rio Grande do Sul.

Cultura	Rendimento – kg/hectare			Efeito Calagem (%)
	Média/Estado	Com Adubo	Adubo-Calcário	
Milho	1.100	5.190	6.560	26
Trigo	900	1.500	2.000	33
Soja	1.200	2.500	3.200	28
Forragem	2.000	4.000	12.000	200

Fonte: Malavolta, 1989.

Apesar disso, o Brasil não possuía uma política efetiva para o incentivo do uso do calcário pelos agricultores. O governo brasileiro, no intuito de

posicionar o país no *ranking* mundial como forte produtor de grãos e proteínas, lançou, a partir de 1975, vários programas, os quais, sem dúvida alguma, impulsionaram a agricultura, calcada principalmente em uma política de crédito agrícola estrategicamente implantada.

Tais políticas, que serão apresentadas a seguir, tiveram como fruto os avanços do complexo agroindustrial, em termos de produção, instalação de infra-estrutura de apoio à produção e de novas plantas industriais. Nesse sentido, a indústria moageira de calcário tirou proveito desse momento. Os investimentos foram também impulsionados pela crescente demanda por alimentos.

### 7.2. Programa Nacional de Calcário Agrícola – PROCAL

Na década de 1970, estimava-se que, no ano de 1975, seriam necessárias, aproximadamente, 60 milhões de toneladas de calcário para uma completa correção da acidez dos solos, considerando-se: (i) a área cultivada no País e a quantidade média de 1,5 tonelada/hectare, durante três anos; (ii) as áreas ocupadas com lavouras e suas projeções para o ano de 1975; (iii) a estimativa das áreas já tratadas com calcário no período desde 1972 a 1974.

Em vista do que precede e tendo por objetivo atenuar a influência dos fatores negativos que afetam o setor de produção de calcário agrícola, o Governo Federal, por intermédio do Conselho Monetário Nacional, houve por bem aprovar, em 8 de janeiro de 1975, o regulamento do Programa Nacional de Calcário Agrícola (PROCAL), posteriormente divulgado e instituído pela Circular nº 245 do Banco Central do Brasil. A execução do referido programa foi fixada para o período 1975/1979.

#### 7.2.1. O PROCAL e o problema de acidez dos solos no Brasil

De maneira geral, conforme já foi citado, os solos agrícolas no Brasil têm como característica o fato de serem ácidos ou muito ácidos (pH entre 4,0 e 5,5), em consequência, enfatiza-se que a calagem, ou seja, a aplicação de calcário moído, é uma das práticas para correção da acidez dos solos.

A demanda efetiva de corretivos no Brasil estava concentrada basicamente nas regiões Centro e Sul, onde se costuma praticar uma agricultura em níveis tecnológicos mais avançados. Não obstante, mesmo nessas regiões, costuma-se verificar problemas que afetam a industrialização e comercialização do calcário, impedindo a melhor difusão do produto entre os agricultores. Esse elenco de problemas pode ser representado principalmente pelos seguintes itens:

- altos preços finais dos produtos, provocados tanto na fase de produção como na etapa dos transportes;
- inadequação dos prazos concedidos pelos créditos bancários para aquisição e comercialização de calcário;
- deficiência quanto à difusão do conhecimento em relação à importância das práticas de correção.

A produção nacional de calcário agrícola, do mesmo modo que a demanda efetiva, estava localizada, principalmente, nas regiões Centro e Sul, onde os volumes produzidos em 1973 atingiram cerca de 4 milhões de toneladas, enquanto a capacidade instalada de produção era da ordem de 6,8 milhões de toneladas anuais.

Por outro lado, a existência de matéria-prima se distribui praticamente por todo o País. Entretanto, apesar dos volumes existentes de matéria-prima e sua distribuição satisfatória do ponto de vista geográfico, ocorre que várias regiões brasileiras são carentes de correção dos solos ou mesmo não dispõem de reservas de calcário em seus territórios.

A oferta nacional de calcário era limitada por certos fatores, entre os quais podemos citar os seguintes:

- altos custos de produção, desde a fase de extração da matéria-prima (em que ainda se empregam, geralmente, processos rudimentares de trabalho), como também na fase de moagem;

- baixa aplicação de recursos técnicos e financeiros, notadamente no que se refere à estocagem dos produtos.

### 7.2.2. Objetivos

- Defesa da terra como patrimônio nacional, de forma que as gerações futuras tenham um solo sadio e produtivo, no que concerne à produção de alimentos;
- aumento da produtividade do solo pela correção da acidez, com conseqüente incremento da renda do produtor agrícola e das quantidades de produtos agrícolas, bem como melhoria da qualidade dos produtos, em conseqüência da boa nutrição do solo;
- criação das bases necessárias à utilização mais eficaz dos fertilizantes agrícolas, pela correção da acidez do solo que, quando existente, indisponibiliza os nutrientes que estão no solo para as plantas.

### 7.2.3. Metas

- Difusão da prática de correção da acidez dos solos;
- oferta de calcário a preços acessíveis ao agricultor;
- elevação progressiva da utilização de corretivos durante o período de execução do programa, conforme a Tabela 7.2.

**Tabela 7.2** – Metas físicas de produção e utilização de calcário (1975/1979).

(1.000 t)

Ano	Regiões Norte e Nordeste	Regiões Centro e Sul	Brasil
1975	100	6.000	6.100
1976	200	7.600	7.800
1977	400	10.200	10.600
1978	600	12.600	13.200
1979	700	14.600	15.300

Fonte: Conselho Desenvolvimento Econômico – CDE.

Ainda, em face das peculiaridades regionais da demanda de calcário agrícola e tendo em vista os níveis de tecnologia empregados, o PROCAL deveria atuar de maneira a atender tais peculiaridades quanto às unidades de produção. Assim, para as regiões Centro e Sul, nas quais já se verificavam níveis mais elevados de tecnologia agrícola e onde eram maiores os volumes de demanda efetiva, admitiu-se que as unidades de produção a serem implantadas deveriam adequar-se aos planos de expansão já existentes.

De outra parte, as informações disponíveis permitem considerar que a indústria nacional de bens de capital se encontrava devidamente capacitada a atender a demanda de máquinas e equipamentos para a industrialização do calcário.

Com o objetivo de dimensionar os recursos necessários para o desenvolvimento da indústria, foi previsto que o investimento fixo para instalação de uma unidade completa de moagem, com capacidade para 500 t/dia (turno de 8 horas), estivesse em torno de Cr\$ 6 milhões, sendo que o programa estipulava um total de Cr\$ 400 milhões (aproximadamente US\$ 50 milhões) a serem investidos em unidades moageiras durante o período de 1975 a 1979.

No que diz respeito à formação de estoques, o PROCAL visava ainda ampliar os financiamentos às empresas produtoras de calcário (inclusive as cooperativas que atuaram no setor) para cobertura e formação de estoques do produto final. Com essa medida, seria propiciado o fluxo constante de produção industrial, eliminando-se os inconvenientes caracterizados pela sazonalidade do produto. Nessa modalidade de financiamento, seriam aplicados Cr\$ 900 milhões (aproximadamente US\$ 112,5 milhões), no período 1975/1979.

Quanto ao transporte, que constitui fator preponderante na elevação dos custos do produto para o agricultor, o programa se propunha a incentivar também a criação de pontos de distribuição nas áreas de grande consumo de calcário, bem como intensificar a adoção de outros meios de transporte, notadamente o ferroviário, dentro das possibilidades de cada região. Para tanto, seriam apresentadas tarifas preferenciais a serem adotadas

pela Rede Ferroviária Federal, de modo a permitir fluxos estáveis de transporte de cargas para formação de estoques nas zonas de maior consumo de corretivos.

Também o financiamento ao consumo de calcário achava-se contemplado pelo PROCAL, englobando, em outra modalidade de crédito, a compra, transporte e aplicação do calcário, segundo as normas vigentes de utilização, do crédito rural.

Para efeito de dimensionamento das necessidades para esse tipo de financiamento, foi considerado o produto colocado na propriedade agrícola (inclusive os estoques), com um limite de 100% financiável sobre os totais aplicados pelo consumidor.

Os investimentos na aquisição, transporte e aplicação de corretivos seriam da ordem de Cr\$ 5,2 bilhões (cerca de US\$ 650 milhões) para o período de 1975/79.

O total de recursos a serem investidos durante os cinco anos de vigência do PROCAL atingiria Cr\$ 6,5 bilhões (cerca de US\$ 820 milhões), sendo Cr\$ 5,2 bilhões (cerca de US\$ 650 milhões) destinados ao financiamento de agricultores.

A Operação Tatu e o PROCAL são dois exemplos de iniciativas bem sucedidas executadas pelo setor agrícola brasileiro, estabelecendo um novo referencial para o conhecimento de práticas agrícolas sobre solos pobres e ácidos. "Eles induziram a criação, no meio rural, de uma consciência de que a acidez do solo é fator limitante ao incremento da produtividade e ao melhor aproveitamento dos fertilizantes nitrogenados e fosfatados. Tomar caminhos alternativos a essas práticas é enveredar em direção ao desperdício, a não virtuosa alocação dos insumos fundamentais à nutrição das plantas" (BECKER, 1996).

O PROCAL, embora tenha cumprido importante papel no sentido de aumentar a oferta do insumo pela modernização e expansão do parque moageiro e pelo significativo incremento no uso do calcário pelos produtores rurais, infelizmente, foi interrompido, entre outras causas, por denúncias de malversação do recurso público.

### 7.3. Plano Nacional de Calcário Agrícola – PLANACAL

A ABRACAL e seus associados, cientes de seu papel e de seus compromissos com uma crescente participação do Brasil na oferta mundial de grãos e proteínas e preocupada com o nível de desnutrição de boa parte da população brasileira, alertaram para a necessidade de se investir forte em tecnologias de produção que resultem em produtividade, qualidade de produtos e aumento de produção, sem que isso venha a afetar drasticamente o meio ambiente.

Há tempo de se atuar, de achar caminhos, antes que as decisões de plantio sejam tomadas, apesar de haver certo desconforto nas discussões entre agricultores e governo no que tange às grandes questões envolvendo preços de produtos agrícolas, políticas de estoques, endividamento e abertura comercial para a importação de gêneros alimentícios.

Esse passado recente de abertura, de visão mais ampla do negócio agrícola frente aos problemas do ecossistema, que decorrem dessa exploração, possibilitou ao setor de calcário trazer uma contribuição por meio de uma proposta, formulada pela ABRACAL, em 1998. Esta proposta previu um Plano Nacional de Calcário Agrícola sobre a questão da acidez dos solos brasileiros e o custo para um país que cresce, ano após ano, à base de um processo horizontal de incorporação de áreas nem sempre aptas à atividade exploratória.

O PLANACAL é fundamentado, também, na correção da acidez do solo brasileiro, enfatizando que essa acidez é um fator limitante da produtividade agrícola e, por conseguinte, inibidor do crescimento da renda da agricultura. Analisando a questão pelo lado da oportunidade econômica do investimento, tem-se na acidez do solo um forte limitante ao retorno do capital investido para se atingir resultados na atividade agropecuária.

O esgotamento das terras férteis e o surgimento do processo de erosão dessas áreas, via de regra, próximas aos centros consumidores, empurraram a agricultura brasileira para as regiões de solos

ácidos, pobres e erodidos. Pelo baixo valor da terra, tornou-se um bom negócio em curto prazo, mas não tardaram a surgir problemas com os desgastes desses solos. Os resultados econômicos obtidos apresentaram-se insuficientes para a manutenção da atividade, à medida que a camada fértil natural se esgota.

Há vasta literatura científica, trabalhos de pesquisa experimental e resultados de campos de cultivos evidenciando a correlação existente entre o grau de acidez de um solo e a produtividade das culturas. Ainda que, para tal, não se possa admitir ser a acidez a única variável determinante da produtividade, sabe-se que é por sua ação que ocorre a redução da assimilação do maior nutriente em quantidade no solo, o fósforo, que tem de estar disponível às plantas, submetendo a agricultura a severas perdas.

Afirmam os autores do plano que:

*“(...) Entre 1950 e 1980, o crescimento médio do consumo de fertilizantes no Brasil foi de 13% ao ano, muito acima dos 4,5% verificados na produção agrícola. A produtividade agrícola não revelou, contudo, aumento representativo, o que sugere duas conclusões: que o quadro seria pior caso o consumo de fertilizantes não tivesse crescido; que a produtividade marginal dos fertilizantes foi baixa, o que reflete uma alocação ineficiente do insumo. Na verdade, o subsídio para a aquisição de fertilizantes, ao distorcer a relação entre valor da produtividade marginal e o custo de produção, bem como a pouca atenção à correção prévia da acidez do solo, estariam entre os principais responsáveis pelo seu emprego pouco produtivo e concentrado em algumas poucas áreas (...).”*

Continuam os autores dizendo que:

*“(...) No período pós-setenta, a relação entre consumo total de calcário e de fertilizantes vem sofrendo queda de 3:1 em 1973, para 2:1 em 1980 e 1,4:1 em 1985. Tal constatação preocupa porque a acidez do solo afeta a assimilação dos nutrientes e impede que haja condições adequadas para o desenvolvimento das plantas. O calcário, mesmo sen-*

*do um insumo barato, ainda não faz parte dos hábitos de cultivo da grande massa de agricultores (...)*”.

Com a meta de elevar os índices de produtividade dos cultivos e dar condições plenas à exploração do potencial do solo brasileiro, a ABRACAL elaborou a proposta para um Plano Nacional de Calcário Agrícola. Subjacente a esse fato emergiu outra questão, não menos importante, que foi a preocupação da entidade, com a preservação do ecossistema e a conservação do solo, que, mesmo sendo explorado para fins agrícolas, se adequadamente feito, pode dar grandes resultados econômicos à Nação, sem que isso signifique a destruição dos recursos naturais para as gerações futuras.

Desta forma, foram destinados recursos da ordem de 500 milhões de reais (aproximadamente US\$ 427 milhões), para o fomento ao uso do calcário, por intermédio da implementação do programa PROSOLO.

### 7.3.1. Objetivos

#### Objetivo geral

- Contribuir para o aumento da produtividade, competitividade e qualidade da produção agropecuária, através do estímulo à prática da calagem, reduzindo a acidez dos solos em todo o território brasileiro onde seja praticada a agricultura.

#### Objetivos específicos

- Melhorar e conservar a capacidade de produção dos solos, preservando o meio ambiente e a qualidade de vida no meio rural;
- esclarecer os agricultores sobre os benefícios da calagem à agricultura e sobre os ganhos de rentabilidade que podem ser atingidos com seu racional uso;
- estabelecer relações de parceria entre os sindicatos da indústria de calcário, Governos Municipais, Estaduais e Federal, cooperativas e entidades de classe do setor primário, para promover a educação do produtor e definir rotinas sobre a prática da calagem e seus benefícios.

### 7.3.2. Abrangência do plano

O *Plano Nacional de Calcário Agrícola: Contribuição à Qualidade e à Produtividade* teria abrangência nacional, concentrando seu esforço, inicialmente, sobre os estados agrícolas de maior consumo do calcário, cujas culturas existentes e estrutura empresarial, já estabelecidas, poderão favorecer o processo de implantação do Plano.

Paralelamente, através de esforço mais concentrado e dirigido, introduziria a prática da calagem àqueles estados de agricultura menos estruturada e de menor cultura quanto ao uso da prática. Certamente estes estados adotarão a calagem com velocidade inferior aos que possuem a experiência e dominam a técnica.

### 7.3.3. Estratégia educacional

Criar e implementar campanhas de educação e de esclarecimento ao produtor rural, através do rádio, da televisão, do jornal, do corpo a corpo com a população, de instituições de ensino, pesquisa e extensão rural, demonstrando os benefícios do uso do calcário agrícola quanto:

- às qualidades e benefícios para a conservação dos solos brasileiros ácidos e degradáveis e sua influência no potencial de produção dessas terras;
- ao ganho de rendimento e aproveitamento de terras que estão sendo abandonadas - exaustão precoce/êxodo rural - próximas a pólos com infra-estrutura, em favor de outras mais distantes que acabam por encarecer o produto agrícola;
- ao uso correto de sua aplicação - adotando práticas, como a da amostragem e da análise do solo, melhorando a fertilidade do solo, o rendimento das atividades e o lucro da unidade de produção agrícola.

### 7.3.4. Estratégia promocional

Envolver o agricultor e conscientizar a população dos centros urbanos de que estamos no centro de um processo de mudanças na economia brasileira e que a agricultura tem papel fundamental nesta

empreitada de estabilização, em que preços e salários têm de ser mantidos em níveis compatíveis com o crescimento da produtividade dos diversos setores. Isto é, estamos perseguindo ganhos de produtividade para alcançar competitividade.

Ao se atingir esse desiderato, exigem-se investimentos em novas técnicas, processos de produção, métodos gerenciais, mudanças de hábitos, substituindo-os por novos referenciais.

Torna-se necessária a busca da compreensão do novo, da mudança que poderá proporcionar o que foi idealizado como caminho para a agricultura. A prática tem de ser demonstrada e, para isso, foi proposto:

- promover a instalação de campos de demonstração de uso do calcário em terras de agricultores, envolvendo poder público, iniciativa privada e entidades de classes, de modo a demonstrar os benefícios decorrentes da calagem, associada a outras práticas agrícolas, tais como o uso de fertilizantes e a conservação de solos;
- conscientizar o agricultor de que o uso do calcário é parte de um programa maior de esclarecimento sobre a defesa do patrimônio nacional, cujos propósitos são os de: uso adequado, construção da fertilidade e a preservação permanente do solo, trazendo benefícios aos agricultores, em particular, e à sociedade como um todo.

### **7.3.5. Metas do Plano**

A proposta para um Plano Nacional de Calcário Agrícola, que exigirá um esforço de investimento de cinco anos, está amparada em reais possibilidades quanto ao ganho que possa vir a ter, no que tange aos aspectos econômicos, e bem circundada de argumentos, quanto às vantagens sociais e benefícios para o ecossistema.

A esperada elevação do nível de renda do agricultor, provocada pelo aumento da produtividade e da receita, será revertida em melhoria da qualida-

de de vida e maior investimento em capital produtivo dentro da unidade de produção. Esse resultado terá efeitos, também, sobre o setor industrial fornecedor.

### **Meta de produtividade**

Utilizando a área média de 30,57 milhões de hectares plantados (1990-94), incrementar 18,89 milhões de toneladas de grãos à oferta atual.

### **Meta de uso de corretivo**

Passar dos atuais 453kg/ha para um patamar com oscilação de 1.000 a 1.500kg/ha, em razão das agriculturas estruturadas tecnicamente e das que ainda devem se incorporar a esse processo.

### **Meta de demanda**

Estimular o uso de corretivo para passar do consumo, na época da implementação do Plano, de 21,2 milhões de toneladas para um volume, no quinto ano de sua vigência, de 51,98 milhões de toneladas, reduzindo a capacidade ociosa do setor.

As metas de demanda, por estado e nacional, estabelecidas pelo Plano estão registradas na Tabela 7.3. Os oito estados maiores consumidores de calcário representam 74% da demanda total.

### **7.3.6. Necessidade de crédito**

A ABRACAL registrou, a seguir, estimativas de necessidades de crédito de investimento, para um plano de calcário agrícola, e propõe medidas de políticas de crédito para financiamento, de modo que, fosse possível viabilizá-las junto aos produtores.

### **Linha de crédito especial**

O crédito de financiamento de calcário agrícola deve ser incluído na Norma Permanente do Manual de Crédito Rural (MCR), pelo fato de ser considerado importante insumo para a correção da acidez do solo.

A experiência adquirida pelo Bancos Central e do Brasil, com o financiamento desse insumo, e os resultados que advirão são vitais para que seja

estabelecida uma relação nova, de confiança, entre a Autoridade Monetária e o agricultor, buscando:

- contemplar o financiamento de calcário como parcela suplementar do crédito agrícola de custeio;
- definir que o encargo financeiro incidente sobre o empréstimo seja o do crédito de custeio, pactuado através do MCR, ou pela equivalência - produto.

#### Operacionalização dos recursos

- Os recursos serão alocados às cooperativas de crédito e/ou de produção, podendo ser repassados diretamente dos agentes financeiros aos agricultores;
- a alocação e liberação dos recursos será feita mediante apresentação de Programa Estadual de Investimento em calcário agrícola;

**Tabela 7.3** – Demanda de calcário agrícola por estado e nacional (1.000t).

Unidade da Federação	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5
Paraná	5.595,7	6.416,5	7.237,5	8.044,1	8.864,6
São Paulo	5.051,1	5.647,2	6.243,2	6.839,3	7.435,5
Rio Grande do Sul	4.330,3	5.137,8	5.956,0	6.763,7	7.581,9
Minas Gerais	2.444,8	2.918,9	3.393,0	3.867,0	4.336,6
Goiás	2.441,1	2.679,1	2.915,0	3.152,9	3.388,9
Mato Grosso	2.147,2	2.406,6	2.666,2	2.925,7	3.185,4
Mato Grosso do Sul	1.203,0	1.393,0	1.583,0	1.773,1	1.963,1
Santa Catarina	948,0	1.179,6	1.411,1	1.642,5	1.874,2
Outros	8.387,4	9.686,8	10.868,1	12.167,6	13.348,9
<b>Total</b>	<b>32.548,6</b>	<b>37.465,5</b>	<b>42.273,1</b>	<b>47.175,9</b>	<b>51.979,1</b>

1 Refere-se ao período contado a partir da implementação do plano proposto.

Fonte: ABRACAL.

**Tabela 7.4** – Estimativa da necessidade de crédito<sup>(1)</sup> por estado e Brasil<sup>(2)</sup> (R\$ milhão).

Unidade da Federação	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5
Paraná	123,2	141,2	158,4	176,0	195,5
São Paulo	112,2	124,2	136,4	150,5	163,6
Rio Grande do Sul	95,3	113,0	132,0	148,8	166,5
Minas Gerais	53,8	64,2	74,6	84,9	95,4
Goiás	53,7	58,9	64,1	69,4	74,4
Mato Grosso	47,2	52,9	58,6	64,4	70,0
Mato Grosso do Sul	24,0	30,6	34,8	39,0	43,2
Santa Catarina	20,8	25,9	31,0	36,1	41,2
Subtotal	531,5	611,1	690,9	770,1	849,8
Outros	184,5	213,1	239,1	267,7	293,7
<b>Total</b>	<b>716,0</b>	<b>824,2</b>	<b>930,0</b>	<b>1.037,8</b>	<b>1.143,5</b>

(1) O preço médio da tonelada de calcário posto na propriedade é de R\$22,00.

(2) Refere-se ao período contado a partir da implementação do plano proposto.

Fonte: ABRACAL.

- as indústrias produtoras de calcário arcarão com as despesas da elaboração dos Programas Estaduais.

### 7.3.7. Impacto do Plano

O PLANACAL poderá trazer, em curto prazo, vantagens nos campos econômico, social e ambiental. Do ponto de vista social e ambiental, os reflexos estarão relacionados à conservação e ao melhoramento do solo, proporcionando aumento de capacidade produtiva, incremento de renda e melhor qualidade de vida para o homem do campo. Isso poderá se refletir, de forma importante, na decisão de permanecer ou sair da atividade agrícola. A viabilidade e a rentabilidade do programa seriam atrativos suficientes para a manutenção/permanência da atividade. Também serão beneficiários do programa os setores moageiros de calcário, transportes e de beneficiamento de grãos, entre outros.

#### Benefícios econômicos

Os benefícios deverão vir através do maior ingresso de receita líquida, provocado, fundamentalmente, pelo ganho de produtividade e pelo melhor desempenho das áreas de produção:

- aumento da produção de grãos em torno de 18,98 milhões de toneladas;
- incremento na produtividade de aproximadamente 30%;
- incremento na receita de grãos em torno de R\$2,74 bilhões;
- retorno do Plano de cerca de R\$2,4 para cada real investido;
- aumento de cargas para o setor de transportes próximo aos 3,6 milhões de toneladas/ano;
- fixação do homem no campo e incremento do emprego rural;
- efeito na arrecadação de ICMS e de divisas externas (soja, açúcar, café, sucos cítricos e frutas).

#### Impacto setorial

Sobre o Setor Primário e sobre o Setor Moageiro de Calcário Agrícola, o impacto esperado seria da seguinte ordem:

- agricultura - melhorar as condições dos 30,57 milhões de hectares de grãos, em termos de fertilidade e correção da acidez;
- indústria - reduzir a capacidade ociosa ao passar do beneficiamento atual de 21,28 milhões de toneladas/ano, para a possibilidade de produzir de 38,69 a 51,98 milhões de toneladas.

### 7.4. Programa de incentivo ao uso de corretivos de solos – PROSOLO

A elevação da produtividade agrícola de forma vertical é uma proposta mais sustentável, no que concerne ao desenvolvimento agrícola, do que o aumento de produção de forma horizontal. Seguindo esse raciocínio foi criado o PROSOLO.

O Programa de Incentivo ao Uso de Corretivos de Solos (PROSOLO), foi criado em 1998, como um fruto do PLANACAL. Regulamentado pela Resolução nº 2.855, de 03.07.2001, do Banco Central – BC, tem por objetivo elevar os níveis de produtividade da agricultura brasileira, mediante a intensificação do uso adequado de corretivos de solo, proporcionada pela disponibilidade de uma linha de crédito permanente para financiar aquisição, frete e aplicação de corretivos agrícolas (calcário e outros). As operações serão realizadas através das instituições financeiras credenciadas.

#### 7.4.1. Prazo de vigência

Foram atendidos os financiamentos que ingressaram no Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), até 30 de junho de 2002, observado o limite global de R\$ 300 milhões, nos termos das Resoluções CMN/Bacen nºs 2.855, de 03/07/2001 e nº 2.877, de 26/07/2001, Art. 6º.

#### 7.4.2. Clientes

Empresas de qualquer porte, cooperativas de produtores rurais e pessoas físicas, com efetiva atuação no segmento.

A cooperativa de produtores rurais poderá ser beneficiária na modalidade de aquisição de bens para fornecimento a cooperados.

#### 7.4.3. Itens Financiáveis

- Aquisição, transporte e aplicação de corretivos de solos;
- gastos realizados com adubação verde.

O PROSOLO contempla, além de correção de acidez, a adubação no sentido de corrigir as deficiências de fertilidade do solo devido à insuficiência de fósforo, potássio e micronutrientes. Em contraposição, não se enquadra, no programa, a adubação de manutenção que é caracterizada como custeio agrícola, qual seja aquela destinada a manter o padrão desejável de fertilidade do solo por meio de aplicações periódicas.

Uma determinada área poderá ser beneficiada pela aplicação de corretivos de fertilidade, inclusive adubação verde, com financiamento do PROSOLO, uma única vez, cabendo à instituição financeira credenciada verificar o cumprimento desta condição, inclusive através da exigência de declaração do mutuário, pela qual o mesmo afirme que a área para a qual esteja pleiteando o financiamento não foi apoiada anteriormente no PROSOLO.

#### 7.4.4. Taxa de juros

A taxa de juros estabelecida no programa foi de 8,75% ao ano, incluído o *spread* do agente, de 3% ao ano.

#### 7.4.5. Nível de participação

Limite de valor dos financiamentos: cada produtor poderia ter financiamentos contratados, nesse programa, no período de 01.07.2001 a 30.06.2002, no valor de até R\$ 80.000,00 (aproximadamente US\$ 35.000,00).

#### 7.4.6. Critérios específicos

- Para todos os pedidos de financiamentos, deverá ser exigida do cliente a apresentação do comprovante de análise do solo e respectiva recomendação agrônômica, inclusive para adubação verde, quando for o caso, expedida por profissional habilitado;
- para que um determinado projeto tenha apoio no PROSOLO, a data de emissão dos documentos comprobatórios dos gastos realizados não poderá ser anterior à da entrada do pedido de financiamento na instituição financeira credenciada;
- deverá ser exigida do cliente a apresentação de declaração a respeito do cumprimento do limite de valor de financiamento;
- a instituição financeira deverá manter registros, no dossiê da operação que indiquem o tipo e a quantidade de corretivos utilizados, com respectivos valores investidos, e as áreas beneficiadas. Nas operações de financiamento a cooperativas, para fornecimento a cooperados, essas informações deverão ser individualizadas para cada produto beneficiado.

### 7.5. Programa Nacional de Recuperação de Pastagens Degradadas – PROPASTO

A pecuária no Brasil contribui expressivamente na pauta de exportações agrícolas, porém ela necessita de incrementos na sua produtividade, principalmente na qualidade nutricional das pastagens, ou seja, no alimento que o gado come para haver uma elevação tanto quantitativa quanto qualitativamente no que tange à produtividade de carne leite e seus derivados.

Como é nítida a importância do setor para o País, as lideranças governamentais tiveram a iniciativa de criar um programa (Resoluções CMN/Bacen nº 2.856, de 03/07/2001 e nº 2.877, de 26/07/2001, Art.7º) para solucionar o problema das pastagens brasileiras, nativas e plantadas, na recuperação de áreas de pastagens degradadas. Este programa foi

denominado Programa Nacional de Recuperação de Pastagens Degradadas (PROPASTO).

#### **7.5.1. Finalidade do crédito**

Recuperação de áreas de pastagens cultivadas degradadas em todo território nacional, sendo que, nos estados da região Sul, admite-se também a recuperação de pastagens nativas.

#### **7.5.2. Beneficiários**

O programa atendeu aos pecuaristas que já recebem crédito rural de outros projetos e/ou iniciativas de bancos, privados ou estatais, no que concerne a crédito para o setor pecuarista.

#### **7.5.3. Itens financiáveis**

Aquisição, transporte, aplicação e incorporação de corretivos agrícolas (calcário e outros); implantação ou recuperação de cercas nas áreas que estão sendo recuperadas; aquisição e plantio de sementes e mudas de forrageiras; implantação de práticas conservacionistas de solo e construção e reformas de pequenos bebedouros.

#### **7.5.4. Limite de crédito**

O crédito concedido aos beneficiários do projeto foi de, no máximo, R\$ 150 mil (cerca de US\$ 65.000,00) por produtor, independentemente de outros empréstimos ao amparo de recursos controlados do crédito rural, exceto quando destinados ao Programa de Incentivo ao Uso de Corretivos de Solo (PROSOLO), cujo montante deve ser deduzido desse limite.

#### **7.5.5. Juros**

Para o uso do empréstimo pelos pecuaristas, foi estabelecida uma taxa efetiva de 8,75% ao ano.

#### **7.5.6. Prazo**

O período total para pagamento do empréstimo foi de cinco anos, incluídos até dois anos de carência, para o pecuarista poder pagar já com o retorno do investimento.

#### **7.5.7. Amortizações**

As amortizações foram estabelecidas de forma semestral ou anual, de acordo com o fluxo de receitas da propriedade beneficiada.

#### **7.5.8. Garantias**

As garantias foram admitidas de acordo com os pré-requisitos estabelecidos para a aquisição de crédito rural.

### **7.6. “Calcário: recurso mineral na sustentabilidade agropecuária e melhoria dos recursos hídricos” - estratégias para elaboração de políticas**

A falta do calcário não só compromete o desenvolvimento de uma agricultura empresarial, como também induz a uma agricultura familiar e de subsistência altamente degradativa, na medida em que a mesma cumpre o indesejável ciclo: derrubada, exaustão, abandono, mais derrubada.

A evidência maior da importância do calcário tem sido a constatação de um dos mais famosos pesquisadores brasileiros, Dr. Eurípedes Malavolta, da ESALQ, que demonstrou em 1958, em experimento com a cana de açúcar do estado de São Paulo que:

- o calcário sem fertilizante faz aumentar a produtividade em 64%;
- o fertilizante sem o calcário faz aumentar a produtividade nos mesmos 64%;
- calcário e fertilizantes combinados aumentam a produtividade em 235%.

Constatou-se, mediante análises, que a não utilização do calcário, ou a utilização em doses inadequadas, verifica-se em todo o território nacional, em níveis diferentes, segundo cada região.

O Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), sensível à questão ambiental, acatou ponderações e a solicitação da Secretaria de Recursos Hídricos (SRH), do Ministério do Meio Ambiente (MMA), no sentido de aprofundar os estudos so-

bre calcário agrícola, visto que o mesmo, em sendo disponibilizado de maneira facilitada aos produtores rurais, poderia constituir-se em poupador de florestas, recuperador de áreas degradadas, como indutor do manejo integrado dos recursos naturais em nível de microbacias hidrográficas e, conseqüentemente, altamente benéfico ao processo de preservação e melhoria dos recursos hídricos.

A cooperação entre DNPM/MME e a SRH/MMA com relação à questão calcário tinha em vistas: para o primeiro, a promoção de um insumo que, embora estratégico, é pouco valorizado como mineral; para o segundo, a necessidade de se eleger um elemento âncora capaz de ensejar e motivar o manejo dos recursos naturais em nível de microbacia, para resultar, entre outros aspectos, em água farta e limpa.

O desenvolvimento do estudo decorrente dessa cooperação se deu nessa linha evidenciando, inclusive, que o mineral calcário nesse contexto, passa a constituir-se em elemento de grande benefício ambiental e, portanto, minimizador da imagem negativa invariavelmente associada à exploração mineral.

No tocante a recursos hídricos, o estudo chama a atenção para a obviedade de que se a agricultura, que é uma atividade intrinsecamente antinatural, faz uso de aproximadamente 70% da água doce disponível, e de que a qualidade e quantidade da água são decorrentes da qualidade de manejo que se aplica à agricultura, nada mais coerente que apoiar o manejo adequado da agropecuária. É evidente que o Ministério da Agricultura e tantos outros organismos e segmentos, públicos e privados, sempre chamaram a atenção para esse aspecto.

A ação, pois, do DNPM, identificada e em apoio às causas mencionadas, especialmente com a dos recursos hídricos, está sendo no sentido de:

- somar-se aos esforços já desenvolvidos;
- considerar e avaliar aspectos do calcário nesse novo contexto;

- contribuir efetivamente para que a expansão no seu uso se dê pela vantajosa relação benefício/custo, aos olhos não só dos agricultores, mas de toda a sociedade.

Nesse sentido, o estudo coordenado pela Fundação da Universidade Federal do Paraná para o Desenvolvimento da Ciência, da Tecnologia e da Cultura (FUNPAR), denominado *Calcário – Recurso Mineral na Sustentabilidade Agropecuária e Melhoria dos Recursos Hídricos*, considerou e avaliou todos os aspectos relativos ao calcário agrícola no Brasil para, então, formular estratégias.

## 8. Estratégias

- As análises apontam que o provimento puro e simples de instrumentos, tais como crédito, assistência técnica e outros, podem não surtir os efeitos esperados, a menos que integrem uma bem concebida estratégia;
- recomendações da estratégia de manejar de maneira integrada uma determinada microbacia não parece ser um recurso suficiente que assegure uma implementação em bases mais seguras de sucesso. Em cada uma delas a interação necessária far-se-á de maneira diferente, não só pelas diferenças individuais de seus integrantes, como também pela cultura das organizações a serem envolvidas (locais e externas, públicas e privadas);
- o princípio fundamental, no entanto, é a clarificação dos benefícios individuais e coletivos e a demonstração dos níveis de demanda individuais e coletivos, de tal forma que os primeiros superem os segundos, ou seja, um empreendimento em que todos sejam beneficiados. O atual modelo de incentivo ao calcário não satisfaz, na dimensão mínima desejada, os financiadores, os tomadores de empréstimo e o próprio objeto em si;
- os bancos não se mostram atraídos em financiar calcário (a menos que embutindo “outros” serviços), os produtores não se sentem atraí-

- dos pelas condições de financiamento (devido ao custo dos “outros” serviços) e, conseqüentemente, a pretendida calagem não se verifica. Dos recursos destinados ao PROSOLO, por exemplo, no período de agosto de 1998 a janeiro de 2000, apenas 20% do montante total disponibilizado por esse programa foi desembolsado;
- ainda, em termos de estratégia, é da maior importância ter presente as transformações de ordem organizacional e operacional verificadas como as da municipalização da agricultura e da terceirização de serviços, as quais indicam grandes mudanças nos procedimentos tradicionais de manejo de microbacias, como os praticados no Paraná, por exemplo;
  - no Paraná, o bem sucedido programa de microbacias contou com maciço apoio do governo estadual, com recursos próprios e vultosos financiamentos internacionais, provendo municípios e produtores de uma série de benefícios (óleo diesel, horas/máquina, sementes, calcário, abastecedouros comunitários etc.), condição difícil de se replicar nos dias de hoje. Em 2001, o mesmo governo do Paraná destinou três milhões de reais para financiar projetos de natureza ambiental, com a participação do governo estadual não superior a sessenta mil reais (equivalentes, em janeiro de 2001, a aproximadamente US\$ 31.000,00) por projeto, sendo que os recursos complementares (financeiro, bens e serviços) deveriam ser oferecidos como contrapartida pelos proponentes;
  - vem sendo considerado surpresa o fato de terem sido apresentados aproximadamente 300 pequenos projetos, o que seria uma média de um projeto por município, e grande parte deles envolvendo microbacias e melhoria dos recursos hídricos;
  - situações como essas despertam para uma nova realidade, não só para as relações entre organismos das diferentes esferas de governo como, também, para as relações entre segmentos públicos e privados e, nesse particular, é de se esperar uma postura diferenciada da ABRACAL;
  - é de se esperar, além da postura classista e reivindicatória, também uma postura proativa, fomentadora, incentivadora, participativa, enfim, uma postura de criar e satisfazer clientes;
  - o princípio da multifuncionalidade da agricultura deverá ser aplicado, considerando que constitui justificativa de americanos e europeus para subsidiarem fortemente seus produtores rurais, sob a alegação de que os mesmos devem ser remunerados não somente como produtores de matéria-prima, mas também como recuperadores e preservadores dos recursos naturais.
- O trabalho elaborado pela FUNPAR levou em conta, principalmente, os estudos fundamentados nos eixos nacionais de integração e desenvolvimento, considerando que:
- desde 1997, o Brasil vem tornando referência de estudos o conceito que considera o território nacional como um espaço geoeconômico aberto, rompendo com a visão tradicional de país fragmentado segundo suas fronteiras geopolíticas formais, com macrorregiões e estados;
  - o imenso trabalho de triagem e classificação resultou na divisão do território nacional em nove regiões que receberam o nome de Eixos Nacionais de Integração e Desenvolvimento, cujas características forneceram os paradigmas para a determinação final da importância de projetos individuais ou agrupados;
  - os Eixos são macrorregiões que compartilham de um grau de identidade forjada por fatores históricos e culturais, nas quais diferentes vocações econômicas estão sendo fortalecidas por grandes projetos de infra-estrutura. Juntos, os planos para os nove Eixos dão uma visão consolidada da estratégia de longo prazo para o desenvolvimento nacional;

- a definição dos Eixos enfatiza a análise dos fluxos reais de bens e serviços e à identificação das demandas dos cidadãos no ambiente em que vivem. Assim, eles representam espaços territoriais delimitados, para fins de planejamento, segundo a dinâmica socioeconômica e ambiental que os caracteriza;
- o levantamento das realidades regionais e a identificação de potencialidades e obstáculos em todo o território nacional tornaram possível compreender melhor o Brasil e definir os caminhos para o desenvolvimento econômico e social;
- o estudo detalhado dos Eixos concluiu que projetos de infra-estrutura representavam apenas uma das quatro dimensões essenciais para o desenvolvimento, sendo as outras três de natureza social, ambiental e de informação e conhecimentos;
- foram avaliados programas sociais e foram efetuadas estimativas das necessidades estruturais atuais e futuras nas áreas da educação, saúde, moradia popular e saneamento básico (água e esgoto), que precisam ser atendidas para permitir o crescimento acelerado, bem como o custo destas ações;
- foram examinadas carências de cada região em termos de informação e conhecimento, estimando também o custo de preenchimento dessas lacunas;
- finalmente, considerou o impacto ambiental dos projetos, sugerindo estratégias para proteger o meio ambiente durante a implantação e operação de projetos de desenvolvimento, apresentando as estratégias para o desenvolvimento sustentável não como um componente do custo dos projetos, mas como oportunidades adicionais para investimentos lucrativos.

Torna-se evidente, nesse contexto, a correlação entre o uso de calcário, sustentabilidade da agropecuária e recursos hídricos. Conforme já foi mencionado, a agricultura responde por aproximadamente  $\frac{3}{4}$  de toda a água consumida e pode

constituir-se em grande poluidora ou grande provedora de recursos hídricos, dependendo do manejo que se aplicar aos recursos naturais. Na agricultura sustentável, por exemplo, a montante de um recurso hídrico ela se torna provedora de boa água e a jusante deverá ser filtradora da água poluída proveniente da área de consumo.

O trabalho da FUNPAR sobre *Calcário – Recurso Mineral na Sustentabilidade Agropecuária e Melhoria dos Recursos Hídricos* enfoca os nove eixos (Araguaia-Tocantins, Arco Norte, Madeira-Amazonas, Oeste, Rede Sudeste, São Francisco, Sudoeste, Sul e Transnordestino) como referências fundamentais de análise e proposições, constituindo-se numa obra de consulta obrigatória a todos os órgãos responsáveis pela implementação de políticas voltadas ao setor mineral, agricultura, meio ambiente e hidrologia. O objetivo precípuo do trabalho é subsidiar o governo, organismos e instituições relacionadas com informações amplas e concretas indicando um novo caminho, novas alternativas para o incremento no uso do calcário agrícola.

À luz das evidências resultantes desse estudo, o DNPM assinou, em dezembro de 2002, um convênio com a FUNPAR (Convênio/DNPM/nº 49/2002, de 13/12/2002), com o objetivo de elaborar um programa de trabalho com ações em todas as unidades da Federação, para a intensificação do uso desse insumo mineral, que não é somente fator essencial à sustentabilidade e melhoria, mas é também um componente básico para a multifuncionalidade da agricultura brasileira. Infelizmente, por motivos que desconhecemos, o programa não foi levado adiante.

## 9. Conclusões

- A agricultura moderna tem que ser sustentável, por meio da criação e da manutenção da produtividade do solo no longo prazo, garantindo os benefícios colimados para as futuras gerações. Os benefícios dos solos de alta produtividade incluem a proteção ambiental, o uso eficiente dos insumos (qualidade e quantidade), principalmente nos sólidos ácidos bra-

sileiros, onde a aplicação do calcário agrícola é imprescindível.

- Enfatiza-se que, utilizada de forma correta, adotando-se práticas como a amostragem e a análise, a aplicação de calcário no solo permite a maximização dos efeitos do fertilizante e, por conseguinte, aumento substancial da capacidade produtiva da terra. Entretanto, para realizá-la de modo eficiente, deve-se antes fazer a correção do solo, para o qual, a calagem é indispensável. Estudos vários demonstram que, desde que a correção seja feita, é possível, em certas condições e ao final de cinco anos, dobrar a produção de grãos na mesma área cultivada por meio do uso de fertilizantes adequados. Além disso, a técnica empregada é simples, barata e acessível.
- Para o transporte de *commodities*, mercadoria que se caracteriza por ser negociada em grandes volumes e baixo preço unitário, em percurso de longa distância, é mais vantajoso utilizar a hidrovía e a ferrovia que do que a rodovia. O uso quase exclusivo da rodovia faz com que, na maioria das regiões brasileiras, o custo do transporte de grãos e outros produtos, como é o caso do calcário, seja um dos mais elevados do mundo, o que compromete a competitividade destes produtos.
- As carências do sistema de transportes no Brasil são observadas em rodovias, ferrovias, hidrovias, terminais intermodais ferroviários, hidroviários e portuários. Tendo como causa mais crítica a falta de investimentos sistemáticos no setor, a malha rodoviária nacional encontra-se, de forma geral, em estado inadequado para suportar a demanda que lhe é imposta para a movimentação das crescentes produções brasileiras.
- Além de se resolver o problema relativo ao transporte à longa distância, há necessidade de se efetuar uma pesquisa geológica bem feita e adequada, nos moldes daquela elaborada pela CPRM, por intermédio do PIMA. Posteriormente, após delimitar as áreas favoráveis e mais próximas do consumidor, é neces-

sário executar uma pesquisa detalhada, por uma equipe multidisciplinar, composta principalmente por especialistas não só das geociências, como também do meio ambiente, da química, da agronomia, da botânica etc., para que sejam analisados todos os prismas do problema (qualidade do calcário, viabilidade econômica, impacto ambiental, tipo de solo e vegetação etc.).

É evidente que todo trabalho multidisciplinar deverá ser precedido e baseado em um planejamento estratégico participativo, envolvendo todos os atores interessados, inclusive os representantes da sociedade civil, sem se esquecer dos representantes das comunidades situadas nas áreas alvo.

- O sucesso comercial de uma companhia de mineração depende da combinação adequada de uma série de fatores. Entre eles se inclui, em primeiro lugar, a existência de uma pesquisa geológica bem feita e em escala compatível. Cabe enfatizar que, antes de se investir qualquer capital em equipamento de extração e processamento de calcário, o industrial deve ter certeza da qualidade e da quantidade da rocha calcária que ele planeja extrair e processar. Procurar economizar em níveis que comprometam a pesquisa e o meio ambiente pode resultar no comprometimento de vultuosos investimentos posteriores. Uma pesquisa cuidadosa e metódica é um fator de segurança, pois pode remover muitas especulações. Por outro lado, concordamos com Pereira *et al.* (2003), ao afirmar que o minerador deve também levar em conta a preservação ambiental antes, durante e depois da vida útil do empreendimento (Planejamento Estratégico). É necessário um planejamento da gestão desde o início da pesquisa geológica, durante todo o ciclo de vida do empreendimento e também na sua desativação.
- Na última década do século passado, foram cristalizadas algumas macrotendências em nível mundial que, sem dúvida, têm reflexos poderosos no *agribusiness* nacional e na formu-

- lação da política agrícola, no presente e no futuro. Essas macrotendências são: redução do papel do Estado na economia; maior integração dos mercados mundiais; e maior peso das variáveis ambientais e sociais no cálculo econômico das empresas e nas decisões governamentais.
- Devido a algumas de suas características, a agricultura em todo o mundo continua e continuará ainda por bastante tempo dependendo de políticas de suporte e de controle governamental para garantir o equilíbrio entre a produção e o consumo doméstico, preservar o interesse da sociedade na exploração dos recursos naturais e ter condições competitivas no mercado internacional.
  - No Brasil, a despeito das limitações de natureza orçamentária e dos grandes avanços, nos últimos anos, em termos da implantação de instrumentos de política agrícola menos intervencionistas, o crédito rural oficial continua sendo a espinha dorsal do sistema de financiamento à agricultura, e os instrumentos de apoio à comercialização e de transferência de risco dependem pesadamente do apoio do Estado.
  - Dentre as principais razões econômicas para a existência de uma política agrícola, as quais pouco mudaram desde a década de trinta, destacam-se: a melhoria da alocação de recursos (as maiores críticas ao PROSOLO e ao PROPASTO são dirigidas à liberação de recursos); a redução das flutuações na renda e a garantia da segurança alimentar.
  - O governo brasileiro deverá continuar privilegiando os programas de desenvolvimento rural, principalmente no que se refere à capacitação de mão-de-obra. Nesse sentido, vale ressaltar a grande importância da formação e treinamento de empresários agrícolas, que são as pessoas que vão gerenciar diretamente a expansão das atividades do *agribusiness*. Para tanto, o Ministério da Agricultura deverá firmar, dentro dos programas de desenvolvimento rural, contratos e convênios com algumas universidades para acelerar e ampliar a formação desses profissionais.
  - Com relação à agricultura sustentável, a adoção gradativa de práticas de cultivo compatíveis com os princípios de conservação do meio ambiente tende a ser o desdobramento natural do fortalecimento da infra-estrutura no campo. Isto porque, à medida que for melhorando a qualidade de vida da população rural e à medida que os elevados custos de transação forem reduzidos, cada vez mais, os produtores terão condições de absorver as mudanças nos gostos e preferências dos consumidores e, implicitamente, maior grau de responsabilidade, no sentido de responder aos anseios da sociedade.
  - Nos dias atuais, apenas os agricultores de maior porte usam o calcário para a correção de solos. O volume total de área agricultável no Brasil, hoje, não chega a atingir um consumo de 500 kg/ha/ano, quando o mínimo recomendado seria de 1000-1500 kg/ha/ano (PEREIRA *et al.*, 2003). Há necessidade de se criar condições para que o insumo seja também usado nas pequenas propriedades, impedindo, assim, a expansão da área agrícola, que deverá crescer, segundo cálculos de especialistas, em dez milhões de hectares, com graves danos ao meio ambiente, nos próximos vinte anos, caso não seja intensificado o uso do calcário agrícola em todos os níveis da agricultura.
  - Ao concordar com Borges (2002), reitera-se que, em se tratando de unidades rudimentares de produção de calcário ou qualquer outro bem mineral, há necessidade de se criar, em termos estratégicos, um instrumento capaz de implementar o desenvolvimento econômico e social da região, com proteção aos ecossistemas representativos e específicos, incorporando o ponto de vista institucional e regulamentar dos dispositivos da Carta de 1988, que privilegiam o garimpo efetuado de forma cooperativa.

- Nesse aspecto, as análises ambientais deverão ser realizadas sob o ângulo da utilização racional das jazidas, da implantação de tecnologias adequadas e modernas, do regime de trabalho, do controle das operações e da contribuição da empresa ao processo de desenvolvimento. Considerando que esse tipo de produção de cal se localiza, principalmente, em regiões onde as necessidades básicas da população ainda não se encontram atendidas, seria necessário, portanto, conhecer de antemão os reflexos que estão sendo ocasionados à cultura, à organização social e ao bem-estar das comunidades locais, por intermédio de um planejamento estratégico participativo, envolvendo, enfatizamos, todos os atores, incluindo os representantes das comunidades locais.

Finalmente, vale transcrever um trecho do trabalho da Associação Brasileira de Produtores de Cal, Calcários e Dolomitos no Brasil – Usos e Mercado, escrito por Guimarães três décadas passadas, ainda muito pertinente:

*“...as atividades de mineração para lavra de calcários e dolomitos destinados a fins de interesse social ou de política governamental - como correção de acidez do solo, poluição ambiental e regularização do pH de lagos e lagoas – onde os preços oferecidos ao minerador para a compra de seus minérios são marginais, devem merecer por parte do Poder Público o seu apoio, refletido em favores tributários, de tarifas privilegiadas, financiamento de estoques, empréstimos bancários para equipamentos e outros incentivos. Incentivo, também, deve ser dado à pesquisa de depósitos de calcários e dolomitos de alta pureza em regiões de influência de indústrias carentes de cal química especial, através de mapeamento, estudos e análises, das instituições oficiais, que permitem a localização de ocorrências com tais atributos e o despertar do interesse do minerador nacional” (GUIMARÃES, 1978).*

## Referências bibliográficas

- ABRACAL – Associação Brasileira dos Produtores de Calcário Agrícola, 2006. *Consumo Aparente de Calcário Agrícola no Brasil, 2006*.
- ABRACAL – Associação Brasileira dos Produtores de Calcário Agrícola, 2000. *Comercialização de Calcário Agrícola – Brasil 2000*.
- AGNELLO, V. N. 2002. *Limestone and dolomite in South África*, Notas pessoais.
- AGRANELLI – AGRICULTURA AVANÇADA, 2002. *Gesso Agrícola*. ([www.agronelli.com.br](http://www.agronelli.com.br)).
- ALBUQUERQUE, G. S., 2001. Fertilizantes na Iberoamérica, Palestra proferida durante a reunião da Rede Temática sobre Fertilizantes em Iberoamérica, 2001.
- BECKER, F. C. 1996. *Calcários Agrícolas*, Palestra proferida durante o I Workshop do Programa de Avaliação Geológica-Econômica de Insumos Minerais para Agricultura no Brasil – PIMA, Relatório Final, CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Rio de Janeiro, 1996.
- BRUVEL, F. 1999. *Limestone*, Department of Mines and Energy of Australia ([www.nrm.qld.gov.au/resourcenet/mines/commodities/pdf/lime.pdf](http://www.nrm.qld.gov.au/resourcenet/mines/commodities/pdf/lime.pdf)).
- CALCAREOUS SOILS. *Land and Plant Nutrition Management Service*, ProSoil – Problem Soils Database, FAO ([www.fao.org](http://www.fao.org)).
- CEPA/SC – Instituto de Planejamento e Economia Agrícola de Santa Catarina, 1997.
- CHRISTIE, T. et al. 2000. *Limestone, marble and dolomite*, Mineral Commodity Report 21, Institute of Geological and Nuclear Sciences Ltd., Nova Zelândia, ([www.med.govt.nz/crown\\_minerals/minerals/docs/comreports/report21\\_limestone.pdf](http://www.med.govt.nz/crown_minerals/minerals/docs/comreports/report21_limestone.pdf)).
- COELHO, F. S. e VERLENGRA, F. 1973. *Fertilidade do Solo*, Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1973. 384 p.

- CORRÊA, P. R. S. e FILHO, O. M. 2001. *Síntese das necessidade de Calcário para Solos dos Estados da Bahia e Sergipe*, Superintendência Regional de Salvador, CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Salvador – 2001.
- COSTA, B. M. da. 2000. *Uso do Calcário em Pastagens*, Departamento de Zootecnia, Escola de Agronomia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia, 2000.
- DME – Department of Minerals and Energy. 2001. *Environmental Management Plan*, Republic of South Africa, 2001 (Compiled in terms of section 11(2) of the National Environmental Management Act, 1998 - Act nr. 107 of 1998).
- DRAHOVZAL, J. A. 2001. *Limestone*. KGS – Kentucky Geological Survey, University of Kentucky, Lexington, USA, 2001.
- DUVAL, J. 2000. 149 *Limestone and Dolomite*, Department of Minerals and Energy, Republic of South Africa (www.dme.gov.za).
- DUVAL, J. et al. 2000. 125 *Industrial Minerals – Overview*, Department of Minerals and Energy, Republic of South Africa (www.dme.gov.za).
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 1999. *Recomendações Técnicas para a Cultura de Soja no Paraná – Safra 2000/2001*.
- EBDA/CBPM – Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola S.A./Companhia Baiana de Pesquisa Mineral. 1998. *Calcário agrícola: diagnóstico da oferta e da demanda no Estado da Bahia. Salvador: 1998 – 73p.il. (EBDA. Documentos, 8)*.
- FAVERET, P. et al. 1997. *AGROINDÚSTRIA - Calcário*, (Informe Setorial no 12, novembro/97 – BNDES/FINAME – BNDESPAR).
- FEALQ – Fundação de Estudos Agrários “Luiz de Queiroz”, *Estudo Nacional do Calcário Agrícola*, Universidade de São Paulo – USP, 1983.
- FERREIRA, C.R.R.P.T. e VEGRO, C.L.R. 2001. *CALCÁRIO AGRÍCOLA: consumo nacional em alta*. Instituto de Economia Agrícola do Estado de São Paulo.
- FERREIRA, C.R.R.P.T. e VEGRO, C.L.R. 2001. *CALCÁRIO AGRÍCOLA: perspectivas de aumento nas vendas à citricultura em 2001*. Instituto de Economia Agrícola do Estado de São Paulo.
- FONSECA, M. R. C. B. da. 2002. *Tecnologia Ambiental para o Desenvolvimento Sustentável em Polo Produtor da Cal. Municípios de Santa Maria do Cambucá (PE), Vertente do Lério (PE), Santa Cecília (PB) e Umbuzeiro (PB) – Projeto Básico, Paraíba – 2002*.
- FRANCO, B. de A. e SOUZA JÚNIOR, L. C. de. 2000. *Estudo do Mercado de Calcário para Fins Agrícolas no Estado de Pernambuco*, Superintendência Regional de Recife, CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2000.
- GOEDERT, W.J. e LOBATO, E. 1988. In: XXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Campinas-SP, pg. 101-108, 1988.
- GOMES, A. P. 1996. *Programa de Avaliação Geológica-Econômica de Insumos Mineraiis para Agricultura no Brasil – PIMA*, I Workshop, Relatório Final, CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Rio de Janeiro, 1996.
- GUIMARÃES, J. E. P. 1978. *Calcários e Dolomitos no Brasil – Usos e Mercados*. Associação Brasileira dos Produtores de Cal.
- INDUSTRIAL MINERALS OF VICTORIA, *Limestone*.
- JUNIOR, L. C. de S. 2001. *Estudo dos Níveis de Necessidade de Calcário nos Estados de Pernambuco, Alagoas, Paraná e Rio Grande do Norte*, Superintendência Regional de Recife, CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Recife – 2001.
- JUSTO, L. J. E. C. 1996. *Programa de Avaliação Geológica-Econômica de Insumos Mineraiis para Agricultura no Brasil – PIMA*, I Workshop, Relatório Final, CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Rio de Janeiro, 1996.
- LAZCANO-FERRAT, I., 2000. *Calagricola: Conceptos Basicos para la Produccion de Cultivos*, 2000.
- MALAVOLTA, E. 1989. *ABC da Adubação*, São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1989. 292p.

- MILLER, M. M. 2006. *Lime*, U.S. Geological Survey Minerals Yearbook – 2006.
- MONT'ALVERNE, A. A, F. 1981. *Calcários: Considerações Gerais e Aplicações Tecnológicas*, Recife, Universidade Federal de Pernambuco.
- NEWMAN, H. R. 2000. *The Mineral Industry of France*, United States Geological Survey – USGS ([www.minerals.usgs.gov/minerals/pubs/country/9414097.pdf](http://www.minerals.usgs.gov/minerals/pubs/country/9414097.pdf)).
- NOGUEIRA, L. 2002. Acidez do Solo: saiba como corrigir. ([www.garden.com.br/jardim](http://www.garden.com.br/jardim)).
- PEREIRA, C. de M. e CAVALCANTI, R. N. 2003. *Calcário Agrícola – Caracterização da produção e consumo em São Paulo*, Revista Brasil Mineral, Ano XIX – Nº 212, Dezembro/Janeiro 2003.
- RESENDE, N. das G. de A. da M. 2001. *Insumos Minerais para Agricultura e Áreas Potenciais nos Estados do Pará e Amapá*, Superintendência Regional de Belém, CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Belém – 2001.
- ROCHES CARBONATES, MINÉRAUX INDUSTRIELS. Ministère de la Agriculture, France, ([www.drire-ir.org/publications/ressources/roche.html-10k](http://www.drire-ir.org/publications/ressources/roche.html-10k)).
- RURAL Business – *Correção e Manutenção da Fertilidade do Solo* ([www.ruralbusiness.com.br](http://www.ruralbusiness.com.br)).
- SÁ, C. M. G. de e MARCONDES, A. 1985. *Calcário para Corretivo de Solo em Goiás - Diagnóstico e Alternativas para Abastecimento*. Goiânia, METAGO.
- TEPORDEI, V. V. et al. 2000. *Stone, Crushed*. United States Mineral Resources, Professional Paper, U. S. Geological Survey Minerals Yearbook – 2000.
- TOWNER, R. 2002. *Notas pessoais*, Minerals Division, Geoscience Australia.
- USGS - UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, 2000. *Crushed Stone Statistics and Information*, USGS Minerals Information (<http://minerals.usgs.gov>).
- VAGT, V. 1997. *Lime*. Minerals and Metals Sector, Natural Resources Canada, Canadian Minerals Yearbook, 1997.
- YUNCONG, L., 2000. *Calcareous Soils In Miami-Dade County*, University of Florida, Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences (<http://edis.ifas.ufl.edu>).

## Notas

- <sup>1</sup> O ácido carbônico, diluído na água da chuva, remove íons do complexo coloidal do solo, principalmente cálcio e magnésio, deixando em seu lugar quantidade equivalente de íons hidrogênio. Em consequência, a quantidade de hidrogênio no solo vai aumentando, causando um abaixamento progressivo do pH.
- <sup>2</sup> A camada superficial do solo é rica em cálcio e magnésio. A remoção dessa camada pela erosão favorece a acidificação do solo.

# Capítulo 15 - O gesso nos agrossistemas brasileiros: fontes e aplicações

Os autores

**Francisco Eduardo de V. Lapido-Loureiro**

Geólogo, D.Sc. Geoquímica, Pesquisador Emérito CETEM/MCT. E-mail: Flapido@cetem.gov.br

**Marisa Nascimento**

Engenheira Química, D.Sc., Professora da UFF. E-mail: marisanascimento@gmail.com

## 1. Introdução

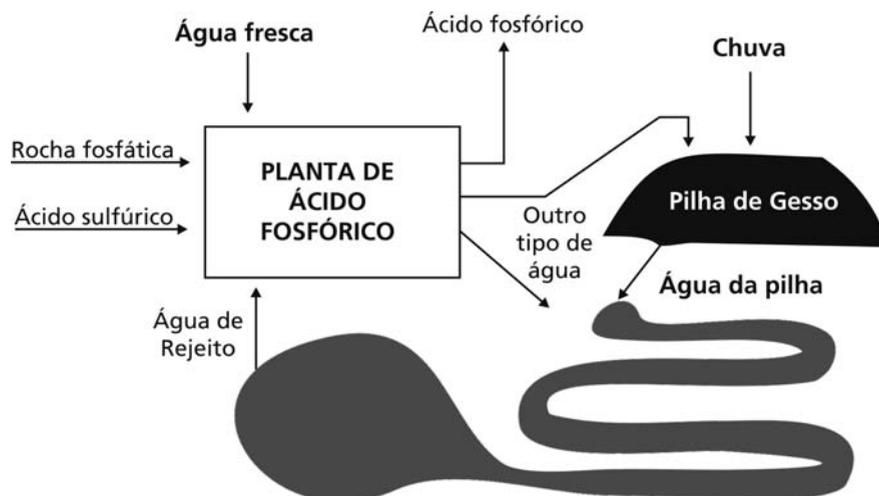
O sulfato de cálcio (gesso s.l.), nas suas formas minerais de gipsita e anidrita, é um importante insumo, cuja produção mundial alcançou 110 milhões de toneladas em 2005 (Mineral Commodity Summaries – USGS 2005). A produção de gesso nos EUA, maior produtor e consumidor mundial, foi de 17,5 Mt naquele mesmo ano, com um crescimento, em relação ao ano anterior, de 3% em volume e de 9% em valor.

Por outro lado, a geração de sulfato de cálcio como rejeito da indústria do ácido fosfórico - fosfogesso (Figura 1.1) tem sido, em âmbito mundial, da ordem de 40 a 47 milhões de toneladas anuais, desde meados dos anos 80.

O gesso, inicialmente usado em obras de arte e de decoração, é um dos mais antigos materiais utilizados pelo homem. A existência de jazimentos de gipsita em Chipre, na Fenícia e na Síria foi referida por Teofratos em seu *Tratado sobre a Pedra*, escrito entre os séculos IV e III a.C. (BALTAR, BASTOS e LUZ, 2005).

Há indicações de que o emprego de gesso na construção civil tenha se iniciado com os egípcios há cerca de 3000 anos. Gregos e romanos aplicavam-no na agricultura. Na Europa, o gesso começou a ser utilizado como corretivo de solos a partir do século XVIII.

No Brasil, o cientista austríaco F.W. Dafer, trazido por D. Pedro II, e que foi o primeiro diretor da



Fonte: Astley e Hilton, 2006.

Figura 1.1 – Esquema da produção de ácido fosfórico e disposição de fosfogesso

Imperial Estação Agronômica de Campinas, fundada em 1887, pelo imperador, teve o mérito de, já naquela época, mostrar o efeito benéfico do gesso no cultivo do café. A Estação Agronômica, ao passar para o Governo do Estado de São Paulo, em 1892, viria a transformar-se no atual Instituto Agronômico de Campinas.

Hoje, a aplicação do gesso é significativa e vem aumentando, tanto na construção civil, com várias aplicações, quanto na agricultura, como fonte de Ca e S, melhorador de solos sódicos, argilosos pesados e ácidos.

Até 1991, o fosfogesso acumulado no Brasil, junto às fábricas de produção de ácido fosfórico, totalizava 29 Mt (Tabela 1.1). Hoje deve ultrapassar 70 Mt. Esta estimativa baseia-se numa produção de ácido fosfórico, expresso em  $P_2O_5$ , da ordem de 15 Mt de 1991 a 2006, o que significa que foram geradas cerca de 60 Mt de fosfogesso. Partindo da hipótese de que as vendas tenham sido da ordem de 30%, em média, o fosfogesso acumulado no período seria de cerca de 42 Mt, que, adicionadas aos 29 Mt já existentes, totalizariam 71 Mt.

Em 2005, a produção anual foi de 5 Mt/ano das quais 1,5 a 1,9 Mt foram comercializadas para uso agrícola e 0,5 a 0,7 Mt para uso químico (TOMAZ, 2006).

**Tabela 1.1** – Produção, estoques e vendas de fosfogesso no Brasil.

Empresa	Produção Média (t/ano)	Estoque (t)	Venda Média Anual (t)
Fosfertil I e II	1.600.000	12.500.000	150.000
Ultrafertil	300.000	5.000.000	130.000
ICC	600.000	4.000.000	45.000
Quimbrasil	400.000	3.000.000	200.000
Copebrás	450.000	4.500.000	115.000
<b>TOTAL</b>	<b>3.350.000</b>	<b>29.000.000</b>	<b>640.000</b>

Fonte: Freitas, 1992.

Embora a indústria de produção do ácido fosfórico, seguindo a rota sulfúrica, seja antiga, só em 1928 apareceu o primeiro trabalho sobre fosfogesso (em artigo russo), e só em 1954 seria utilizado, pela primeira vez, nos EUA. Em ampla pesquisa bibliográfica, realizada no âmbito de um programa internacional, identificaram-se mais de 50 usos benéficos para o fosfogesso nos mais de 1.500 trabalhos pesquisados (ANEXO I).

Na Flórida há mais de um bilhão de toneladas de fosfogesso empilhado em duas dezenas de locais distintos (Figura 1.2) e, a cada ano, são acrescentadas mais 30 milhões de toneladas (FIPR, Report 2003-2004), mas a única coisa que a EPA permite fazer é estocá-lo (ASTLEY e HILTON, 2006).

No norte da Flórida, apesar das limitações rigorosas estabelecidas pela EPA, o fosfogesso é utilizado pelos produtores de amendoim e usado na pavimentação de algumas estradas.

O não aproveitamento do fosfogesso gerado na produção de ácido fosfórico representa custos de estocagem elevados. Nos EUA, tais custos são da ordem de US\$ 5/t, o que equivale a US\$ 25 por cada tonelada de  $P_2O_5$  produzido.

Pelas suas propriedades como fertilizante e corretivo de solos, a agricultura e a pecuária (pastagens) apresentam o maior potencial de consumo. Já foram comprovados efeitos benéficos em 50 cultivares, com taxas de aplicação de 100-200 kg/ha, sendo que, em certos casos, a quantidade ideal é de 1.000 kg/ha. Em pastagens, a aplicação de 0,1t/ha/ano aumenta o rendimento em 20%. A agricultura pode, assim, absorver não só todo o fosfogesso estocado como também o produzido (ASTLEY e HILTON, 2006).

Atualmente os EUA desenvolvem um amplo programa de 6 anos (2005 – 2011), o *Stack Free – Beneficial Uses of Phosphogypsum*, com o objetivo de “encontrar uma alternativa, economicamente viável e ambientalmente correta, à atual estocagem (empilhamento) do gesso” (op. cit.). Para mais detalhes ver ANEXO I.



Fonte: Astley e Hilton, 2006.

**Figura 1.2** – Vista panorâmica de um dos 20 sítios de disposição de fosfogesso na Flórida (último plano) e suas respectivas lagoas de decantação. Em segundo plano, servindo de escala, um trem de carga

## 1.1. Terminologia

Há dois tipos de gesso: o natural e o gerado como co-produto de processos industriais.

Os termos *gesso* e *gipsita* são utilizados de forma imprecisa. Gesso, na indústria, refere-se ao produto calcinado e gipsita é sinônimo de gesso natural.

No *Glossary of Geology* do *American Geological Institute* designa-se gipsita (*gypsite*) como uma variedade terrosa de gesso (*gypsum*) contendo impurezas e areia, encontrada apenas em regiões áridas, ocorrendo como depósitos superficiais (aflorantes) ou em camadas subsuperficiais. No Dicionário de Mineralogia, de Pércio M. Branco, é referido que a gipsita “é o sulfato mais comum, ocorrendo em evaporitos (...) ou como camadas interestratificadas com folhelhos, calcários e argilas”.

A gipsita é um mineral de larga distribuição. É o sulfato natural mais abundante. Associa-se com frequência à halita (NaCl) e à anidrita (CaSO<sub>4</sub>) em evaporitos, formando camadas extensas e espessas, interestratificadas com calcários e argilas. Es-

tas ocorrências/depósitos, embora tenham se formado e se formem em quase todas as eras geológicas, são predominantemente de idades permiana (299 a 251 Ma) e triássica (251 a 200 Ma).

No Brasil, *gipsita*, *gipso* ou *gesso* são termos usados, com frequência, como sinônimos: referem-se ao produto natural (mineral) *gipsita* e *anidrita*.

Neste capítulo, adotaremos a nomenclatura que se segue.

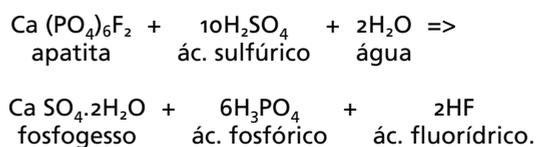
- a) **Gesso natural** ou simplesmente **gipsita** => material formado pelos minerais gipsita [CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O] e anidrita [CaSO<sub>4</sub>]; a variedade hemi-hidratada [CaSO<sub>4</sub>.½H<sub>2</sub>O], conhecida comercialmente como *emplastro de Paris*, também ocorre naturalmente.
- b) **Gesso s.s.** => produto resultante do sulfato de cálcio natural, por calcinação.
- c) **Gesso s.l.** (não adjetivado) => designa tanto o gesso natural (gipsita) como o produto calcinado e ainda os gessos residuais resultantes de algumas indústrias, dentre os quais o principal é

o fosfogesso, pelas enormes quantidades geradas.

**d) Gesso agrícola** => produto utilizado na agricultura, com especificações granulométricas e químicas, que tanto pode ser de origem mineral (gipsita ou gesso natural) como química (fosfogesso e outros gessos industriais ou residuais).

**e) Gessos sintéticos, industriais ou residuais:**

**Fosfogesso** => gesso formado no processo industrial de produção de ácido fosfórico pela rota sulfúrica a partir de concentrados de apatita, predominantemente fluorapatita, no caso dos minérios brasileiros, segundo a reação:



**Dessulfogesso'** => designação dada ao sulfato de cálcio formado no processo mais seguido de dessulfurização do gás resultante da combustão de carvão ou de óleo nas centrais térmicas: absorção do dióxido de enxofre (e também dos óxidos de nitrogênio) por uma suspensão aquosa de hidróxido de cálcio ('leite de cal').

Indústrias como as de produção de ácidos, de extração de cloreto de sódio e as de tratamento de resíduos industriais dão origem a sulfatos residuais: **fluorgesso, borogesso, organo-gessos (citrogesso, formogesso, tartarogesso), salgesso, titanogesso, sodogesso, sulfitogesso e gessos de neutralização de resíduos ácidos** ("wan" gessos).

Na linguagem comercial, e o que é mais grave também na técnica, está sendo adulterado o significado de *fosfogesso*, utilizando-se o termo, erroneamente, como sinônimo de *gesso agrícola*. Chama-se a atenção para o fato de o termo fosfogesso (*phosphogypsum*) estar consagrado para designar o gesso gerado na produção de ácido fosfórico por ataque sulfúrico e que pode ter, e tem, várias aplicações, além da agricultura.

O fosfogesso é, em âmbito mundial e em termos de tonelagem produzida, o mais importante dos gessos residuais. Porém, com as atuais preocupações ambientais que implicam a redução de gases de efeito estufa, as quantidades de gesso (CaSO<sub>4</sub>) gerados no tratamento de efluentes industriais poderão crescer intensamente. A sua pulverização geográfica poderá significar redução do item preço de transporte, para aplicação, por exemplo, na agricultura ou na indústria do cimento.

A gipsita e o fosfogesso devem ser encarados como importantes insumos para a agricultura, indústria do cimento (retardante) e engenharia civil, embora apresente especificidades que desaconselham seu uso indiscriminado.

Na Tabela 1.2 apresenta-se a composição química de gessos residuais e minerados.

Além da composição química, a velocidade de dissolução do fosfogesso, função do tamanho das partículas / superfície específica, é um fator importante a ser considerado. Daí a importância das análises granulométricas. Na Tabela 1.3 apresentam-se alguns exemplos.

No Brasil, são produzidas cerca de 5 Mt/ano de fosfogesso e 1,5 Mt/ano de gesso natural.

**Tabela 1.2** – Composição química de gessos residuais e minerados. Entre parêntese, teores expressos em óxidos.

Elemento	PG <sup>(a)</sup> - Flórida	FGD <sup>(b)</sup> - Flórida	FGD <sup>(b)</sup> - Illinois	Gipsita <sup>(c)</sup>
Componentes Maiores (%)				
Ca	25,08 (35,11)	24,41 (34,17)	24,29 (34,01)	27,20 (38,08)
S	18,90 (47,25)	18,61 (46,53)	18,22 (45,55)	16,00 (40,00)
Mg	0,002 (0,003)	0,015 (0,025)	0,100 (0,347)	0,466 (0,773)
Si	0,116 (0,248)	0,052 (0,111)	0,078 (0,166)	0,054 (0,116)
Al	0,109 (0,206)	0,059 (0,111)	0,057 (0,122)	0,328 (0,620)
P	0,211 (0,484)	0,007 (0,016)	0,000 (0,000)	0,003 (0,007)
Fe	0,082 (0,117)	0,039 (0,558)	0,053 (0,076)	0,220 (0,315)
Componentes Menores (ppm)				
B	760	880	1.580	420
As	6,97	5,73	4,98	18,92
Cd	0,667	0,000	1,050	0,000
Cu	20,35	1,73	1,73	6,93
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000
Se	0,000	0,000	0,000	0,000
K	206,70	0,000	103,34	658,9
Na	203,47	22,61	33,92	63,59
Sr	523,89	123,82	200,19	558,46

(a) PG - *Phospogypsum*; (b) FGD - *Flue Gás Desulphurisation*; (c) Nova Scotia

Fonte: Sumner, 1992.

**Tabela 1.3** – Análises granulométricas de gessos e percentagem de distribuição

Diâmetro (mm)	PG <sup>(a)</sup> - Flórida	FGD <sup>(b)</sup> - Flórida	FGD <sup>(b)</sup> - Illinois	Gesso Minerado <sup>(*)</sup>
>0,25	0,05	2,30	0,05	11,99
0,25-0,10	6,70	1,03	12,30	17,35
0,10-0,05	20,20	1,35	63,47	17,33
0,05-0,02	68,35	90,05	18,06	40,05
<0,02	4,70	5,27	6,12	13,28

(a) PG - *Phospogypsum*; (b) FGD - *Flue Gás Desulphurisation*; (\*) Inglaterra

Fonte: Sumner, 1992.

## 1.2. Gesso e suas aplicações

Os gessos residuais apresentam grande potencial de aplicação, principalmente na agricultura e como aditivo (retardante), na fabricação de cimento *portland*.

Já o gesso s.s. (hemidrato) é amplamente usado nos domínios da construção civil e da indústria.

O gesso empregado na construção civil, obtido a partir de um minério com grau de pureza superior a 75%, dá origem, por calcinação, a um hemidrato b, que pode ser do tipo A (gesso de fundição) ou

do tipo B (gesso de revestimento). A partir deles são obtidos vários produtos: gessos de fundição (pré-moldados), placas para rebaixamento de tetos, blocos para divisórias, isolamento térmico e acústico (misturado com vermiculita ou perlita), portas corta fogos, aplicação manual e mecanizada (em paredes e tetos substituindo rebocos e/ou massas de acabamento, pega retardada/revestimento manual) e reajuste de pré-moldados em gesso ('gesso cola') (BALTAR, BASTOS e LUZ, 2005).

O gesso industrial é um produto de maior pureza e valor agregado, obtido a partir dos hemidratos a e b, dependendo da aplicação: cerâmica, indústria do vidro, carga mineral, indústria farmacêutica, decoração, material escolar (giz), ortopédico, dental, bandagem de alta resistência, indústria automobilística, fabricação de fósforos, fabricação de cerveja, indústria eletrônica, etc (BALTAR, BASTOS & LUZ, 2005).

Deve-se acentuar que minérios pobres, impróprios para estas aplicações, poderão ser utilizados, muito provavelmente, como fertilizantes e/ou moderadores de solos.

## 1.3. Impactos ambientais

A ABNT possui norma que orienta a classificação de resíduos – NBR 10.400 (ABNT, 2004a). Ao se analisarem as especificações desta norma, verifica-se que o fosfogesso apresenta características que o incluem em *Resíduo Sólido de Classe II – não perigoso e não inerte*.

No processo de produção do ácido fosfórico pela rota sulfúrica, substâncias insolúveis ou pouco solúveis, tais como metais, fluoretos e radionuclídeos, são transferidos para o fosfogesso, além da presença mínima de ácido fosfórico residual.

Não se deve esquecer que o fosfogesso úmido, colocado em pilhas, não se comporta como um produto inerte e sim como um material com capacidade de se transformar fisicamente e cujas propriedades variam com o tempo. Sabe-se que os cristais mais pequenos de gesso desaparecem progressivamente, dissolvendo-se no líquido de impregnação, recristalizando sobre os maiores. Ao crescerem, tendem a formar conjuntos macroscópicos que conferem às pilhas novas propriedades físicas, principalmente uma diferente permeabilidade.

A estocagem e/ou destinação primária do fosfogesso pode seguir duas rotas alternativas, cada uma delas obrigando a adoção de ações e gerenciamento ambiental para controle adequado: i) disposição no solo, por empilhamento, em áreas extensas, na proximidade das fábricas; ii) descarga em oceanos ou rios.

Por isso, considera-se de grande importância a efetivação de estudos e otimização de usos mais nobres, como na agricultura (fertilizante e moderador de solos) e na construção civil, atividades nas quais já tem importante fator de aproveitamento.

### 1.3.1. Disposição no solo

No empilhamento do fosfogesso no solo, três componentes podem provocar impactos ambientais: água ácida, fluoretos e radionuclídeos. Além disso, as enormes pilhas causam também, forte impacto visual. Uma forma de ultrapassar ou minimizar tais impactos é transformar o fosfogesso, rejeito indesejável, em produto de uso reconhecido.

O descarte do fosfogesso e a sua acumulação na proximidade das fábricas produtoras de ácido fosfórico acontece de duas formas: disposição a *úmido* ou a *seco*. Na modalidade a *seco*, o gesso é

descartado sob a forma de torta e transportado por correias ou caminhões para a área de disposição final e acumulado em pilhas. Na modalidade a úmido, o gesso é descartado juntamente com a água ácida residual proveniente da unidade de  $H_3PO_4$ , como suspensão (5 a 20% de sólidos). Esta suspensão é bombeada para lagoas de sedimentação. Depois de decantado pode ser acumulado em pilhas por meio de *draglines*. As paredes (diques) das lagoas usam como material o próprio fosfogesso.

Nos pólos industriais da Fosfértil, o empilhamento é a úmido, com deposição de 25% de sólidos em Uberaba. Em Piçaguera o sistema é misto, com deposição inicial de 5% de sólidos e empilhamento final a seco com transporte em caminhões.

Normalmente há mais de uma lagoa de sedimentação. Enquanto uma está operando, a outra está em fase de preparação, com o empilhamento do gesso decantado, para receber mais gesso.

A água ácida separada é drenada, através de canais que circundam as pilhas, para lagoas de processo, que atuam como lagoas pulmão coletando as águas de chuvas para seqüente evaporação solar. Estas lagoas funcionam também como lagoas de resfriamento para posterior recirculação da água contaminada com  $P_2O_5$  para reutilização na planta de ácido fosfórico (FREITAS, 1992).

Quando há excesso de água ela é enviada para estações de tratamento.

A Figura 1.3 ilustra bem o conjunto de bacias situadas junto ao complexo industrial da Fosfértil em Uberaba (MG).

A água das lagoas de decantação, fortemente ácida, com vários contaminantes (Tabelas 1.4 e 1.5), é quase sempre reciclada para a planta de ácido fosfórico como água de processo, mantendo os contaminantes em circuito fechado. Em períodos de chuva, quando as lagoas acumulam muita água, o excesso é enviado para estações de tratamento de efluentes e, após devido tratamento, é descartado para os corpos receptores.



Fonte: Fosfertil.

**Figura 1.3** – Conjunto de bacias de sedimentação / decantação e de lagoas de processo / resfriamento nas proximidades do complexo industrial da Fosfertil em Uberaba (MG)

**Tabela 1.4** – Valores médios da composição das lagoas de clarificação e pulmão.

Composição	Uberaba	Piaçaguera
pH	1,5 a 2,0	1,5 a 2,0
Fluoretos	0,3 a 0,5	0,10 a 0,15
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,5 a 0,7	0,5 a 0,7

**Tabela 1.5** – Composição típica da água das lagoas em mg/l.

	Mínimo	Normal	Máximo
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	8.000	12.000	20.000
F	900	10.000	12.000
SO <sub>3</sub>	2.400	4.000	9.000
CaO	500	2.000	4.700
MgO	60	400	580
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	110	150	1.100
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	120	300	400
K <sub>2</sub> O	12	250	440
Na <sub>2</sub> O	280	2.000	2.700
Acidez (pH)	2,5	1,5	1,2

Fonte: Freitas, 1992.

A água ácida pode percolar através das pilhas de gesso exigindo que a base das áreas de depósito tenha sido preparada para se evitar atingir e contaminar o lençol freático. A própria altura das pilhas pressiona a água, aumentando a taxa de percolação.

A composição das lagoas de clarificação e pulmão varia ao longo do ano, de acordo com a estação seca ou chuvosa. Os valores médios são apresentados nas Tabelas 1.4 e 1.5 (Informação de Carlos Moreira Tomaz, consultor da Fosfertil).

### 1.3.2. Lançamento em rios e oceanos

Outra forma de descartar o fosfogesso é bombeá-lo para rios ou oceanos. Não é prática comum, à exceção de Marrocos, principalmente pelos danos ambientais associados, exigindo condições ambientais muito específicas de dispersão, de correntes marítimas e caudais fluviais. O lançamento no oceano, como é feito em Marrocos, o maior exportador de ácido fosfórico, onde não são referidos danos ambientais notórios, tem a vantagem de a solubilidade do gesso na água do mar ser de

3,5 g/l, maior do que na água doce, que é de 2,3 g/l (FREITAS, 1992).

### 1.3.3. Tópicos sobre a radioatividade no fosfogesso

Um dos campos que tem merecido mais atenção da UNSCEAR - *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation* é o da Radiação Tecnologicamente Aumentada<sup>2</sup>. Num primeiro momento o UNSCEAR voltou-se principalmente para atividades industriais localizadas, tais como: geração de energia a partir do carvão, gás natural e turfa; mineração e beneficiamento de areias monazíticas; uso de rochas fosfáticas e fertilizantes fosfatados.

*Dentro deste contexto, a indústria do fosfato aparece como fonte potencial para os aumentos de dose devido à radiação natural, pelas suas atividades industriais propriamente ditas (liberação de efluentes contendo material radioativo) e pelo uso de seus produtos (fertilizantes) e subprodutos (fosfogesso) (SILVA, 1997).*

No ataque sulfúrico dos concentrados fosfáticos, 86% do U-238 e 70% do Th-232<sup>3</sup> vão para o ácido fosfórico. Para o fosfogesso vai 86% do Ra-226, que tem um comportamento químico semelhante ao cálcio.

A introdução do U e do Th, no estado de oxidação U<sup>4+</sup> e Th<sup>4+</sup>, na estrutura cristalina da apatita se dá pela substituição do cálcio, devido à similaridade de seus raios iônicos. Também podem concentrar-se pela coprecipitação de óxidos minerais, como os de Fe e Mn. “Esses mecanismos provocam, através de séculos, o acúmulo de U e de Th nas reservas fosfáticas. Nas fases de mineração e beneficiamento físico do minério, tanto a fuga do radônio como as operações que separam, involuntária e não seletivamente”, os radionuclídeos favorecem a diminuição da atividade total no concentrado e, conseqüentemente, no ácido fosfórico e seus derivados (SILVA, 1997).

A produção de ácido fosfórico dá origem à separação dos radionuclídeos em função da diferença de solubilidade e características químicas.

*(...) o equilíbrio radioativo é rompido e tanto o  $Po^{210}$  como o  $Pb^{210}$  e os isótopos do rádio, que é co-precipitado com  $CaSO_4$  ficam no fosfogesso. Os isótopos do urânio e do tório se concentram no ácido fosfórico /.../. Em gessos obtidos a partir de rochas nacionais, análises realizadas pela CNEN para a Petrofértil, em 1984, detectaram atividades naturais de 1 a 11 pCi/g para o Ra-226 e de 0,5 a 1,5 pCi/g para o Th-232 (...)*

Para gessos produzidos em Cubatão (SP), o IPEN “revelou atividades variando de 7 a 20 pCi/g para o Ra-226 e de 7 a 22 pCi/g para o Rn-222” (SILVA, 1997).

No ANEXO II, apresentam-se esquemas, da série de decaimento do U-238 e dos possíveis caminhos da radioatividade do fosfogesso até ao homem (MALAVOLTA, 1992).

A Agência Internacional de Energia Atômica estabeleceu, como uma das determinantes para que uma prática possa ser isenta de controle, sob o ponto de vista radiológico, o limite de dose efetiva individual, anual, o valor de 10 mSv (AIEA, 1996).

Silva (1997) que estudou a atividade de radionuclídeos naturais no fosfogesso de pilha e de processo e as doses individuais e coletivas de duas empresas, concluiu que “todos os valores da dose efetiva individual estimada de forma determinística apresentam-se inferiores ao limite estabelecido, sendo o mais elevado correspondente a 10% do mesmo”.

Apresentou também resultados das estimativas probabilísticas da dose efetiva individual anual decorrente da ingestão de alimentos produzidos em solo tratado com fosfogesso por 100 anos, tendo concluído que para todos os produtos considerados (arroz, café, cana-de-açúcar, feijão, milho, soja, trigo, carne bovina, leite de vaca), com uma incerteza de 5%, o valor máximo é inferior a 10 mSv / ano, sendo que o valor mais elevado corresponde a 22% deste limite (SILVA, 1997).

À exceção da rocha de Itataia (CE), cuja exploração só será possível com a extração do urânio como co-produto do fósforo, os minérios brasileiros apre-

sentam níveis de radioatividade inferiores aos dos minérios sedimentares da Flórida – EUA e do Norte de África, e teores de terras-raras mais altos (LAPIDO-LOUREIRO e MELAMED, 2006).

#### 1.4. Gesso como fertilizante e condicionador de solos: generalidades

Trabalhos de pesquisadores brasileiros das universidades, da EMBRAPA e das empresas produtoras de fertilizantes têm mostrado que o gesso, como fonte de cálcio e de enxofre, na agricultura, é um agente dinamizador de processos pedológicos, físico-químicos e microbianos, que podem melhorar as características/propriedades do solo. A utilização do gesso tem apresentado resultados muito positivos no melhoramento do ambiente radicular, principalmente em solos ácidos de baixa capacidade de troca de nutrientes e acentuada deficiência hídrica sazonal (solos do “cerrado”, por exemplo) e na correção de solos sódicos (Tabela 1.6 e Figura 1.4).

Como foi referido, já no final do século XIX, o cientista austríaco F.W. Dafer, primeiro diretor da Imperial Estação Agronômica de Campinas havia mostrado o efeito benéfico do gesso no cultivo do café.

O gesso agrícola contém 15 a 16% de enxofre e 19 a 27% de cálcio na forma de sulfato de cálcio. Sendo um sal solúvel em água, na proporção de 2,5g/l, em média<sup>4</sup>, supre o solo com cálcio e enxofre. A água, da chuva ou de irrigação, é o agente transportador. Infiltrando-se no solo, transporta aqueles elementos até as camadas mais profundas, o que favorece uma absorção eficiente dos nutrientes e o crescimento das raízes. Outra vantagem, sobretudo na vasta região do cerrado, é a redução da saturação de alumínio.

Tais fatos permitem ganhos de produção acentuados.

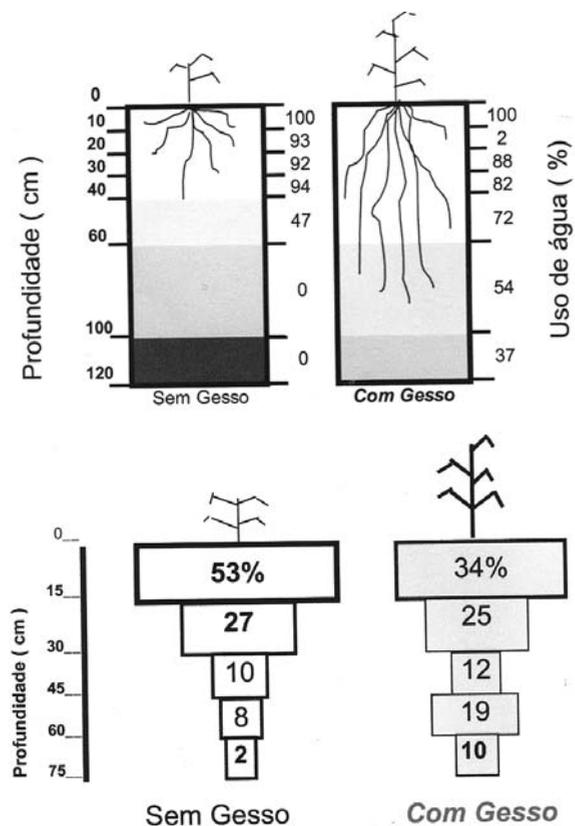
A Figura 1.4 ilustra o comportamento das raízes de milho no perfil de latossolo argiloso, **sem** e **com** aplicação do gesso.

**Tabela 1.6** – Comparação de profundidade média do sistema radicular de diferentes culturas

Região	Cultura	Profundidade <sup>(a)</sup>
Brasil	Feijão	20
	Milho	20
	Cana-de-açúcar	60
Outros Países	Feijão	50-70
	Milho	100-170
	Cana-de-açúcar	120-200

Fonte: Kafler, 1986.

<sup>(a)</sup>Profundidade do sistema radicular (cm).



**Figura 1.4** - Comportamento das raízes de milho no perfil de latossolo argiloso, sem e com aplicação de gesso

Sabe-se que, com uma quantidade de raízes maior, em profundidade, no perfil do solo, há um melhor aproveitamento de água, vital para as plantas em regiões sujeitas a veranicos ou secas pro-

longadas. Aprofundando suas raízes, as plantas terão mais resistência nos períodos de estiagem, pois em profundidade encontram sempre mais água do que em superfície. Os nutrientes também são absorvidos com maior eficiência (GESSO INTEGRAL, 2006).

No Brasil, a recomendação técnica para uso de corretivos nos seus solos indica o valor de 75-90 Mt/ano, mas só são aplicadas 15-22 Mt/ano, das quais apenas 2Mt/ano de gesso.

A EMBRAPA elaborou uma fórmula prática para saber a quantidade de gesso (Dose de Gesso agrícola – DG – com 15% de enxofre) a ser aplicada:

Culturas anuais => D.G. (kg/ha) = 50 x argila (%)

Culturas perenes => D.G. (kg/ha) = 75 x argila (%)

Sob o ponto de vista químico-agronômico, o emprego de gesso é recomendável em duas situações: (i) quando houver necessidade de fornecimento de cálcio e enxofre; (ii) quando se imponha redução de concentrações tóxicas de Al trocável nas camadas subsuperficiais. Além destas aplicações, o gesso também é aplicado na correção de solos sódicos, na diminuição da salinidade do solo ou do adubo e na redução das perdas de nitrogênio na fermentação do esterco.

O enxofre, nutriente fundamental para as plantas, é absorvido principalmente sob a forma de ânion sulfato  $SO_4^{2-}$ , que se move com maior intensidade na direção acrópeta (da base da planta para cima). No sentido inverso, basípeta, a capacidade da planta em mover enxofre é muito pequena.

Propriedade fundamental do enxofre é a sua influência no metabolismo vegetal, tendo como principais funções a formação de todas as proteínas e de algumas enzimas, a participação no desenvolvimento radicular e na fotossíntese, o aumento na produção de sementes e na nodulação das raízes das leguminosas (MALAVOLTA, 1976).

Do ponto de vista da nutrição vegetal, o gesso, pela sua composição e propriedades, pode suprir

a deficiência de cálcio e enxofre que não são fornecidos pelos adubos concentrados. A eficácia tem sido atribuída à sua alta solubilidade, se comparada à do calcário (cerca de 145 vezes maior) e à mobilidade dos seus componentes químicos no perfil do solo (ERNANI *et al.*, 1992).

*O enxofre se encontra nas plantas formando substâncias determinantes de qualidade e desempenhando funções vitais, sobretudo, no metabolismo das albuminas e nas reações enzimáticas. Participa na formação de alguns aminoácidos (cisteína, cistina, metionina, taurina) e, devido a isso, está presente em todas as proteínas vegetais. Por outro lado está presente em coenzimas como a ferredoxina, que contém ferro e enxofre em proporções equivalentes, atuando diretamente na fotossíntese e na fixação biológica do N<sup>2</sup> (SERRANA, 2000).*

O cálcio é fundamental para o crescimento e funcionamento das raízes garantido a integridade da membrana citoplasmática. Além disso, é freqüente, no Brasil, os solos apresentarem índices de saturação de alumínio elevados: no Cerrado, 70% da área agricultável apresenta, na subsuperfície do solo, índices de saturação de alumínio superiores a 10%, valores considerados prejudiciais ao crescimento radicular das plantas e, paralelamente, teores de cálcio baixos. “Nestas condições o sistema radicular das culturas não se desenvolve e a planta deixa de absorver água e nutrientes nela contidos” (SOUSA, LOBATO e REIN, 2004).

O gesso, além de sua atuação como fonte de cálcio e de enxofre e de neutralizador de alumínio, pode contribuir para melhorar o aproveitamento do fósforo aplicado ao solo (SILVA, 1997).

Os teores de enxofre disponível encontrados nos solos brasileiros (SP, MG, MS e GO) são predominantemente classificados como “muito baixo” e “baixo”, o mesmo acontecendo com os de fósforo (Tabela 1.7). As exigências de S das principais culturas são parecidas com as de fósforo (MALAVOLTA, 1992).

**Tabela 1.7** - Teores de fósforo e enxofre em 90.000 amostras de solo

Interpretação	P		S	
	Teor (ug/cm <sup>3</sup> )	% Total	Teor (ppm)	% Total
Muito Baixo	≤ 6	43	≤ 5	45
Baixo	7 – 15	29	6 – 10	21
Médio	16 – 40	18	11 – 15	12
Alto	41 – 80	6	16 – 20	22
Muito Alto	> 80	4	> 20	0

Fonte: Malavolta, 1992.

As quantidades mais adequadas a cada cultura, com base em experimentos, são indicadas por vários autores. No caso do uso do fosfogesso como fonte de enxofre, a EMBRAPA, em 1992, recomendava a aplicação de 100 a 250 kg/ha. Malavolta condiciona o volume de aplicação ao teor de enxofre preexistente no solo: 200 a 267 kg / ha para teores de enxofre no solo, muito baixos e de 67 a 134 kg para os de teores baixos. A Petrobras propõe, para culturas anuais, 150 a 250 kg/ha e, para culturas perenes e de cana-de-açúcar, 250 a 350 kg gesso/ha. Na Tabela 1.8 indicam-se, com base em experimentos, as quantidades mais adequadas a cada cultura.

**Tabela 1.8** – Quantidades de fosfogesso utilizadas nos experimentos

Cultura	Quantidades Aplicadas (kg/ ha)	Referências
Algodão	117 - 235	Petrobras, s.d.
Amendoim	500 – 1000	Petrobras, s.d.; Vitti et al., 1986
Arroz	700 – 1400	Oliveira et al., 1986; Souza et al. 1992
Café	448	Freitas et al., 1972
Cana-de-açúcar	520 – 2000	Vitti et al, 1992
Citrus	500	Vitti et al., 1986
Capim-colonião	200 – 400	Malavolta, 1984
Colza	134 – 400	Malavolta, 1984
Feijão	2000	Oliveira et al., 1986
Milho	134 – 6000	Malavolta, 1984; Souza et al., 1992
Soja	1500 - 4000	Souza et al. 1992
Sorgo sacarino	100	Malavolta, 1984
Trigo	267	Vitti et al., 1986; Souza et al. 1992

Fonte: Silva, 1997.

A maioria dos gessos tem composições similares, mas suas taxas de dissolução variam com a área superficial e cristalinidade. Usualmente o gesso dissolve-se mais rápido nos solos do que em soluções puras. (...) os tratamentos com gesso têm resultado em substanciais aumentos de produção numa grande variedade de culturas (...) usualmente devido ao suprimento de Ca<sup>2+</sup> e/ou à destoxificação de Al<sup>3+</sup> no solo (SUMNER, 1992).

O excesso de sais de sódio em solos brasileiros, principalmente no Nordeste, é um fator limitante da produção agrícola porque provoca baixo poder de drenagem pela dispersão de partículas coloidais de argila. Resulta em encrostamento superficial e bloqueio dos poros do solo.

O fosfogesso tem apresentado bons resultados quando utilizado na correção de solos porque, ao entrar em contato com as partículas dispersas, fornece Ca<sup>2+</sup> (cátion agregador de efeito favorável na estrutura do solo) suficiente para substituir o Na<sup>+</sup> trocável (cátion de efeito dispersante e desagregador do solo) floculando o colóide (SILVA, 1997).

Pereira et al. (1996) mostraram que a correção do solo com fosfogesso, numa região do Nordeste, aumentou a produtividade da cultura do arroz em 40% (SILVA, 1997). Ensaio de campo conduzidos em áreas de cerrado, em vários estados, no cultivo de milho, soja, arroz e trigo, mostraram incrementos na produtividade de 17-150%, 16-30%, 26-69% e 57 a 87%, respectivamente (SOUSA et al., 2004).

Segundo dados da EMBRAPA, no período de 1999 a 2001, mais de 859 mil hectares foram beneficiados com gessagem, o que corresponde a 8,6% da área cultivada com milho, soja e café. Nesse período o uso dessa tecnologia gerou um benefício bruto acumulado para o produtor de, aproximadamente, 231,5 milhões de reais.

O uso de gesso agrícola em reflorestamentos também é um campo muito promissor dado que eles se desenvolvem, habitualmente, em "áreas com solos de fertilidade extremamente baixa e muitas vezes com distribuição irregular de chuvas. Nes-

tas condições as árvores podem apresentar deficiências nutricionais, entre elas as de cálcio e de enxofre, causando seca de ponteiro e má formação de cerne” (KOMORI, 2006). Desenvolvendo-se o sistema em profundidade, proporciona-se maior volume de solo para exploração de água e de nutrientes.

Não dispomos de dados comparativos de gessagens realizadas com gesso natural e com fosfogesso. Os macronutrientes (cálcio e enxofre) são os mesmos em ambos os materiais, mas há uma diferença sensível em relação aos micronutrientes, nomeadamente terras-raras e radio-nuclídeos. Há diferenças de composição quanto a elementos menores, entre gesso natural e fosfogesso, o que é natural dado que, a gipsita é um material de origem sedimentar, enquanto o fosfogesso resulta de um tratamento químico de minérios apatíticos de origem ígnea, como é o caso, entre outros, dos principais minérios brasileiros, dos sul-africanos de Phalaborwa<sup>5</sup>, dos da península de Kola na CEI e da Finlândia.

A aplicação de gesso no solo, como fonte de enxofre, deve levar em consideração que alguns fertilizantes já o contêm nas suas formulações: fosfato super simples, 12%; sulfato de amônio, 24%; FosMag, 11%. Outros produtos menos solúveis, como o fosfato natural parcialmente acidulado, podem conter 6% de enxofre.

O uso de fosfogesso sofre fortes restrições nos EUA devido à sua ligeira radioatividade. Pesquisas desenvolvidas pelo FIPR (*Florida Institute of Phosphate Research*) indicam contudo que “*it would be more environmentally sound to use the subproduct than stack it*”.<sup>6</sup>

Lembra-se, a propósito, o que Denis Huisman e André Vergez referem no seu livro *Introdução à Filosofia das Ciências*: “O fato, em si mesmo, não tem interesse a título de dado singular da observação. O fato apenas extrai seu significado de um contexto de idéias” (HUISSMAN e VERGEZ, 1983). Nos EUA, no âmbito do fosfogesso, as idéias não têm sido suficientes (por impossibilidade/limitações técnico-econômicas?) para mobilizar ações que

tornem viável um mais completo e melhor aproveitamento do fosfogesso que, como rejeito, cria problemas ambientais difíceis de resolver, mas que, como subproduto, tem um vasto campo de aplicações.

No Seminário Internacional sobre Usos do Fosfogesso, que decorreu nos dias 21 e 22 de agosto de 2006, em Belo Horizonte, o Presidente da *Dr. Phosphate Inc.*, Florida - USA, no âmbito da questão *How can we use up that much PG?*<sup>7</sup>, indicou, apoiado em dados reais, sobre a possibilidade e interesse da aplicação do fosfogesso na agricultura que: (ASTLEY e HILTON, 2006):

- mostra-se benéfico (*beneficial*) em mais de 50 culturas (é um fato);
- as taxas de aplicação típicas são de 100-200 kg/ha, mas em alguns casos podem ultrapassar 1.000 kg/ha (conhecimento adquirido);
- considerando que a área agrícola do mundo é superior a 4,5 bilhões de hectares pode-se deduzir/especular que, com uma aplicação de 0,1 t/ha/ano, seriam consumidas 450 Mt/ano (note-se que a produção mundial de fosfogesso é de 160 Mt/ano);
- sendo a área de pastagem mundial de 3.490 Mha, seria necessária apenas 45% dela para consumir toda a produção anual de fosfogesso, com uma razão de aplicação de 0,1 t/ha/ano (a produtividade aumentaria 20%).

No Brasil, atualmente, já é aproveitado mais de 45% do fosfogesso gerado pela indústria de ácido fosfórico (4 - 5 Mt/ano), principalmente na agricultura, como fertilizante/corretivo de solos (cerca de 1,7 Mt/ano), e na indústria do cimento (0,7 Mt/ano, aproximadamente).

## 2. Fosfogesso e outros gessos residuais

Há várias indústrias que geram sulfato de cálcio residual – gessos residuais, como pode ser visto na Tabela 3.1.

Entre os vários sulfatos residuais destaca-se o fosfogesso pela amplitude de sua produção e pelos problemas que causa a sua disposição.

**Tabela 2.1** – Origem e nomenclatura de sulfatos residuais

Processos Industriais de Produção	Nome Genérico
Ácido fosfórico Ácido fluorídrico Ácido bórico	Fosfogesso, fosfohemidrato, fosfoanidrita Fluorogesso, Fluoranidrita Borogesso, borohemidrato
Ácidos orgânicos: fórmico, cítrico e tartárico	Organogessos: citrogesso, formogesso e tartarogesso
Cloreto de sódio	Salgesso
Tratamento de resíduos industriais	Nome Genérico
Neutralização de ácidos Neutralização de efluentes líquidos da produção de dióxido de titânio Produção de soda Neutralização de gases de combustão contendo dióxido de enxofre	Gesso de neutralização de resíduos ácidos ou wan gesso Titanogesso Sodogesso Sulfitogesso

Não foram encontradas referências à produção, no Brasil, de gessos industriais além do fosfogesso, citrogesso e fluorgesso.

O fosfogesso, como qualquer outro gesso, “é uma fonte quase ideal de cálcio e enxofre, na agricultura” (TRAXLER, 1996).

### 2.1. Fosfogesso

O gesso residual mais produzido no mundo é o *fosfogesso*, subproduto obtido durante a produção do ácido fosfórico. Sua fórmula química ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) é idêntica à do gesso natural e contém impurezas, como fósforo em forma de íons  $\text{HPO}_4^-$  em sua composição. No Brasil, a produção de cada tonelada de ácido ortofosfórico (expressa em  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) gera 4 a 5 toneladas de fosfogesso. Anualmente são produzidas cerca de 5.000.000 t/ano (Tabela 3.2).

**Tabela 2.2** - Estimativa de produção e vendas de fosfogesso no Brasil, em toneladas/ano x  $10^6$

Prod. Anual	Vendas	Aplicações			
		Cimento	%	Agricult.	%
5	2 a 2,5	0,5 a 0,7	25 a 28	1,5 a 1,8	72 a 75

Fonte: Tomaz, 2006.

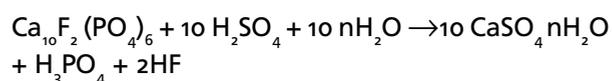
Verifica-se assim que há um excedente anual de cerca de 2,5 a 3 Mt/ano, que se acumula em volumosas pilhas, nas proximidades dos centros produtores de ácido fosfórico.

O fosfogesso é classificado pela Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN como: (i) “rejeito de baixo nível de radioatividade contendo radionuclídeos das séries naturais U-238 e Th-232; (ii) NORM (*Naturally Occurring Radioactive Material*)”.

Pesquisas desenvolvidas na Universidade Federal de Viçosa – UFV concluíram que “do ponto de vista radiológico não há restrição para o uso agrícola do fosfogesso” (SOUZA, 2005).

As rochas fosfáticas apresentam fraca solubilidade em água, portanto, baixa disponibilidade de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , mesmo quando finamente pulverizadas, o que limita seu uso direto como fonte de fósforo para a agricultura. Daí a necessidade de produção de ácido fosfórico que, reagindo com os concentrados fosfáticos e outros produtos químicos, dá origem a fertilizantes como o superfosfato triplo - TSP, os fosfatos monoamônico - MAP e diamônico - DAP (Figura 3.1).

A indústria dos fertilizantes segue exclusivamente, na quase totalidade dos países, incluindo o Brasil, a rota sulfúrica na produção de ácido fosfórico (LAPIDO-LOUREIRO e MELAMED, 2006). Neste processo, a rocha ou o concentrado fosfático (apatítico) são atacados por ácido sulfúrico, resultando uma fase líquida, o ácido fosfórico, mais corretamente, ortofosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) e outra sólida, o fosfogesso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ).



$n = 0 - 0,5 - \text{ou } 2$ , dependendo do grau de hidratação dos cristais de sulfato de cálcio.

Assim, em função da temperatura usada na produção de ácido fosfórico, o sulfato de cálcio (fosfogesso) pode apresentar-se, ou como dihidrato ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), ou hemihidrato ( $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ ). O hemihidrato, na presença de água, converte-se rapidamente em dihidrato. O fosfogesso, separado por filtração, é bombeado, na forma de suspensão (5 a 20% de sólidos) e sedimentado em lagoas ou depositado em pilhas (Figura 1.3).

A água contida no fosfogesso, que pode retornar ao circuito da usina (Figura 3.1), apresenta um pH da ordem de 1, como é citado por Wissa (2005) referindo-se ao fosfogesso da Flórida, EUA.

Estima-se que, no mundo, são produzidas, anualmente, mais de 22 Mt de ácido fosfórico (expressas em  $\text{P}_2\text{O}_5$  contido) gerando cerca de 110 Mt de fosfogesso (WISSA, 2005). Só na Flórida Central, EUA, uma das áreas de maior produção no país, a indústria gera cerca de 32 Mt de fosfogesso por ano. Dados da USEPA revelam que, em 1989, existiam nos EUA, 21 usinas produzindo ácido fosfórico,

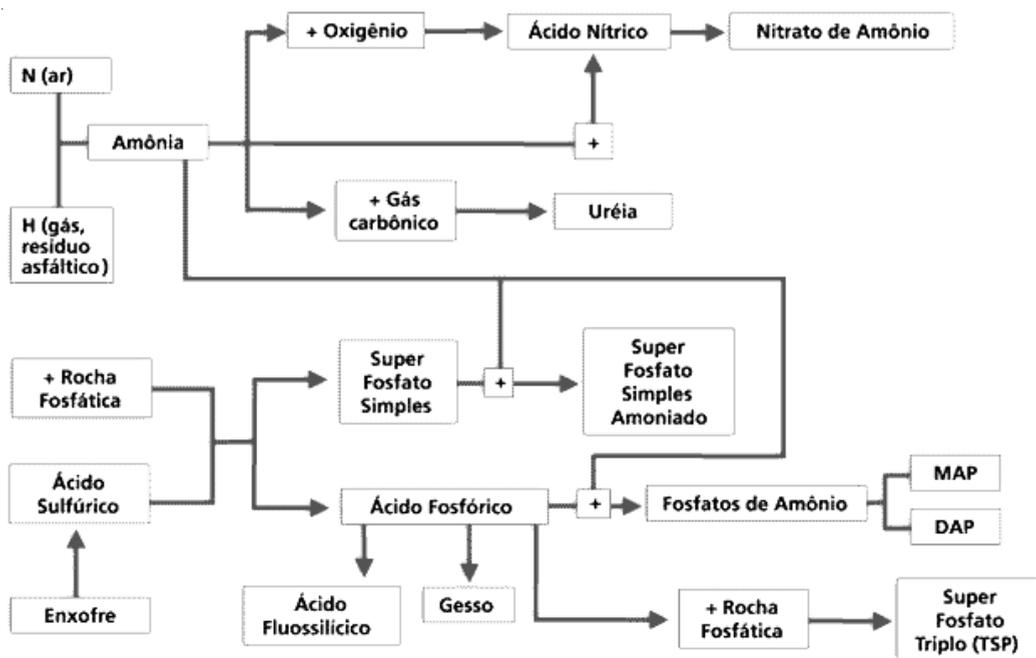
localizadas principalmente no sudeste do país, sobretudo na Flórida (EPA, 2006).

Nos EUA o principal uso do fosfogesso é na agricultura (1-2% do fosfogesso gerado). O seu uso na construção civil está banido devido à exalação de radônio (FERNANDES, RIO e FRANKLIN, 2004).

Verificam-se diferenças composicionais sensíveis entre os concentrados fosfáticos de origem ígnea e os de origem sedimentar, no que diz respeito ao cádmio, elemento contaminante/penalizador, e às terras-raras, que poderão atuar como micronutrientes nos agrossistemas<sup>8</sup>.

Há diferenças de composição nos concentrados fosfáticos, principalmente em elementos menores, conforme são obtidos de minérios de origem ígnea ou sedimentar que irão refletir-se na composição do fosfogesso deles resultante (Tabela 3.3).

Na Tabela 3.4 indicam-se os fatores de enriquecimento do fosfogesso em relação aos dois tipos de minérios, sedimentares e ígneos, utilizados na produção de ácido fosfórico.



Fonte: Fوسفertil.

**Figura 2.1** - Esquema do circuito de produção de ácidos sulfúrico e fosfórico, gesso e fertilizantes nitrogenados e fosfatados.

**Tabela 2.3** - Limites aproximados de composição de concentrados fosfáticos de origem sedimentar e ígnea

Elementos & Radioatividade	Origem Sedimentar	Origem Ígnea
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	30 – 37	35 – 40
CaO (%)	46 – 52	48 – 54
F (%)	3 - 4	1 - 4
As (ppm)	10 – 20	1 – 10
Cd (ppm)	5 – 50	0 – 2
Hg (ppm)	< 0,2	0,1
Pb-Zn- Cu-Ni- Cr (ppm)	200 – 800	50 – 150
TR (ppm)	100 – 900	1400 – 6300
Radioatividade (Bq/kg, Ra-226)	700 -1400	10 - 110

Fonte: Tomaz, 2006.

**Tabela 2.4** – Fator de enriquecimento do fosfogesso em relação ao minério original.

Elemento	Fosfatos Sedimentares	Fosfatos Ígneos
As	2	67,4*
Cd	69,3	7,5
Cr	1,3	(3,7)
Hg	1,0	(1,3)
Pb	(2,4)	(1,3)
Se	8,0	76**
U	30,0	22,1
V	1,0	(2,7)

\* Influenciado pela análise de fosfatos subproduto de minérios de ferro da Suécia, atualmente não comercializados.

\*\* Com base num número de análises (5) muito pequeno.

Fonte: Kauwenberg e IFDC, 1997.

A composição do fosfogesso varia não só em função do tipo de minério, mas também do processo usado na produção do ácido fosfórico. Relacionasse, por ordem crescente do grau de pureza do fosfogesso, os cinco processos utilizados na produção industrial de ácido fosfórico (SMITH, 2006):

HH - Hemihidrato, estágio simples

DH - Dihidrato

HRC - Hemi - Recristalização

HDH - Hemihidrato/Dihidrato

DH-HH - Dihidrato/Hemihidrato

Não são processos, mas grupos de processos, com as mesmas etapas (*groups of processes with the same processes steps*). A principal diferença entre eles é o grau de hidratação do gesso (SMITH, 2006).

O fosfogesso obtido pelo processo HH - estágio simples apresenta elevado grau de impurezas. A baixa eficiência do processo significa que o teor de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e a perda de água solúvel são altos, bem como os de fluorina e de alumínio.

O fosfogesso produzido na Coreia pelo processo DH - dihidrato / *clean up* (processo Nissan "C") é exportado para o Japão. Passou a ser, portanto, um subproduto da indústria de produção do ácido fosfórico e até exportado para outro país.

### 2.1.1. Fontes, Produção e Composição Química do Fosfogesso no Brasil

São cinco as unidades de produção de ácido fosfórico / fosfogesso no Brasil (Tabela 3.5 e Figuras 3.2 a 3.4):

— Uberaba (MG) – Fosfertil;

— Cubatão (SP) – Ultrafertil (1) e Copebras (1);

— Jacupiranga / Cajati (SP) - Bunge;

— Catalão/Ouvidor (GO) – Copebras.

Embora trabalhos de pesquisa tenham revelado vários usos potenciais, o fosfogesso continua a ser muito pouco aproveitado no mundo. Estudos desenvolvidos nos Estados Unidos pelo FIPR (*Florida Institute of Phosphate Resources*) mostraram que, ambientalmente, seria mais correto usá-lo em certas aplicações específicas do que empilhá-lo. A agricultura e a construção civil seriam as mais importantes.

A qualidade do fosfogesso produzido influencia seu tipo de uso. São dois os principais fatores que definem a qualidade do fosfogesso: o minério utilizado como matéria prima e o processo a que se recorreu na produção do ácido fosfórico.

**Tabela 2.5 – Produção de ácido fosfórico no Brasil.**

Produtores	Localização	Processo	Produção t/ano (a)	Origem do Minério
Fosfertil	Uberaba (MG)	DH (b)	675.500	Tapira (90%) Catalão (10%)
Ultrafertil	Cubatão (SP)	DH (c)	120.000	Catalão
Copebras	Cubatão (SP)	DH & HH (d)	270.000 (Cubatão/Catalão)	Calão/Ouvidor
Copebras	Catalão/Ouvidor (GO)	DH (d)	270.000 (Catalão/Cubatão)	Catalão/Ouvidor
Bunge	Cajati (SP)	HH & HDH (e)	200.000	Jacupiranga/Cajati

(a) Três plantas produzindo, cada uma, 667 t/dia; (b) Rhône-Poulenc (Technip); (c) Dorr-Oliver; (d) Adaptação do processo Nissan C – filtro EIMC para HH e UCEGO #7 para DH; (e) Yara modificado.

**Figura 2.2 – Mapa de localização dos das indústrias produtoras de ácido fosfórico/fosfogesso**



Fonte: Tomaz, 2006.



Figura 2.3 – Dois aspectos do complexo industrial da Bunge em Cajati / Jacupiranga – SP



Fonte: Fosfertil.

Figura 2.4 - Vista panorâmica do complexo industrial da Fosfertil em Uberaba (MG), em primeiro plano, e da extensa área ocupada pelo sistema de disposição do fosfogesso.

No Brasil, a produção e vendas declaradas de ácido fosfórico, em 2004, foram de 1.093.718 e 1.084.432 toneladas, respectivamente. As importações totalizaram, no mesmo ano, 439.195 toneladas, no valor de US\$ 78 milhões (FOB) (ABIQUIM, 2005).

Sabe-se, por outro lado, que a produção de ácido fosfórico pela rota sulfúrica, gera de 4 a 5 toneladas de fosfogesso por cada tonelada de  $P_2O_5$  contida no ácido fosfórico. Como no Brasil são produzidas anualmente mais de 1 milhão de toneladas de ácido fosfórico, expresso em  $P_2O_5$  (1.093.718 em 2004, segundo o DNPM), conclui-se que são empilhadas, ao ar livre, cerca de 4 a 5 Mt/ano de fosfogesso por ano (Figura 2.4).

A composição do fosfogesso é variável. De acordo com Silva (1997), citando Paulinelli *et al.* (1986), Malavolta (1992) e Petrobras (1992), a composição, em percentagem, é a seguinte:

Umidade livre	15,00	a	17,00
Cálcio (CaO)	25,00	a	30,90
Enxofre (S)	14,00	a	17,00
Fósforo ( $P_2O_5$ )	0,60	a	0,75
Insolúveis ( $SiO_2$ )	1,26	a	3,20
Fluoretos	0,63	---	
$R_2O_3$ ( $Al_2O_3 + Fe_2O_3$ )	0,37	---	

A composição provável expressa nos seus componentes é (MALAVOLTA, 1992):

$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	– 96,5%
$CaHPO_4 \cdot 2H_2O$	– 0,31%
$[Ca(PO_4)_2]_3 \cdot CaF_2$	– 0,25%

Freitas (1992) apresentou análises típicas de fosfogesso, base seca, obtidas a partir de minérios de Tapira (MG), Araxá (MG), Catalão (GO) e Flórida (EUA) (Tabela 2.7)

Felfoul *et al.* (2002) apresentam a composição do fosfogesso proveniente de minério típico, sedimentar da Tunísia (Tabela 2.8).

Análises espectrográficas de diversas amostras de fosfogesso foram apresentadas por A. May & W. Sweeney (MALAVOLTA, 1992). Estas análises indicam a presença de micronutrientes (B, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Na e Zn) e de elementos tóxicos (Al, As, Cd e outros) (Tabela 2.9).

**Tabela 2.6** - Análises de fosfogessos (%) - Base seca.

Componentes	Tapira (Fosfertil)	Araxá (ICC)	Catalão (Ultrafertil)	Flórida
CaO	31,96	30,28	31,71	32,50
SO <sub>3</sub>	44,00	40,50	44,89	44,00
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,78	1,26	0,56	0,65
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,17	0,59	0,35	0,10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,04	0,17	0,12	0,10
SiO <sub>2</sub>	1,58	0,34	0,92	0,50
TiO <sub>2</sub>	0,13	0,08	0,38	---
BaO	---	---	0,10	---
K <sub>2</sub> O	0,03	---	---	---
MgO	---	0,09	0,01	0,10
Na <sub>2</sub> O	0,05	---	0,06	---
F	0,26	0,58	0,57	1,20
Cd	4,1 ppm	0,8 ppm	5,3 ppm	---
Pb	15,0 ppm	33,2 ppm	45,0 ppm	---
Hg	0,105 ppm	ND	0,195 ppm	---

Fonte: Freitas, 1992.

**Tabela 2.7** - Análises de fosfogessos produzidos no pólo industrial da Fosfertil em Uberaba.

Análise	Valores típicos	Garantia Fosfertil
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	0,50 - 1,0	---
F (%)	< 0,10	---
SiO <sub>2</sub> (%)	<2,0	---
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	<0,10	---
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	<0,30	---
S (%)	14,0 - 17,0	14,0% mínimo
Ca (%)	18,0 - 22,0	17,0% mínimo
CaSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	<95	---
PH	2,0 - 3,0	---
% Acidez fosfórica <sup>(*)</sup>	10,0 - 20,0	---
% Umidade	15,0 - 30,0	---
Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	1.300 - 1.400	---

**Tabela 2.8** - Composição química de fosfogesso dihidratado resultante de minério de origem sedimentar da Tunísia.

Elemento	(%)
CaO	32,50
SO <sub>3</sub>	44,00
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,65
F	1,20
SiO <sub>2</sub>	0,50
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,10
MgO	0,10
H <sub>2</sub> O	19,00

**Tabela 2.9** - Resultados de análises de espectrografia de emissão de amostras de fosfogesso.

Elemento	Nº de amostras	Teor médio (ppm)
Al	110	1360
Sb	10	111
As	37	42
Ba	8	7
Bi	6	1
B	37	3
Be	1	1
Cd	1	7
Co	33	2
Cu	106	8
Fe	110	670
Pb	6	1
Mg	110	1220
Mn	72	15
Mo	13	16
Ni	57	2
Pt	5	1
K	56	11
Rh	23	11
Ag	6	1
Na	91	252
Sr	79	10
Ta	5	2
Sn	13	4
Ti	110	4020
W	9	29
V	110	19
Y	9	2
Zn	50	9
Zr	12	10

Fonte: Malavolta, 1992.

### 2.1.2. Produtos e suas especificações

A Empresa Agronelli, que comercializa gesso agrícola e outros produtos em todo o Brasil, tem pontos de fornecimento em Uberaba (MG) e Cubatão (SP). Em 1990 firmou um contrato de exclusividade com a empresa Fosfertil, “visando o fomento e comercialização do Gesso Agrícola para todo o Brasil”.

Os produtos comerciais da Agronelli e respectivas garantias são as seguintes:

- gesso agrícola – Ca (17%), S (14%);
- gesso agrícola granulado – Ca (18%), S (15%);
- agrosilício GR (Silicato de Ca e Mg) – Ca (20%), MgO (5%), SiO<sub>2</sub> (10%);
- agrosilício pó (Silicato Ca e Mg) – Ca (36%), MgO (9%), SiO<sub>2</sub> (23%);
- fosfato precipitado (Fonte de P e Ca) – fósforo solúvel em CNA+água (3% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>); Fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) total (7%); Ca total (20%);
- fosfato decantado (Fonte de fósforo bicálcico) - fósforo solúvel em CNA+água (9% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>); fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) total (14%); Ca total (12%).

Outra empresa, a Engessul Indústria e Comércio produz os seguintes produtos a partir de fosfogesso:

- gesso agrícola Engessul – pó claro e fino, fornecido a granel, contendo, no mínimo, 14% de enxofre (S) e 20% de cálcio (Ca), além de 1% de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), densidade aparente de 1,17 g/cm<sup>3</sup>, umidade livre máxima de 15%, perda ao fogo de 20,5%, pH 5,06 e com as características químicas e granulométricas que se indicam nas Tabelas 2.10 e 2.11.
- sulfacal – pó claro, fino e seco, contendo, no mínimo 14% de enxofre (S) e 22% de cálcio (Ca). É obtido a partir do beneficiamento do gesso agrícola Engessul (secagem e peneiramento) e embalado em sacos de plástico de 25 kg.

**Tabela 2.10** - Composição química de amostra de gesso agrícola Engessul.

Componentes	Teores (%)
Fósforo total (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0,92
CaO	29,3
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,66
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,44
MgO	0,010
Enxofre total	15,55
SiO <sub>2</sub>	0,94
Sulfatos (SO <sub>4</sub> )	46,58
PbO	0,008
CdO	0,001
CuO	0,0006
ZnO	0,003
Na <sub>2</sub> O	0,67
K <sub>2</sub> O	0,047
As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,027
Insolúveis em ácido (HCl)	2,02
Umidade a 105°C	6,54
Cálcio	21,0
Flúor (F)	0,0024
TiO <sub>2</sub>	0,0073
Sulfato de cálcio	90,2
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	N.D.

Fonte: UNISUL/CENTEC.

**Tabela 2.11** - Granulometria de amostra de gesso agrícola Engessul

#	# (mm)	(g)	% Retida	% Acumul.
16	1,2	18,98	3,707	3,707
30	0,6	29,84	5,828	9,535
40	0,42	15,08	2,946	12,481
50	0,30	8,90	1,738	14,219
80	0,18	20,87	4,076	18,295
100	0,15	4,06	0,793	19,088
200	0,074	81,38	15,896	34,984
	Fundo	332,86	65,016	100,000
	Total	511,97	100,000	212,309

Fonte: UNISUL/CENTEC.

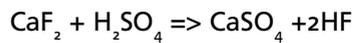
### 2.1.3. Aplicação do fosfogesso no Brasil

No Brasil, cerca de metade do fosfogesso rejeitado na produção do ácido fosfórico (2 a 2,5 Mt) é aproveitado: i) na agricultura como fertilizante e moderador dos solos ácidos (1,5 a 1,8 Mt); ii) na indústria do cimento (0,5 a 0,7 Mt).

Outras aplicações, como na pavimentação de estradas, não são quantitativamente significativas.

## 2.2. Fluorgesso

O fluorgesso é um gesso químico, co-produto da produção de ácido fluorídrico a partir do mineral fluorita, como representado na equação a seguir.



É utilizado da indústria cimenteira como condicionador de cimento Portland.

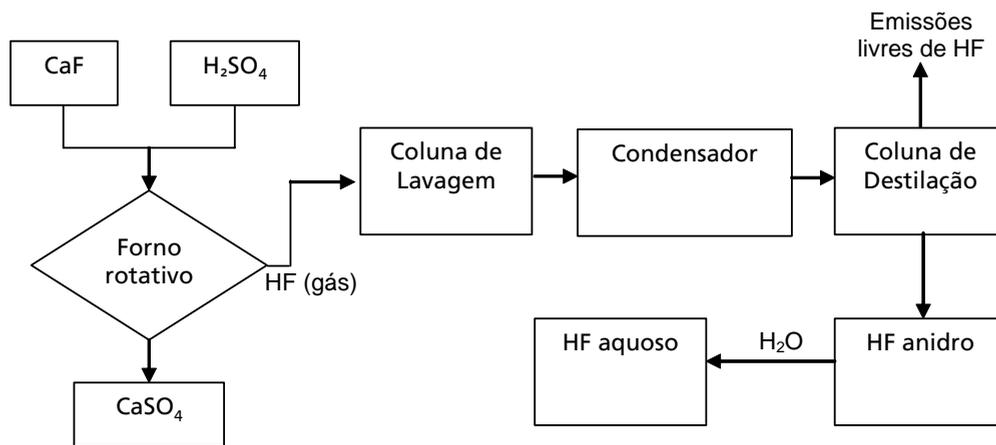
A fase mineral de maior proporção no fluorgesso é a anidrita e sua composição química típica é apresentada na Tabela 2.12 (YAN e YOU, 1997).

O processo de produção é esquematizado na Figura 2.5.

**Tabela 2.12** – Composição química do fluorgesso em percentual de óxidos.

Óxidos	Fluorgesso
CaO	42,53
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,38
SiO <sub>2</sub>	1,29
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,27
MgO	0,09
SO <sub>3</sub>	46,42
R <sub>2</sub> O	---
CaF	4,35
LOI	1,54

A fluorita (CaF<sub>2</sub>) é misturada em forno rotatório com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> gerando gás (HF). O ácido produzido é lavado e condensado para produzir HF anidro. Após adição de água no processo, forma-se HF aquoso que é o produto final.



Fonte: *British Geological Survey, 2005.*

**Figura 2.5** – Fluxograma simplificado do processo de fabricação de ácido fluorídrico a partir de concentrado de fluorita com geração de sulfato de cálcio (fluorgesso).

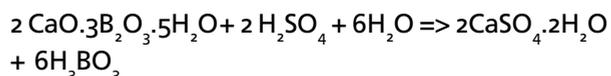
A produção brasileira de ácido fluorídrico, em 2004, foi de 12.424 toneladas (ABIQUIM, 2005).

### 2.3. Borogesso

O boro ocorre na natureza na forma de boratos. O bórax (tincal),  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ , e a colemanita,  $2\text{CaO} \cdot 3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , são os principais minerais.

As maiores reservas mundiais encontram-se a oeste da Turquia. São utilizadas na produção do ácido bórico, produto muito procurado pela indústria.

O ácido bórico é produzido na Europa, principalmente na Turquia, e é obtido pelo ataque sulfúrico do minério seguindo a reação (Çakal *et al.*, 2006):



O Anuário da Indústria Química Brasileira – ABIQUIM não faz referência à produção de ácido bórico no Brasil.

O borogesso é o resíduo sólido resultante da filtração na produção de ácido bórico a partir da colemanita. Sua composição típica é dada na Tabela 2.13.

O borogesso é utilizado principalmente como aditivo na fabricação do cimento Portland, dando ao produto algumas características específicas.

Tabela 2.13 – Composição típica do Borogesso.

Óxidos	% em peso
SiO <sub>2</sub>	4,57
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,28
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,38
CaO	27,75
MgO	1,45
SO <sub>3</sub>	37,79
Na <sub>2</sub> O	---
K <sub>2</sub> O	0,73
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,30
Perda ao fogo	20,62
CaO livre	---

Fonte: Kavaz *et al.*, 2005.

### 2.4. Citrogesso

O ácido cítrico é obtido, na indústria, por fermentação da sacarose realizada por um microrganismo - *Aspergillus niger*.

A sacarose, escolhida de acordo com as exigências da biossíntese, é diluída e então são adicionados ferrocianeto de potássio e oxalato de amônia, para precipitar cátions indesejáveis. Depois, a mistura é esterelizada e ajusta-se o pH entre 6,8 e 7.

É nos fermentadores de germinação que se realiza o crescimento e ativação do fungo, mediante a inoculação dos esporos e o fornecimento de ar estéril num meio de concentração adequada, ao qual são adicionados os sais nutrientes.

Dos fermentadores de germinação, o líquido é enviado aos fermentadores principais, onde se realiza a produção do ácido cítrico, por meio de um processo aeróbico com alimentação incrementada.

Terminada a fermentação, que dura 7 a 8 dias, separa-se o fungo, e o ácido cítrico é então precipitado como citrato tricálcico.

A suspensão do citrato é concentrada e posteriormente decompõe-se com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> para formar ácido cítrico e o precipitado de CaSO<sub>4</sub> (citrogesso). O ácido cítrico, então, passa pelas etapas de purificação em carvão ativado e depois é cristalizado e centrifugado.

De acordo com Ozkul (2000), uma amostra de citrogesso obtida em uma fábrica de ácido cítrico em Izmit, na Turquia, tem a seguinte composição química típica (Tabela 2.14).

Tabela 2.14 – Composição de citrogesso de Izmit, Turquia.

Elementos	% em peso
SiO <sub>2</sub>	0,44
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,11
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,06
CaO	32,42
MgO	0,07
SO <sub>3</sub>	45,81
Perda ao fogo	21,30

Para cada 5 mil toneladas de ácido cítrico produzidas são geradas, como rejeito, 8 mil toneladas de gesso (citrogesso) (Gonzalez *et al.*, 1999).

Em 2004, foram produzidas, no Brasil, 56.212 toneladas de ácido cítrico (Tabela 3.15). As empresas produtoras foram a Cargill (MG) e a Tate & Lyle (SP), ambas com uma capacidade instalada, em 2004, de 30.000 toneladas.

A produção de ácido cítrico de 2004 indica que foram geradas cerca de 90 mil toneladas de citrogesso naquele ano. A Tabela 2.15 mostra que, em 3 anos, houve um crescimento de 12,6%, no total de vendas, e de 14,3%, nas vendas internas.

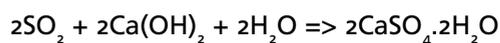
**Tabela 2.15** – Produção e vendas declaradas de ácido cítrico no Brasil.

Ano	Produção	Vendas Internas	Vendas externas
2002	49.921	33.179,2	18.240,8
2003	51.201	35.246,1	16.648,9
2004	56.212	37.911,9	18.534,1

Fonte: ABIQUIM, 2005.

### 2.5. Dessulfogesso

O dessulfogesso é o rejeito do processo de dessulfurização utilizado com frequência nas plantas de queima do carvão. Resulta da absorção do dióxido de enxofre (e também dos óxidos de nitrogênio) por uma suspensão aquosa de hidróxido de cálcio ('leite de cal'), segundo a reação:



Em países fortemente industrializados, como EUA, Alemanha, Grã-Bretanha, China e Japão, em que a energia térmica não nuclear tem grande peso na matriz energética, esta é (ou deveria ser) uma prática comum por razões ambientais.

Uma composição típica, citada por Ozkul (2000), referente a uma amostra de dessulfogesso originária da usina Cayirham, próximo a Ankara na Turquia, é apresentada (Tabela 2.16):

**Tabela 2.16** – Composição de uma amostra de dessulfogesso de Czirham, Turquia.

Elementos	% em peso
SiO <sub>2</sub>	2,03
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,52
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,21
CaO	31,91
MgO	0,42
SO <sub>3</sub>	43,13
Perda ao fogo	20,88

### 3. Considerações finais

Na sua Introdução à Filosofia das Ciências, Huissman e Vergez (1983) referem que a história do progresso científico é a dramática história das vitórias conseguidas sobre a contradição. Uma verdade científica é uma contradição resolvida. As relações entre a teoria e a experiência são de ordem dialética<sup>9</sup>.

Há contradição entre os objetivos da produção de fósforo fertilizante, elemento indispensável à vida, porque entra na composição do núcleo das células, e os passivos ambientais que são criados pelos bilhões de toneladas de fosfogesso, depositadas como rejeitos, acrescidas anualmente de muitas dezenas de milhões de toneladas, que se acumulam em imensas pilhas ou são lançadas ao mar, como no caso da indústria marroquina de ácido fosfórico.

É uma contradição ainda não resolvida, mas que pode e deve sê-lo: o nutriente fósforo, embora seja fonte de vida, tem um processo de obtenção que gera passivo ambiental, devido aos rejeitos pouco aproveitados de sua produção industrial. Cabe aos pesquisadores e técnicos encontrarem caminhos e desenvolverem tecnologias que permitam transformar o fosfogesso de rejeito em subproduto, como já acontece, e de forma significativa, no Brasil, onde cerca de 50% do fosfogesso gerado é aproveitado, e na Coreia, que o exporta para o Japão.

Como foi referido, a produção nacional de fosfogesso gerado pela indústria do ácido fosfórico é da ordem de 4-5 Mt/ano e a de gipsita foi de 1,490 Mt, em 2005. Daquele total já são aproveitados cerca de 2 a 2,5 Mt/ano, das quais aproximadamente 1,7 Mt na agricultura, como fonte de macronutrientes S e Ca e como condicionador de solos, e 0,7 Mt direcionadas para a indústria do cimento.

O fosfogesso é, em âmbito mundial e em termos de tonelagem produzida, o mais importante dos gessos residuais. Porém, com as atuais preocupações ambientais que implicam a redução de gases de efeito estufa, as quantidades de gesso ( $\text{CaSO}_4$ ) gerados no tratamento de efluentes industriais poderão crescer intensamente. A sua pulverização geográfica poderá vir a significar redução de custos de transporte.

No Brasil, por exemplo, a produção de ácido cítrico gera cerca de 90 mil toneladas de gesso (citrogesso) nos estados de Minas Gerais e São Paulo. Pela proximidade, é utilizado na indústria do cimento.

Embora se considerem a indústria de produção de ácido fosfórico da Flórida e o FIPR (*Flórida Institute of Phosphate Research*) e as diretrizes da EPA (*Environmental Protection Agency*) como referenciais, pela experiência e conhecimentos técnicos adquiridos, suas idéias, princípios de atuação e recomendações não devem ser extrapolados levemente para outras regiões e absorvidos cegamente por outros países como é o caso, por exemplo, do fosfogesso brasileiro, gerado a partir de minérios com características químico-mineralógicas distintas dos minérios sedimentares da Flórida. Diferentes são, também, solo e clima.

Competirá aos centros de pesquisa e universidade, com apoio das empresas e do governo, e às próprias companhias produtoras de ácido fosfórico desenvolverem trabalhos de pesquisa sistemáticos para se ampliar a aplicação do fosfogesso na agricultura.

### 3.1. Gesso natural (gipsita)

A produção de gipsita desenvolve-se predominantemente no Nordeste e destina-se, em grande parte, à produção de materiais para a construção civil, mas a sua aplicação na agricultura cresce em ritmo acelerado.

Embora existam jazidas de gipsita em nove estados do Brasil, apenas três deles concentram cerca de 96,9% do total das reservas (medidas + indicadas), que são da ordem de 1.417 milhões de toneladas: Bahia (42,4%), Pará (27,8%) e Pernambuco (26,8%). As que apresentam melhores condições de aproveitamento econômico (relação estéril/minério e infra-estrutura) são as de Pernambuco.

Além do grande pólo gesseiro de Araripe (PE), direcionado essencialmente para a produção de gesso industrial, no Maranhão, município de Grajaú, são produzidos não só gesso agrícola e sulfato de cálcio para nutrição de gado, mas também gesso para revestimento, placas, gesso para fundição e blocos divisórios.

### 3.2. Gessos residuais

O gesso residual mais produzido no mundo, inclusive no Brasil, é o fosfogesso, subproduto da produção de ácido fosfórico pela rota sulfúrica. Não se dispõe de dados precisos da cadeia de produção/comercialização/aplicação do fosfogesso no País. Não foram encontrados dados quantitativos de produção de citrogesso nem de fluorgesso, nem tão poucas informações sobre os volumes e características tecnológicas dos gessos residuais produzidos na dessulfurização de gases ou no tratamento de efluentes residuais gerados pela indústria. O mapeamento, avaliação de produção e caracterização tecnológica desses gessos residuais apresenta-se assim como tarefa urgente a ser realizada.

Quanto ao problema da radioatividade, principal obstáculo para maior aproveitamento do fosfogesso nos EUA, não é fator impeditivo no Brasil, dado que:

- a Agência Internacional de Energia Atômica – AIEA começou a recomendar, a partir de 1996, o valor máximo de 10  $\mu\text{Sv/a}$  para que uma dada prática seja isenta de controle radiológico;
- a Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN, órgão regulatório brasileiro, estabelece como limite máximo 1  $\mu\text{Sv/a}$ , autorizando, sem restrições, até 0,3  $\mu\text{Sv/a}$ ;
- a dose encontrada no fosfogesso brasileiro é da ordem de 1  $\mu\text{Sv/a}$ , o que significa que o valor autorizado é 300 vezes superior ao valor encontrado no material estudado. Portanto, “do ponto de vista radiológico, não há restrição para o uso agrícola do fosfogesso”, como ficou comprovado em pesquisas realizadas na Universidade Federal de Viçosa (SOUZA, 2005);
- os valores estimados da ‘dose efetiva individual’, devido à ingestão de qualquer dos produtos agrícolas estudados, são inferiores ao limite estabelecido internacionalmente para isenção de controle por parte dos órgãos competentes, mesmo para a situação mais crítica de aplicações anuais sucessivas por 100 anos (SILVA, 1997)<sup>10</sup>;
- a literatura disponível demonstra, desde já, que o fosfogesso não representa qualquer perigo potencial para a saúde humana, direta ou indiretamente (MALAVOLTA, 1992)<sup>11</sup> e que, do ponto de vista radiológico, não há restrição para o uso agrícola do fosfogesso, na agricultura (SOUZA, 2005)<sup>12</sup>. Porém, o parecer dos órgãos regulatórios estabeleceu que “há necessidade de estudos adicionais que demonstrem a sua viabilidade sob o ponto de vista tecnológico, econômico, social/ambiental, bem como em termos de saúde pública e ocupacional” (JACOMINO, 2006).

Talvez, por esta razão, ainda não exista, no Brasil, regulamentação específica, sob o ponto de vista radiológico, para o uso de fosfogesso na agricultura. Porém, como todos os indicadores mostram, seu uso “não representa qualquer perigo potenci-

al para a saúde humana, direta ou indiretamente” e, como as vantagens da sua aplicação no desenvolvimento agrícola e os benefícios socioeconômicos decorrentes da sua utilização são evidentes, não se vê porque a prática da gessagem com fosfogesso não continue a ampliar-se paralelamente com a de gipsita.

### 3.3. O gesso na agricultura

Trabalhos de pesquisadores brasileiros, das universidades, da EMBRAPA e das empresas produtoras de fertilizantes têm mostrado/confirmado que o gesso, como fonte de Ca e de S na agricultura, é um agente dinamizador de processos pedológicos, físico-químicos e microbianos, que podem melhorar as características/propriedades do solo. O uso do gesso mostra resultados muito positivos no melhoramento do ambiente radicular, principalmente em solos ácidos de baixa capacidade de troca de nutrientes e acentuada deficiência hídrica sazonal (solos do “cerrado”, por exemplo) e na correção de solos sódicos, como já foi referido.

Já foram comprovados efeitos benéficos em 50 cultivares, com taxas de aplicação de 100-200 kg/ha, sendo que, em certos casos, a quantidade ideal é de 1.000 kg/ha. Em pastagens, a aplicação de 0,1t/ha/ano aumenta o rendimento em 20%. A agricultura pode assim absorver não só todo o fosfogesso estocado como também o produzido (ASTLEY e HILTON, 2006).

Sob o ponto de vista químico-agronômico, o emprego de gesso é recomendável em duas situações: i) quando houver necessidade de fornecimento de Ca e S; ii) quando se imponha redução de concentrações tóxicas de Al trocável nas camadas subsuperficiais. Além destas aplicações, o gesso também é aplicado na diminuição da salinidade do solo ou do adubo e na redução das perdas de nitrogênio na fermentação do esterco.

O enxofre influencia o metabolismo vegetal, sendo suas principais funções: a formação de todas as proteínas e de algumas enzimas, a participação no desenvolvimento radicular e na fotossíntese, o aumento da produção de sementes e da nodulação das raízes das leguminosas (MALAVOLTA, 1976).

Do ponto de vista da nutrição vegetal, o gesso pode suprir a deficiência de cálcio e enxofre que não são fornecidos pelos 'adubos concentrados'. A eficácia tem sido atribuída à sua alta solubilidade se comparada à do calcário (cerca de 145 vezes maior) e à mobilidade dos seus componentes químicos no perfil do solo (ERNANI *et al.*, 1992)

Segundo dados da EMBRAPA, no período de 1999 a 2001, mais de 859 mil hectares foram beneficiados com gessagem, o que corresponde a 8,6% da área cultivada com milho, soja e café. Nesse período o uso dessa tecnologia gerou um benefício bruto acumulado para o produtor de, aproximadamente, R\$ 231,5 milhões.

O uso de gesso agrícola em reflorestamentos também é um campo muito promissor, dado que eles se desenvolvem habitualmente em "áreas com solos de fertilidade extremamente baixa e, muitas vezes, com distribuição irregular de chuvas. Nessas condições as árvores podem apresentar deficiências nutricionais, entre elas as de cálcio e de enxofre, causando seca de ponteiro e má formação de cerne" (KOMORI, 2006). Desenvolvendo-se o sistema em profundidade, proporciona-se maior volume de solo para exploração de água e de nutrientes.

### 3.4. Concluindo

Alguns pontos devem ser destacados e retidos:

- a produção anual de gesso *sensu lato* (gipsita e gessos residuais), no Brasil, já é significativa (gipsita, 1,5 Mt, fosfogesso, 4 a 5 Mt e citrogesso cerca de 90 mil toneladas), mas o seu aproveitamento na agricultura, como bem mineral (gipsita) ou como subproduto (gessos residuais), pode ser muito ampliado;
- os pólos geradores de fosfogesso, Uberaba (MG), Catalão (GO), Jacupiranga (SP) e Cubatão (SP), situam-se em regiões de grande atividade/ produção agropecuária e com boa infraestrutura de transporte;
- é no centro-sudeste que são gerados os maiores volumes de gessos residuais, enquanto

as maiores reservas de gesso mineral se situam no Nordeste e Norte do País;

- o gesso pode suprir a deficiência de Ca e S nos solos, melhorando o metabolismo vegetal;
- não há impedimento radiológico para uso de gessos, tanto o mineral quanto o residual, fosfogesso, na agricultura;
- há necessidade de se efetuar o mapeamento (localização), caracterização tecnológica, avaliação de produção e perspectiva de evolução dos núcleos geradores de gessos residuais;
- a recomendação técnica para o uso de corretivos nos solos brasileiros indica o valor de 75-90 Mt/ano, mas atualmente somente são aplicadas 15-22 Mt/ano, das quais apenas 2 Mt/ano de gesso, o que deixa em aberto ampla possibilidade para aplicação tanto de fosfogesso e outros gessos residuais, quanto de gipsita;
- respostas altamente significativas de aumentos de produtividade (de 7 a 200%) foram obtidas, como vimos, em várias culturas, com ensaios conduzidos no Brasil, na África do Sul e no Sudeste dos Estados Unidos para aplicação de 1 a 10 toneladas/ha de gesso-minério ou gesso-subproduto, sobre o solo ou incorporado na camada arável;
- o gesso é insumo importante, entre outras, na cultura da cana-de-açúcar, em plena expansão como fonte de um dos mais importantes biocombustíveis;
- com a estimativa de que 25% dos terrenos agrícolas do Brasil necessitam de 1t/ha/ano de gesso, a implantação de núcleos produtores de gipsita, para a agricultura, no Nordeste e Norte do Brasil, a ampliação e melhor equacionamento do aproveitamento dos gessos residuais (fosfogesso e outros) nas outras regiões e a sua aplicação associada a outros fertilizantes e à calagem com calcários, traria, certamente, reflexos socioeconômicos muito positivos na produtividade e no desenvolvimento agropecuário equilibrado do País.

## Referências Bibliográficas

- ABIQUIM: *Anuário da Indústria Química Brasileira, 2005*.
- ABNT, 2004a: Resíduos sólidos: classificação, 2004.
- AGRONELLI: [www. agronelli.com.br]. Acesso em 24/08/2005.
- AIEA. *International Basic Safety Standard for Protection Against Ionizing Radiation and For the Safety of Radiation Source*. 'Safety Series', nº 115, IAEA.Viena.
- ALCARDE, J.C. Características de qualidade dos corretivos de acidez do solo. Simpósio Sobre Acidez e Calagem. In: *XV Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo*. Campinas, São Paulo, 1983, p.10-31.
- ALCARDE, J.C. Corretivos da acidez dos solos: características de quantidade. In: *Seminário Sobre Corretivos Agrícolas*. Fundação Cargill, Piracicaba, 1985, p.97-119.
- ANDA: Anuário Estatístico – Setor de Fertilizantes.
- ASTLEY, V. e HILTON, J. *Phosphogypsum; to stack or not to stack, that is the perception*. In: Seminário Internacional sobre Usos do Fosfogesso, CNEN/CDTN Belo Horizonte, 2006.
- BOHLEN, S. *et al. Geology for a changing world*. EUA: USGS, Circular 1172, 1998.
- ÇAKAL, G.O.; EROGLU, I.; OZKAR, S. Gypsum crystal size distribution in four continuous flow stirred slurry boric acid reactors in series compared with the batch. *Journal of Crystal Growth*, n. 290, 2006. pp 197-202.
- CETESB: *Ultrafertil assina TAC com compensação ambiental no valor de R\$ 5,73 milhões*. [www.cetesb.sp.gov.br/noticentro/2005/04/26\_ultrafertil.htm].
- DAVISTER, A. *Le phosphogypse déchet (plus ou moins nuisible) ou ressource*. IFA Technical Conference, Marrakech, Morocco, September 1998.
- DNPM: Anuário Mineral Brasileiro - AMB, 2002 a 2005.
- DNPM: Sumário Mineral, 2002 a 2006.
- EMBRAPA/FERTILIDADE DE SOLOS: [http:// sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br]. Acesso em 24/08/05.
- ENGESSUL: [www.engessul.com.br].
- ERNANI, P.R. *et al.* Eficiência agrônômica do gesso agrícola no sul do Brasil. Anais II Seminário sobre o uso do gesso na agricultura. Uberaba, 1992.
- FELFOUL, H.S. *et al. Propriétés et perspectives de valorization du phosphogypse – l'exemple de Tunisie*. Proc. of Int. Symp. on Environmental Pollution Control and Waste Management, p. 510-520, Tunis, 2002.
- FERNANDES, H.M., RIO, M.A.P. e FRANKLIN, M.R. *Impactos Radiológicos da Indústria do Fosfato*. [www.cetem.gov.br]. Acesso em 30/06/06.
- FIPR – FLORIDA INSTITUTE OF PHOSPHATE RESEARCH. *FIPR Report 2003-2004*, [www.fipr.state.fl.us/FIPRreport2003]. Acesso em 11/07/06.
- FREITAS, B.J. A disposição do fosfogesso e seus impactos ambientais. Anais II Seminário sobre o uso do gesso na agricultura. Uberaba, 1992.
- GARCIA-TENÓRIO, R. *Phosphogypsum, stack or not to stack, a european perception*. Seminário Internacional sobre Usos do Fosfogesso, CNEN/CDTN, Belo Horizonte, 2006.
- GESO INTEGRAL: [www.gessointegral.com.br]. Acesso em 16/06/06
- GONZALEZ, R.G. ; GARLOBO, C.M.S. Ácido Cítrico. In: *Manual dos derivados da cana-de-açúcar*, Instituto Cubano de Pesquisas dos Derivados da Cana-de-Açúcar-ICIDCA, 1ª ed., 1999.
- HUISSMAN, D. e VERGEZ, A. *Introdução à Filosofia das Ciências*. Livraria Freitas Bastos, 8ª edição em português, 339 p., 1983.
- ICRP. *Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. Publication 26, Pergamon Press, Oxford, 1977.
- JACOMINO, V.M.F. *Rede Cooperativa Fosfogesso Brasil*. Seminário Internacional sobre Usos do Fosfogesso, CNEN/CDTN, Belo Horizonte, 2006.

- KAFLER, N.F. Gesso Integral. [[http://www.gessointegral.com.br/prod\\_ga\\_o2.php](http://www.gessointegral.com.br/prod_ga_o2.php)], 1986. Acesso em 11/04/2006.
- KAUWENBERG, S.J. e IFDC. In: *Cadmium and other minor elements in world resources of phosphate rock*. Fertilizer Society in London, 09/10/1997.
- KAVAS, T.; OLGUM, A.; ERDOGAN, Y. *Cement and Concrete Research, Setting and hardening of borogypsum-Portland cement clinker-fly ash blends*. Studies on effects of molasses on properties of mortar containing borogypsum, n. 35, pp 711-718, 2005.
- KOMORI, M. *O uso de gesso agrícola*. Revista da Emater-Mg, dezembro, 2003.
- KOMORI, M. *Dia de Campo: uso de gesso agrícola em reflorestamentos*. [<http://agronelli.locaweb.com.br>]. Acesso em 16/06/06.
- LAPIDO-LOUREIRO, F.E. e MELAMED, R. *O fósforo na agricultura brasileira: uma abordagem minero-metalúrgica*. CETEM, Série Estudos e Documentos, n° 67, 2006 [[www.cetem.gov.br](http://www.cetem.gov.br)].
- LAPIDO-LOUREIRO, F.E. e NASCIMENTO, M. *Importância e função dos fertilizantes numa agricultura sustentável*. CETEM, Série Estudos e Documentos, n° 53, 2004, [[www.cetem.gov.br](http://www.cetem.gov.br)].
- LYRA SOBRINHO, A. C. P.; AMARAL, A.J.R.; DANTAS, J. O. C. Gipsita. In: Sumário Mineral 2006. Brasília: DNPM, 2006.122p.
- MALAVOLTA, E. *Manual de Química Agrícola. Nutrição de Plantas e Fertilidade do Solo*. Editora Agronômica Ceres Ltda, São Paulo, 1976.
- MALAVOLTA, E. *ABC da adubação*. São Paulo, Ed. Agronômica Ceres, 5ª ed., 292 p. 1989.
- MALAVOLTA, E. *O gesso agrícola no ambiente e na nutrição da planta – perguntas e respostas*. II Seminário sobre o uso do gesso na agricultura, IBRAFOS, 1992.
- MENOR, E.A. e AMARAL, A.J.R. Considerações sobre os eventos evaporíticos da Formação Santana, Bacia do Araripe. Recife, SBG, XIV Simpósio de Geologia do Nordeste, bol. 12, 1991. p. 30-32.
- NASCIMENTO, M. e LAPIDO-LOUREIRO, F.E. *O potássio na agricultura brasileira: fontes e rotas alternativas*. CETEM, Série Estudos e Documentos, n° 61, 2005 [[www.cetem.gov.br](http://www.cetem.gov.br)].
- OZKUL, M.H. Utilization of citro- and desulphogypsum as set retarders in Portland cement. Cement and concrete research, vol. 30, issue 111, Nov. 2000.
- QUAGGIO, J.A. *Acidez e calagem em solos tropicais*. Campinas: Instituto Agronômico, 2000, 111p.
- SCLIAR, C. *Mineração, base material da aventura humana*. Editora Legado, Belo Horizonte, 2004. 160p.
- SERRANA: *A importância do enxofre*. Boletins, 01/11/2000, [[www.serrana.com.Br/f\\_boletins](http://www.serrana.com.Br/f_boletins)]. Acesso em 17/03/2005.
- SILVA, L.H. da C. *Aspectos Econômico-Ambientais do Uso do Fosfogesso na Agricultura*. Tese de Mestrado - UFRJ / COPPE, março de 1997.
- SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E.; REIN, T.A. *Uso de gesso no solo de cerrado*. Anais do I Seminário sobre o Uso do Fosfogesso na Agricultura. Brasília, 1986. p.119-144.
- SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E.; REIN, T.A. *Uso de gesso agrícola nos solos dos cerrados*. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1996. 20p. (Embrapa-CPAC, Circular Técnica, 32).
- SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E. e REIN, T.A. *O aumento da produção no Cerrado com uso de gesso agrícola*, [[www.fazendeiro.com.br](http://www.fazendeiro.com.br)]. Acesso em 05/10/04.
- SOUSA, D.M.G. de; VILELA, L.; LOBATO, E.; SOARES, W.V. *Uso de gesso, calcário e adubos para pastagens no cerrado*. Circular Técnica, Embrapa-Cerrados, Planaltina, n.12, p.1-22, 2001.
- SOUZA, C.M. de. *O uso do fosfogesso na agricultura*. Workshop "Desafios Tecnológicos para o Reaproveitamento do Fosfogesso", Belo Horizonte, 07/12/2005.

- SUMNER, M.E. *Uso atual do gesso no mundo em solos ácido*. II Seminário Sobre o Uso do Gesso na Agricultura, IBRAFOS, p. 7-40, Uberaba, 1992.
- TAXLER, G. *The Economic Benefit of Phosphogypsum Use in Agriculture in Southeastern U.S.* Florida Institute of Phosphate Research – FIPR, Publication Nr 01-124-119, 1996.
- TOMAZ, Carlos A. *The production of phosphoric acid and phosphogypsum by brasilian industries*. Seminário Internacional sobre Usos do Fosfogesso, CNEN/CDTN, Belo Horizonte, 2006.
- USEPA. Environment Protection Agency: *About Phosphogypsum* [[www.epa.gov/radiation/neshaps/supartr/more.htm](http://www.epa.gov/radiation/neshaps/supartr/more.htm)]. Acesso em 28/06/06.
- VITTI, G.C. e MALAVOLTA, E. *Fosfogesso – Uso Agrícola*. Anais do Seminário sobre Corretivos Agrícolas, Fundação Cargil, Piracicaba-SP, p. 161-201, 1985.
- WISS, A.E.Z. *Phosphogypsum Disposal and the Environment* [[www.fipr.state.fl.us/pondwatercd/phosphogypsum\\_disposal.htm](http://www.fipr.state.fl.us/pondwatercd/phosphogypsum_disposal.htm)]. Acesso em 19/09/2005.
- YAN, P. e YOU, Y. *Studies on de binder of fly ash-florigypsum-cement, Cement and concrete research*, v. 28, n. 1, 1997. pp. 135-140.

## Anexo I

### STACK FREE - BENEFICIAL USES OF PHOSPHOGYPSUM

*Stack Free – Beneficial Uses of Phosphogypsum* é um programa iniciado em maio de 2005 e a ser concluído em abril de 2011, desenvolvido por quatro instituições:

- *Florida Institute of Phosphate Research – FIPR*, Bartow, Florida [www.fipr.state.fl.us];
- *Dr. Phosphate Inc.* – Lakeland, Florida;
- *Aleff Group* – Londres & Lakeland [www.aleffgroup.com];
- *Rothamsted Research* – Grã Bretanha [www.rothamsted.bbsrc.ac.uk].

Pretende envolver todos os *stakeholders* na revisão dos riscos e benefícios que podem resultar do uso do fosfogesso, não o classificando antecipadamente como rejeito sem valor comercial.

Englobando vários países, o programa cria uma rede de participantes que, por meio das suas pesquisas, possam contribuir para: (i) indicação de caminhos de utilização do fosfogesso; (ii) definição de normas; (iii) definição, de forma clara e consistente, das melhores práticas apoiadas em regulamentos universalmente aceitos.

#### Esboço programático

**1. Objetivo** – encontrar alternativas economicamente viáveis e ambientalmente aceitáveis para o empilhamento do fosfogesso (FG).

**2. Esquema da proposta** – oito temas de trabalho com atividades sequenciais e constantes e revisão completa a cada dois anos.

##### 2.1. Oito temas de pesquisa

- Mercados potenciais para o FG
- Usos correntes do FG
- *Upstream*

- Trabalhos (*survey*) internacionais
- *Downstream*
- Ensaios agrícolas
- Dados radiológicos
- *Website*

##### 2.2. Seis anos de desenvolvimento (2005-2011) e perspectiva de seis estágios

- Ano 1 (05/06): Factibilidade técnica
- Ano 2 (06/07): Aceitabilidade regulatória
- Ano 3 (07/08): Sustentabilidade comercial e industrial / Implementações piloto
- Ano 4 (08/09): Aspiração política (*political desirability*)
- Ano 5 (09/10): Surgimento de boas práticas
- Ano 6 (10/11): Padrões globais

#### 3. Estrutura Financeira e Humana

- Financiamento inicial do FIPR (*Florida Institute of Phosphate Research*);
- espera-se apoio de todo o mundo;
- para que o programa seja bem sucedido, será necessário também um bom programa de educação (*“public education” – may be even and “engineering education program”*).

#### Pesquisa Bibliográfica

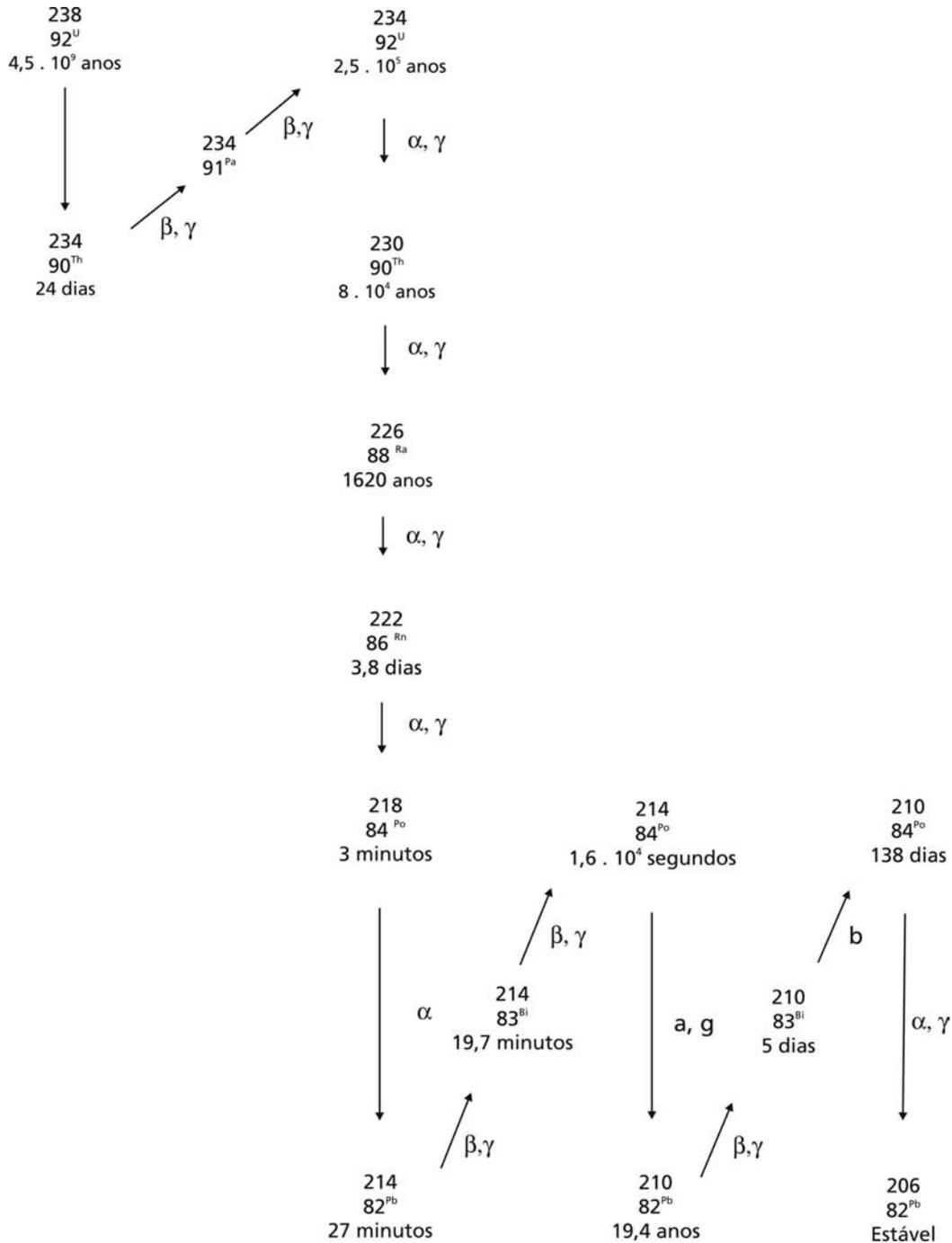
No âmbito do referido Programa foi realizada pesquisa bibliográfica profunda/abrangente (*extensive*) pelos Drs. Bhaskar Bandyopadhyay e Regis Stana, que deu como resultado:

- foram catalogadas e analisadas 1.804 referências (continuam a aumentar);
- foi constatada a existência de mais de 71.000 referências na Internet;

- dos 1.500 trabalhos sobre fosfogesso analisados, 95% chegaram a resultados positivos;
- os 5% restantes foram negativos (*negative in tone*) em relação ao efeito da lixiviação;
- os trabalhos foram desenvolvidos em 58 países, mas apenas três deles, USA, Índia e Polônia, contribuíram com 53% do total;
- foram pesquisados trabalhos que abordavam mais de 50 usos benéficos do FG;
- 26% das publicações dizem respeito ao uso do FG na engenharia civil (construção de estradas, produção de cimento, substituição de areia, estuque e placas para a construção civil e *Levees*); 13%, ao seu uso na agricultura; 7%, à recuperação de enxofre;
- foram geradas, no mundo, 5 bilhões de toneladas de fosfogesso das quais 70 a 90% colocadas em numerosas e imensas pilhas, com dimensões impressionantes (Figura 1.2);
- pilhas de fosfogesso existem em mais de 70 países, ocupando um volume de cerca de uma milha cúbica (1,609 km<sup>3</sup>), mas muito pouco se publicou quanto aos seus aspectos negativos.

## Anexo II

### SÉRIE DE DECAIMENTO DO URÂNIO 238

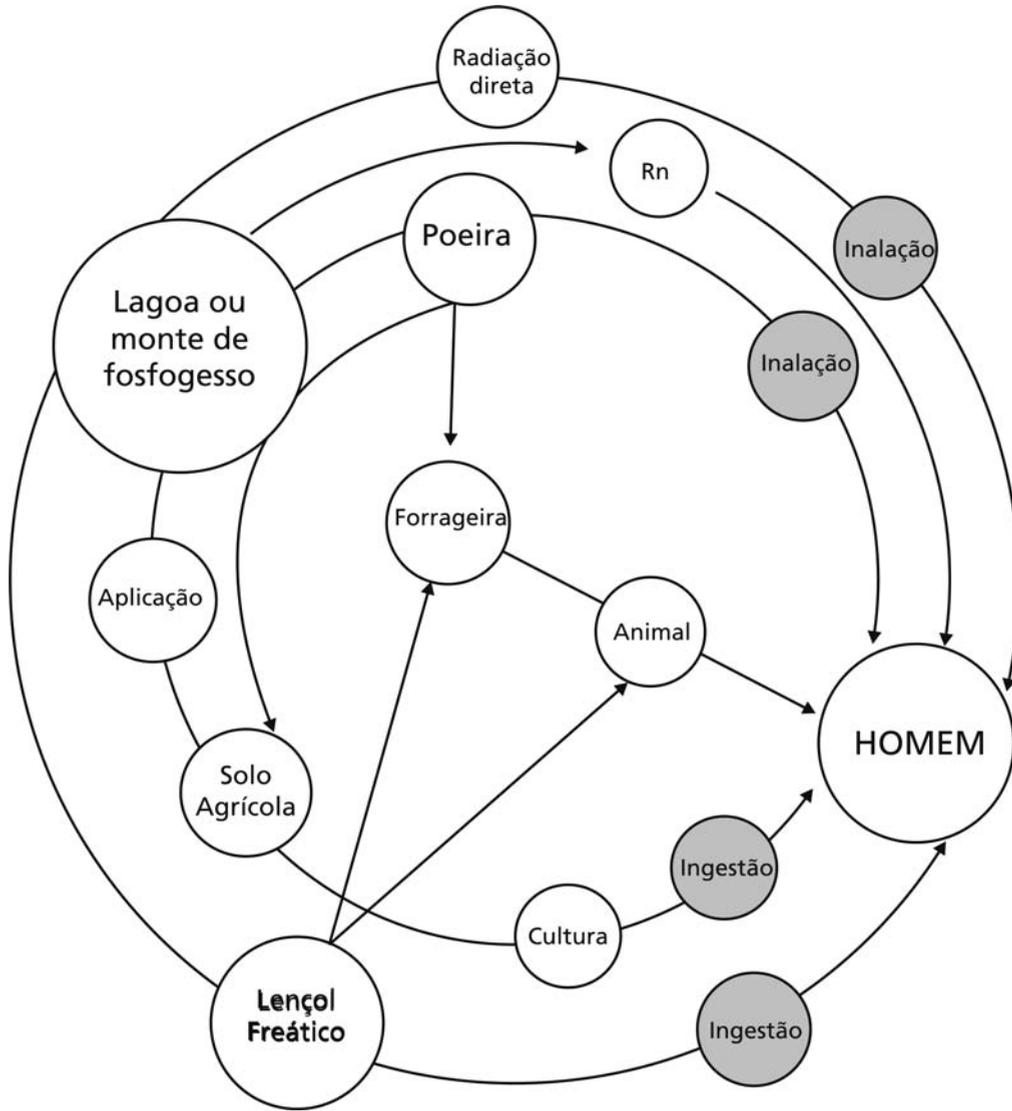


Série de decaimento do U 238  $\Rightarrow$  U  $\rightarrow$  Th  $\rightarrow$  Pa  $\rightarrow$  Ra  $\rightarrow$  Rn  $\rightarrow$  Po  $\rightarrow$  Pb  $\rightarrow$  Bi.  
Indicam-se os respectivos peso atômico, n<sup>o</sup> atômico e 'meia vida'.

Fonte: Malavolta, 1992.

### Anexo III

#### CAMINHOS POSSÍVEIS DA RADIOATIVIDADE: FOSFOGESSO => HOMEM



Fonte: Malavolta, 1992.

Caminhos possíveis da radioatividade do fosfogesso até ao homem

## Notas

- <sup>1</sup> Gesso resultante da dessulfurização de gases efluentes. Em inglês, *FGD* – sigla de *Flue Gás Desulphurisation*; em francês, *désulfogypse*; na Alemanha, *REA gyps*.
- <sup>2</sup> Radiação Tecnologicamente Aumentada – Toda a radiação ionizante de fontes terrestres e cósmicas (aumento à exposição aos raios cósmicos durante vôos a altas altitudes, por exemplo) que, aumentada de alguma forma pelo homem, produza incrementos apreciáveis de exposição à radiação (ICRP, 1977).
- <sup>3</sup> O urânio natural (encontrado na natureza) é uma mistura dos isótopos  ${}_{92}\text{U}^{234}$  (0,0054%),  ${}_{92}\text{U}^{235}$  (0,71%) e  ${}_{92}\text{U}^{238}$  (99,28%). Indica-se entre parênteses o percentual em massa. Por possuir núcleos instáveis emitem, espontaneamente, partículas alfa, beta ou radiação gama, perdendo energia para se tornarem mais estáveis (*decaimento radioativo*). (ANEXO II)
- <sup>4</sup> A adição de calcário, como corretivo, reflete-se apenas na faixa superficial de incorporação. As camadas mais profundas permanecem ácidas devido à baixa solubilidade do calcário: 1,4 g/l.
- <sup>5</sup> A África subsaariana apresenta grande potencial para depósitos apatíticos relacionados com carbonatitos, rocha de origem ígnea com mais de 50% de carbonatos. No Brasil é a principal fonte dos minérios fosfáticos.
- <sup>6</sup> Em 1996 o FIPR na sua *Publication No 01-124-119* esclarecia que “enquanto a USEPA banuiu o uso do fosfogesso na agricultura porque é ligeiramente radioativo, todas as pesquisas que são do nosso conhecimento, contradizem a avaliação da USEPA” (TAXLER, 1996).
- <sup>7</sup> PG – *Phosphogypsum*.
- <sup>8</sup> Na China, as terras-raras são utilizadas, cada vez mais, como micronutrientes na agricultura. Experiências desenvolvidas durante vários anos mostraram que a incorporação de pequenas quantidades de TR nos fertilizantes traduz-se num aumento de produtividade de 8 a 10% em alguns cultivares. Também são referidos bons resultados na adição de TR a rações animais. Em 1998, a China tinha implantado 40 novos núcleos produtores que, adicionados aos já existentes, totalizavam 160 núcleos produtores de fertilizantes amônio-carbonatados com TR. Nos últimos anos, cientistas e técnicos chineses vêm chamando a atenção para a importância dos TR no incremento da produtividade agrícola, com aumentos de 5 a 10% nas culturas de trigo, arroz, amendoim, beterraba, tabaco, melancia e soja, e aumentos de 10 a 20% nas culturas de cana-de-açúcar e repolho (LAPIDO-LOUREIRO e MELAMED, 2006).
- <sup>9</sup> Dialética: busca da verdade através do diálogo, da lógica formal, da resolução de um conflito surgido entre princípios teóricos e fenômenos empíricos.
- <sup>10</sup> Lúcia Helena da Costa Silva era Pesquisadora do IRD/CNEN quando defendeu sua tese na COPPE/UFRJ, Aspectos Econômico-Ambientais do Uso de Fosfogesso na Agricultura, posteriormente publicada pelo IBRAFOS.
- <sup>11</sup> O Professor Emérito Eurípedes Malavolta é Livre Docente, Professor Catedrático da ESALQ / USP e Pesquisador do Centro de Energia Nuclear na Agricultura – CENA.
- <sup>12</sup> Caetano Marciano de Souza – Eng. Agrônomo, D.Sc. / Fitotecnia, Professor Adjunto da UFV.

# Capítulo 16 - Gipsita: características geológicas e sua aplicação na agricultura

## Os autores

**Antônio Christino P. de Lyra Sobrinho**

Geólogo, DNPM/PE. E-mail: antonio.christino@dnpm.gov.br

**Antônio José R. do Amaral**

Geólogo, DNPM/PE. E-mail: antonio.amaral@dnpm.gov.br

**José Orlando Câmara Dantas**

Engenheiro de Minas, M.Sc., DNPM/PE. E-mail: jose.orlando@dnpm.gov.br

## 1. Gipsita

### 1.1. Geologia e reservas

Em que pese existirem jazidas de gipsita em nove estados do Brasil, as que apresentam as melhores condições de aproveitamento econômico (relação estéril/minério e infra-estrutura) são as de Pernambuco. Em vista disso, bem como do conhecimento e vivência dos autores com os fatos e problemas relacionados com o denominado Pólo Gesseiro do Araripe/PE, aqui será descrita em pormenores a geologia desta jazida.

Geologicamente as reservas de Pernambuco, assim como as do Ceará e Piauí, estão contidas na Bacia Sedimentar do Araripe, onde o mineral ocorre sob a forma de horizonte descontínuo, atingindo, em alguns locais, cerca de 30 m de espessura. Estratigraficamente constitui parte do denominado Membro Ipubi da Formação Santana, intercalando-se numa seqüência de margas/calcários e folhelhos cinza e verde. Para uma melhor compreensão do contexto geológico-mineiro do Pólo, deve-se consultar alguns trabalhos de referência, como Menor e Amaral (1991); Amaral, Menor e Silva (1993).

Dentre as características mais marcantes da camada mineralizada identificadas pelos autores mencionados anteriormente, pode-se apontar, em resumo:

- o seu topo é uma superfície de erosão, tanto mais proeminente quanto mais próximo da borda atual da bacia;
- o corpo do minério assume formas semelhantes a “torres”, o que significa formas isoladas sem grande extensão superficial e, frequentemente, de difícil prospecção por sondagem, salvo quando realizado previamente um levantamento geofísico, empregando o método de eletro-resistividade.
- a partir do mapa geofísico regional constata-se que as ocorrências de gipsita se alinham segundo direção nodeste-sudoeste, aproximadamente coincidentes com o “alto estrutural Dom Leme”, que parece se estender sob os arenitos da Chapada do Araripe, conhecidos como Formação Exu.

As demais jazidas brasileiras estão localizadas na Bacia Amazônica (as jazidas dos estados do Amazonas e do Pará); na Bacia do Meio Norte ou Bacia do Parnaíba (as jazidas dos estados do Maranhão e do Tocantins); na Bacia Potiguar (as jazidas do estado do Rio Grande do Norte) e na Bacia do Recôncavo (a jazida do estado da Bahia).

A reserva (medida + indicada) brasileira de gipsita situa-se na ordem de 1.417 milhões de toneladas (Tabela 1.1), distribuídas em nove estados. Porém três estados concentram cerca de 96,9% do total: Bahia (42,4%), Pará (27,8%) e Pernambuco (26,8%).

**Tabela 1.1** – Reservas brasileiras de gipsita (unidade: t)

Estados	Reserva Brasileira de Gipsita por Estado, 2005			
	Medida (1)	Indicada (2)	Somatório (1 + 2)	Inferida
Amazonas	247.430	1.365.120	1.612.550	-
Pará	189.619.891	204.119.355	393.739.246	186.739.654,00
Maranhão	22.373.052	6.704.865	29.077.917	2.239.021,00
Piauí	1.873.460	522.000	2.395.460	1.243.000,00
Ceará	4.068.671	-	4.068.671	-
R. G. Norte	145.053	791.751	936.804	-
Pernambuco	269.125.640	110.351.115	379.476.755	111.229.803,00
Bahia	492.343.861	107.997.000	600.340.861	166.280.000,00
Tocantins	752.992	4.443.011	5.196.003	5.572.813,00
Total	980.550.050	436.294.217	1.416.844.267	473.304.291,00

Fonte: Anuário Mineral Brasileiro – 2006.

O restante está localizado no Amazonas, Maranhão, Ceará, Piauí, Rio Grande do Norte e Tocantins. Vale destacar que essa reserva tem condição de suportar um grande aumento do consumo, cuja ordem de grandeza é de 1,5 milhão de toneladas/ano. Além disso, existe capacidade de produção ociosa na maior parte das minas.

## 1.2. Produção

### 1.2.1. Gipsita

No período 2000 a 2005, a produção brasileira de gipsita oscilou entre 1,5 e 1,6 milhão de toneladas. Em 2005, os estados produtores, em ordem decrescente de participação, foram Pernambuco (89,4%), Ceará (4,7%), Maranhão (3,6%), Amazonas (1,2%)

e Tocantins (1,1%), situação que tem se mantido estável ao longo dos últimos anos (Tabela 1.2).

A explicação para a situação aparentemente paradoxal de Pernambuco, terceiro colocado em reservas, liderar a produção nacional está no fato de as jazidas dos estados da Bahia e do Pará apresentarem algumas peculiaridades que dificultam a sua participação no mercado.

Na Bahia, a jazida de Camamu, embora tenha a vantagem de se situar cerca de 1.000 km mais próximo da região sudeste (principal centro de consumo) do que o Pólo Gesseiro do Araripe/PE, tem contra si a grande espessura do capeamento (30 a 60 m), o que levou a concessionária da jazida, Knauf do Brasil, a projetar a implantação de lavra

**Tabela 1.2** – Produção brasileira de gipsita, por estado (unidade: t)

Ano-Base	Produção Brasileira de Gipsita por Estado, 2000 – 2005									Brasil
	Unidades Federativas									
	AM	PA	MA	PI	CE	RN	PE	BA	TO	
2000	30.600	0	56.074	0	54.325	0	1.342.132	0	14.642	1.497.773
2001	15.180	0	54.647	0	64.867	0	1.357.185	0	14.740	1.506.619
2002	47.900	0	48.532	0	69.942	0	1.463.236	0	11.746	1.641.356
2003	2.363	0	42.162	0	65.303	0	1.408.170	0	11.674	1.529.672
2004	26.600	0	51.445	0	72.037	0	1.317.220	0	9.033	1.476.335
2005	17.800	0	52.869	0	69.979	0	1.332.348	0	16.830	1.489.826
Total	140.443	0	305.729	0	396.453	0	8.220.291	0	78.665	9.141.581
%	1,5	0,0	3,3	0,0	4,3	0,0	89,9	0,0	0,9	100,0

Fonte: DNPM/AMB-2001-2006.

subterrânea. O elevado índice pluviométrico e as deficiências de infra-estrutura dificultam o escoamento da produção.

No Pará, as reservas estão concentradas no município de Aveiro e, ao contrário dos outros estados, ainda não dispõe do título autorizativo para a produção (denominado de portaria de lavra). A jazida foi pesquisada pela CPRM/Serviço Geológico do Brasil, que já realizou uma licitação para repassar o direito de requerer a lavra, mas não alcançou sucesso. Vale registrar que, apesar de na região já existir disponibilidade de infra-estrutura (rio navegável, rodovia e energia elétrica), a jazida está localizada no interior de uma floresta nacional, o que implica em fortes restrições ambientais (Barros, DNPM/PA 2006, comunicação verbal), além da grande distância em relação à principal região consumidora.

No Maranhão, no município de Grajaú, há exploração e comercialização de gesso e seus derivados para a construção civil, agricultura e pecuária, realizadas pela empresa Gesso Integral ([www.gessointegral.com.br](http://www.gessointegral.com.br)).

A elevada participação de Pernambuco resulta da conjunção de fatores geológicos favoráveis, com a disponibilidade de infra-estrutura, a tenacidade do empresariado e o fato de se constituir na principal atividade econômica da região, situada em pleno semi-árido. Essa conjunção confere ao Pólo Gesso do Araripe/PE vantagens competitivas para a implantação de minas, calcinadoras e fábricas de pré-moldados, frente às outras regiões detentoras de reservas.

Os fatores geológicos propiciaram uma melhor e mais extensiva preservação das camadas mineralizadas, uma menor espessura do capeamento e um elevado grau de pureza do minério. A proximidade de cidades dotadas de todos os serviços básicos, aliada à existência de rodovias asfaltadas e um elevado índice de eletrificação rural constituem-se em boas condições de infra-estrutura. No entanto, ainda carecem de aperfeiçoamento nos itens de transporte e energia. A tenacidade do empresariado gerou e consolidou uma tradição

para a atividade de mineração e calcinação da gipsita.

Como as minas de Pernambuco apresentam condicionamento geológico bastante semelhante, em todas elas o método de lavra é a céu aberto, em cava (*open pit*), desenvolvida em bancadas com altura variando entre 5 e 10 m e frentes de lavra em forma de anfiteatro.

Tradicionalmente, tanto na fase de pesquisa como na de lavra, as mineradoras têm adotado, como limite operacional, uma relação estéril/minério em torno de 1:1, ou seja, até 1 m de espessura do capeamento para cada metro de espessura da camada de gipsita. A espessura máxima do capeamento aceitável na região, em função dos equipamentos e da tecnologia de lavra disponíveis, situa-se entre 15 e 20 m, fazendo com que parte da reserva seja descartada, o que acarreta o seu subdimensionamento, bem como compromete sua posterior utilização.

Existem diferenças acentuadas na condução dos trabalhos de lavra, a depender do porte da mineradora e respectiva escala de produção. Nas cinco minas mais estruturadas (produção superior a 100.000 tpa), é elaborado o planejamento da lavra, bem como é executado, anualmente, o controle cartográfico da área já lavrada. O processo de lavra se classifica como semi-mecanizado, já que a parcela do minério destinada à calcinação passa por seleção manual após o desmonte.

De modo geral, a atividade de lavra obedece à seguinte seqüência: limpeza do terreno, decapeamento, perfuração, desmonte (com explosivos), carregamento e transporte. O maquinário utilizado consta de tratores de esteira, pás carregadeiras, caminhões basculantes (na limpeza, decapeamento, carregamento, transporte do minério desmontado), marteletes pneumáticos e *wagon-drills* na perfuração. Nas minas maiores é utilizado o rompedor hidráulico, que reduz as dimensões dos blocos de minério desmontado, eliminando o fogo secundário ou fogacho.

Os avanços tecnológicos mais recentes e significativos, ocorridos na lavra, estão relacionados à

otimização dos planos de fogo, graças à assistência técnica propiciada por fabricantes/fornecedores de explosivos e à utilização do rompedor hidráulico. Grande parte das mineradoras que fornecem gipsita para as fábricas de cimento instalou unidade de britagem. Nesse caso, o processo de beneficiamento consiste em britagem e peneiramento. Muito mais do que agregar valor ao produto, o mais provável é que, sendo o custo do frete de capital importância, para um mesmo volume transportado, a tonelagem de gipsita britada é superior àquela em forma de blocos.

Fontes do mercado estimam que, para a implantação de uma mina com capacidade de produção instalada de 60 mil tpa de minério, são necessários investimentos da ordem de R\$ 1,2 milhão, dos quais 80% correspondem a equipamentos.

### 1.2.2. Gesso

Na produção de gesso, o minério de gipsita, com teor de  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  superior a 80%, é selecionado manualmente após o desmonte e transportado para as calcinadoras onde, após os processos de britagem, rebritagem, moagem e peneiramento, é enviado aos fornos.

O processo de calcinação varia de acordo com o tipo de forno utilizado. Estes são basicamente de quatro tipos: panela, marmitta, rotativo tubular e marmitta rotativo.

O gesso é produzido por empresas transnacionais e pequenas e médias empresas familiares. As primeiras são responsáveis pela produção de maior valor agregado (gesso acartonado ou *drywall*) e têm duas unidades localizadas na região Sudeste, em Mogi das Cruzes/SP e Queimados/RJ, e uma na região Nordeste, em Petrolina/PE. O universo das pequenas e médias empresas familiares, representado pelas chamadas calcinadoras, está concentrado em sua grande maioria nos municípios do Pólo Gesseiro do Araripe/PE. Vale destacar que, embora incluídas no universo das pequenas e médias empresas familiares, a Mineradora São Jorge S.A. e a Supergesso S.A. Indústria e Comércio produzem gesso alfa, de alto valor agregado, o

que incorpora forte conteúdo tecnológico na sua produção.

Tradicionalmente, as calcinadoras têm utilizado a lenha da caatinga como principal fonte energética. Em meados da década de 1990, pressionadas pela sociedade e pelos órgãos ambientais, a maioria delas passou a utilizar o óleo BPF. No entanto, a política governamental de incentivo ao consumo de gás natural (em especial no Sudeste) trouxe como consequência uma grande elevação dos preços, inviabilizando o uso desse energético. Em seguida, foi tentado o emprego do GLP e, posteriormente, do coque de petróleo. Mais uma vez, o aumento de preços, no caso do GLP, inviabilizou essa alternativa. Quanto ao coque de petróleo, as restrições foram de ordem ambiental, além das dificuldades de adaptação dos processos industriais.

O quadro atual mostra que a matriz energética é, na sua quase totalidade, representada pela lenha, situação agravada pelo fato de não existirem projetos de reflorestamento e/ou manejo florestal numa região onde o impacto ambiental causado pelo desmatamento já alcança níveis preocupantes.

Fontes do mercado estimam que, para a implantação de uma calcinadora com capacidade de produção instalada de 2 mil tpm de gesso, são necessários investimentos da ordem de R\$ 900 mil, dos quais 60% correspondem a equipamentos.

Nas calcinadoras de pequeno porte (cerca de 100 num universo de 140 empresas), que em seus processos produtivos incorporam pequeno conteúdo tecnológico, a temperatura e o tempo de residência do material são controlados de forma empírica e dependem muito da experiência do operador.

### 1.2.3. Gesso agrícola

No Nordeste, o desenvolvimento do mercado para o gesso agrícola ocorreu com a consolidação, ao longo da década de 1990, da cultura da soja no cerrado do oeste da Bahia (Barreiras e Luiz Eduardo Magalhães), que estimulou a produção deste insumo no Pólo Gesseiro do Araripe/PE. Novo impulso ocorreu quando, mais recentemente, deu-

se a expansão da mesma cultura para a região sul do Piauí e Maranhão.

De início, apenas três empresas de mineração estavam habilitadas perante o Ministério da Agricultura como fornecedoras desse insumo. Com o aumento da demanda, expandiu-se também o universo de produtores, que em 2006 alcança uma dezena e cuja produção anual tem variado entre 50 e 100 mil toneladas.

O processo de beneficiamento consiste em britagem, moagem e peneiramento. Vale ressaltar que o surgimento desse segmento possibilitou o aproveitamento do minério de qualidade inferior (localmente conhecido como 'boró'), que embora desmontado não tinha valor econômico.

A demanda do gesso agrícola é muito influenciada pelos preços e pela demanda do mercado externo sobre a soja. Assim, quando os preços estão mais elevados ou o câmbio está mais favorável às exportações, os agricultores adquirem maiores quantidades do insumo.

Fontes do mercado registram que a utilização de gesso agrícola pela cultura da cana-de-açúcar da zona da mata de Pernambuco é inviável em função da distância que separa as regiões de produção e consumo (700 km) e o conseqüente frete elevado. Todavia, o Instituto Tecnológico de Pernambuco (ITEP), com o apoio da Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE), e em parceria com a Usina Cucau S.A. (Rio Formoso/PE), vem desenvolvendo pesquisa visando à preparação de gesso agrícola a partir da utilização de resíduos de gesso da construção civil.

Informações obtidas com técnicos da Usina registram que os resultados preliminares são encorajadores, posto que a reação da cana-de-açúcar é praticamente a mesma quer seja aplicado o gesso agrícola produzido a partir de gipsita ou derivado da reciclagem dos resíduos da construção civil.

Vale registrar também que com esses resultados estaria contornado o obstáculo à reciclagem des-

ses materiais, apontada na Resolução 307/2002 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), que classificou os resíduos de gesso da construção na classe C, a dos materiais para os quais inexistia tecnologia de reciclagem.

### 1.3. Produtos e especificações

As especificações do gesso agrícola, estabelecidas pelo Ministério da Agricultura, estão resumidas na Tabela 1.3.

**Tabela 1.3** – Especificações do Ministério da Agricultura para o gesso agrícola

Determinações	Limites Min.
Passante em peneira de 10 malhas	95%
Passante em peneira de 50 malhas	50%
Teor de cálcio	16%
Teor de enxofre	13%

Fonte: Baltar, Bastos e Luz, 2005.

### Referências bibliográficas

- AMARAL, A.J.R.; MENOR, E.A. e SILVA, A.L.C. Análise de razão lito-resistiva: influência no direcionamento de pesquisas de gipsita na Baía do Araripe. Natal, SBG, *Atas XV Simpósio de Geologia do Nordeste*, p. 217-219, 1993.
- BALTAR, C.A.M.; BASTOS, F.F.; e LUZ, A.B. Gipsita. In: LUZ, A.B. e LINS, F.F. Rochas e Minerais Industriais – Usos e Aplicações. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2005. 726p.
- DNPM: Anuário Mineral Brasileiro - AMB, 2002 a 2005.
- DNPM: Sumário Mineral, 2002 a 2006.
- GESSO INTEGRAL: [www.gessointegral.com.br]. Acesso em 16/06/06.
- MENOR, E. A. e AMARAL, A. J. R. Considerações sobre os eventos evaporíticos da Formação Santana. Recife XIV Simp. Geol. do Nordeste, bol. 12, 1991.

# Capítulo 17 - O gesso na agricultura brasileira

## Os autores

---

### Adriano Portz

Engenheiro Agrônomo, D.Sc. Ciências do Solo – UFRRJ,  
Professor Adjunto PUVR/UFF. E-mail: aportz@vm.uff.br

## 1. Introdução

### Atividades física e química no solo

O solo é um produto resultante de fatores como tempo, clima, relevo, material de origem e organismos e tem características relacionadas à intensidade de cada um destes fatores. Os solos que se encontram na zona de clima quente e com altas precipitações são, na maioria, ácidos (pH < 5,5), mesmo que os materiais que lhes deram origem não tenham reação ácida em contato com a água.

Solos ácidos geralmente apresentam teores de alumínio e manganês que podem ser tóxicos às plantas, prejudicando seu desenvolvimento e reduzindo os rendimentos. Os problemas da toxidez de alumínio normalmente começam quando o pH apresenta-se abaixo de 5,5, alcançando o valor máximo de Al trocável em pH 4,1. O problema do aparecimento do alumínio trocável pode ser maior em solos argilosos do que em arenosos (PRIMAVESI, 2002). Solos argilosos, por terem maior capacidade de troca catiônica, necessitam de doses maiores de calcário para serem corrigidos.

O pH baixo de um solo indica que muitos íons H<sup>+</sup> e poucos íons de cálcio, magnésio, potássio e sódio estão adsorvidos no complexo coloidal ou de troca. Um pH muito baixo também pode ser indicativo de solos compactos, adensados e/ou submetidos à erosão.

A relação do pH com as plantas é diferenciada em função das espécies. As que se desenvolvem em

um pH muito baixo, em geral, são sensíveis a baixos níveis de micronutrientes, especialmente manganês, ferro e zinco, pois, nestas condições, estes elementos são encontrados em sua maior disponibilidade. Na Figura 4.1, observa-se a disponibilidade dos nutrientes em relação ao pH do solo.

Segundo Primavesi (2002), o pH é um indicador de uma situação biológico-físico-química e, como tal, seria enganoso considerar somente os efeitos químicos.

As reações de hidrólise que ocorrem na solução dos solos, a decomposição de resíduos orgânicos pelos microrganismos, a ação do homem e a própria absorção de nutrientes pelas plantas são também fatores que contribuem para a acidificação do solo. Em particular, a solubilização da rocha matriz pela água de chuva, que é ácida ( $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HCO}_3^- + \text{H}^+$ ), libera cátions e ânions que irão servir de nutrientes para os organismos.

Reações bioquímicas dos microrganismos que crescem sobre as rochas também liberam íons H<sup>+</sup> no meio. Então, alguns elementos, que formam compostos mais solúveis, podem ser facilmente percolados no perfil do solo, como é o caso do cálcio, magnésio, sódio e potássio, e elementos, como o alumínio e o ferro, vão se concentrando devido às suas propriedades de formar compostos de muito baixa solubilidade sob boas condições de oxigenação. Durante a formação do solo, originam-se minerais e substâncias húmicas que têm a capacidade de trocar íons, o que evita que

os mesmos sejam lixiviados (percolados em profundidade no solo). Esta capacidade de troca depende da valência dos íons (MEURER, 2004).

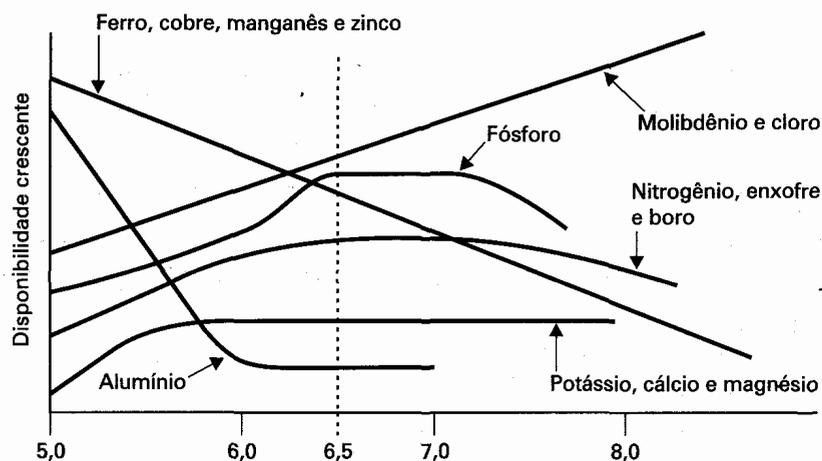
Íons como o alumínio (valência +3) são mais fortemente atraídos para a proximidade das partículas com carga negativa, em detrimento do sódio e potássio (valência +1) e do cálcio e magnésio (valência +2). Com isso, o alumínio permanece mais no solo, enquanto os outros cátions tendem a ser percolados no perfil. Essa é a razão que faz os solos tropicais terem muito alumínio e ferro e baixos teores de cálcio, magnésio, sódio e potássio na forma trocável (MEURER, 2004).

O cálcio tem basicamente quatro funções no solo: *a de corrigir o pH*, ou seja, ocupar os lugares vazios do complexo de troca; neutralizar o alumínio e o manganês tóxicos; ser agente floculante do solo, contribuindo com melhor agregação e, por último, ser nutriente (essencial) para as plantas. O cálcio é geralmente deficiente em solos tropicais por ser um dos primeiros cátions a ser lixiviado, principalmente pela erosão.

Deficiências de outros nutrientes induzidas por cálcio também podem ser observadas, principalmente quando há excesso de íon cálcio no complexo trocável do solo. Assim, especialmente K, Mg, Zn, Mn, B, Cu e Fe dependem de um íntimo equilí-

brio com o cálcio. A disponibilidade de Cu, Zn e Mn para as plantas diminui com o aumento do pH do solo, por formarem complexos de esfera-interna com os óxidos de alumínio e ferro (MEURER, 2004). O excesso de cálcio também pode precipitar o fósforo, formando o fosfato tricálcico, que é tão pouco solúvel quanto o férrico ou o aluminico (ZONTA, 2003).

O gesso tem despertado interesse por fornecer cálcio e enxofre e reduzir a saturação de alumínio em camadas sub-superficiais no solo, sem que ocorram alterações significativas do pH do solo. Com a aplicação do gesso, podem ser formados sais neutros que, por não apresentarem cargas, possuem maior mobilidade no solo. São vários os fatores que podem influenciar o processo; entre eles destacam-se: a quantidade de gesso aplicada, a capacidade de troca catiônica do solo, a capacidade do solo em absorver sulfato, a textura do solo, a quantidade de água, entre outros. Neste caso, em solos arenosos com baixa CTC (capacidade de troca catiônica) e, conseqüentemente, baixa capacidade de adsorver sulfato, a movimentação de bases seria maior, devendo-se tomar mais atenção com a dose de gesso aplicada, a fim de evitar o risco de movimentação das bases para além das camadas exploradas pelos sistemas radiculares das culturas.



Fonte: Malavolta, 1989.

**Figura 4.1** - Efeito do pH da disponibilidade dos nutrientes e na solubilidade do alumínio

## 1.2. Gesso agrícola como condicionador de solos

As características que influenciam a qualidade de um corretivo são, além do teor de nutrientes, o tamanho das partículas (granulometria) e o poder de neutralização, expressos pelo PRNT. Em geral, as características que mais influenciam a taxa de dissolução do gesso são as quantidades de água e sais solúveis presentes na composição e o tamanho das partículas do produto. Segundo Alcarde (1983, 1985), os materiais que podem ser utilizados como corretivos de acidez do solo são aqueles que contêm, como constituintes neutralizantes ou princípios ativos, óxidos, hidróxidos, carbonatos e silicatos de cálcio e ou magnésio e, neste caso, o gesso agrícola não se enquadraria como corretivo de acidez do solo.

**Tabela 4.1** – Materiais que podem ser usados como corretivos de acidez do solo

Material calcário	PRNT	
Carbonato de cálcio	100	
Calcários (CaCO <sub>3</sub> + MgCO <sub>3</sub> )	Dolomítico (MgO >5%)	70-120
	Calcítico (MgO <5%)	
Farinha de ostras cozidas	80-90	
Cal viva	150-175	
Farinha de ostras queimadas	90-110	
Cal hidratada	120-135	
Escórias	50-70	
Cinza de madeira	40-80	
Gesso	Nenhum	

A aplicação de gesso agrícola não substitui o calcário, já que o gesso não possui íons capazes de neutralizar o H<sup>+</sup> (oxidrila e carbonatos). No entanto, mostra respostas favoráveis pela minimização do efeito do alumínio tóxico, pela sua percolação no perfil do solo e aumenta a quantidade de cálcio trocável na solução do solo. O gesso (CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O) tem sido usado em solos ácidos, para melhorar o ambiente radicular das plantas, e na recuperação de solos afetados por sais.

O gesso agrícola pouco afeta o pH do solo, não mais do que 0,3 unidades, mesmo quando aplicado em doses elevadas (MEURER, 2004). Entretanto, em solos ácidos, pode diminuir a toxicidade do alumínio para as plantas, reduzindo a atividade do Al<sup>+3</sup> na solução do solo pelo aumento da quantidade de Ca<sup>+2</sup> e SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>. O incremento do teor de Ca<sup>+2</sup> em profundidade aumenta a relação Ca:Al, o que resulta numa melhoria do ambiente radicular pela diminuição da atividade do alumínio.

Outro mecanismo que diminui a atividade do alumínio nos solos, devido à aplicação de gesso, é a precipitação de compostos sólidos de alumínio pelo íon sulfato, como a jurbanita (AlOHSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O), basalumita [Al<sub>4</sub>(OH)<sub>10</sub>SO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O] ou alunita [KAl<sub>3</sub>(OH)<sub>6</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>] (MEURER, 2004).

Veloso *et al.* (1992), trabalhando com diferentes doses de gesso e corretivos, na incubação em vasos, não observaram efeito de variação do pH para o gesso, não considerando o mesmo um material corretivo para a acidez do solo.

Para culturas exigentes em cálcio, como as do amendoim e da macieira, a aplicação do gesso ao solo é uma boa alternativa, principalmente em solos com alta CTC, em que a lixiviação do Mg e K não é tão grande (ERNANI, 1986; ERNANI *et al.*, 1993). Ernani *et al.* (2001) verificaram que o gesso agrícola promoveu maior percolação de cátion do que os corretivos da acidez, principalmente quando incorporados aos solos. Segundo os mesmos autores, a aplicação do gesso na superfície do solo diminui a magnitude da lixiviação e prolonga seu efeito residual.

Existem algumas recomendações para aplicação do gesso junto com o calcário. No entanto, a adição de gesso ao corretivo reduz o PRNT (Poder Relativo de Neutralização Total) da mistura, visto que este produto não apresenta efeito neutralizante da acidez.

Em algumas situações, como pomares e áreas florestais, onde é inviável economicamente fazer a correção da acidez com calcário em profundidade, o gesso tem sido utilizado, apesar de poucos es-

tudos realmente comprovarem benefícios. Deve-se destacar que os ânions  $\text{SO}_4^{2-}$ , além de favorecer a descida do  $\text{Ca}^{2+}$  no perfil do solo, pode também favorecer a percolação de outros cátions, como o  $\text{Mg}^{2+}$  e o  $\text{K}^+$ .

De acordo com Quaggio (2000), em solos ácidos, a eficiência da adubação pode ser reduzida drasticamente, sobretudo quando o subsolo for ácido, restringindo o enraizamento mais profundo das plantas. A calagem não corrige essa acidez de subsuperfície em tempo razoável para evitar que ocorra risco de perda de produtividade devido aos veranicos. Nesta situação, o uso de gesso agrícola vem como solução para este problema, devido à sua rápida mobilidade na camada arável, fixando-se abaixo desta, favorecendo o aprofundamento das raízes (SOUZA *et al.*, 1996).

Os solos afetados por sais podem ser melhorados com a percolação com água de boa qualidade, no caso dos solos salinos, e com a aplicação do gesso agrícola ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), no caso dos sódicos e salino-sódicos. A utilização do gesso na recuperação desses solos está baseada na reação de troca do  $\text{Ca}^{2+}$  pelo  $\text{Na}^+$ . Como o cálcio é mais fortemente adsorvido pelo sulfato que o sódio, há formação de sulfato de sódio, que deve ser removido por percolação com água de boa qualidade (isenta de sais). Barros *et al.* (2004) verificaram que a aplicação de gesso e da mistura de gesso mais calcário revelou-se técnica eficaz de correção de sodicidade de solos em estudo, podendo ser recomendado como fonte de cálcio para recuperação de solos salino-sódicos. A recuperação de solos afetados por sais tem como objetivo principal a redução da concentração dos sais solúveis e do sódio trocável no perfil do solo, a um nível não prejudicial ao desenvolvimento das culturas. A diminuição do grau de salinidade envolve o processo de solubilização e a conseqüente remoção pela água de percolação, enquanto a diminuição do teor de sódio trocável envolve o seu deslocamento do complexo de troca pelo cálcio antes do processo de lixiviação.

### 1.3. Gesso agrícola: fonte de nutrientes na agricultura

O sulfato de cálcio, ou gesso, é um composto que, além de ser encontrado nessa forma na natureza, pode ser também obtido como subproduto no processo de fabricação de ácido fosfórico. O sulfato de cálcio não afeta significativamente a reação do solo. No entanto, além de servir como fonte de enxofre e cálcio, ele tem sido usado em solos com excesso de sódio, com a finalidade de substituir o sódio trocável, que tem efeito dispersante, pelo cálcio, que tem efeito agregador na estrutura do solo (DE-POLLI *et al.*, 1988). Apesar da polêmica que o assunto tem gerado, outro uso que tem sido dado ao gesso é o aumento da saturação do solo com cálcio, reduzindo em decorrência o alumínio, abaixo da camada arável, em profundidade nas quais não é possível aplicar o calcário. Neste caso, melhores resultados devem ser observados em solos do cerrado, que se caracterizam por apresentar teores reduzidos de cálcio e enxofre, ao lado da elevada saturação de alumínio em profundidade.

A aplicação de sulfato de cálcio no solo, feita de forma isolada, pode acarretar alguns problemas, sendo o mais importante o da lixiviação de potássio e magnésio, decorrente da passagem deste sal através do perfil de solo. Diante dessas possíveis perdas de cátions básicos do solo pelo uso isolado do gesso agrícola, tem sido sugerida a sua combinação com calcário em proporções adequadas como uma alternativa para amenizar a lixiviação de bases e possíveis desbalanços nutricionais.

Segundo Souza *et al.* (2001), no cerrado, quando o teor médio de enxofre nas camadas de solo (0-20 e 20-40 cm) forem altas ( $= 10 \text{ mg.dm}^{-3}$ ), não é necessário adubar com enxofre, salvo para o estabelecimento ou recuperação de pastagens se na camada de 0-20 cm o teor estiver abaixo de  $4 \text{ mg.dm}^{-3}$ , quando se recomenda a aplicação de  $100 \text{ kg.ha}^{-1}$  de gesso, para suprir a demanda inicial da pastagem.

O enxofre pode ser exigido de diferentes formas entre as espécies e mesmo entre as cultivares de

uma mesma espécie, ao longo do ciclo de desenvolvimento das plantas. De uma forma geral, as crucíferas (repolho, brócolos) e as liliáceas (cebola e alho) são as culturas que apresentam as maiores exigências, chegando a valores de até 70-80 kg de S.ha<sup>-1</sup>. A Comissão de Fertilidade do Estado de Minas Gerais sugere que o gesso deve ser utilizado quando a camada subsuperficial (20-40 e 30-60 cm) apresentar menos que 0,3 meq Ca.100cm<sup>-3</sup> e/ou mais que 0,5 meq Al<sup>+3</sup>.100cm<sup>-3</sup> e ou mais que 30% de saturação de alumínio (m).

Para solos com bom manejo de matéria orgânica e sem a presença de camadas subsuperficiais com elevado teor de alumínio e/ou baixo teor de cálcio, o potencial de utilização do gesso se torna muito pequeno e antieconômico. Situação semelhante ocorre com plantas de ciclo curto e sistema radicular pouco profundo, como é o caso de olerícolas.

#### 1.4. O cerrado e suas necessidades de gesso agrícola

O cerrado ocupa aproximadamente um quarto da área brasileira, geralmente, em regiões de topografia favorável à agricultura e à pecuária. Dependendo da região do País onde se encontra, existe uma descontínua distribuição de chuvas, afetando de forma diferenciada as características químicas e físicas do solo. Como o cerrado é composto por várias classes de solos, variando dos litossolos, regossolos, latossolos, podsolos e solos gleizados nas partes mais baixas, existe uma riqueza mineral variável. A deficiência de cálcio, fósforo, enxofre e nitrogênio ao lado de zinco, boro e cobre, bem como molibdênio e cobalto, é generalizada.

O crescimento radicular de grande parte das plantas é prejudicado quando o solo apresenta saturação por alumínio acima de 10%. Cerca de 70% da área agricultável do cerrado apresenta valores superiores a esse na camada subsuperficial, abaixo de 20 cm, constituindo problema potencial para a agricultura e para a implantação de pastagens com algumas espécies forrageiras (SOUZA *et al.*, 2001). Além da saturação de alumínio elevada, 86% da área agricultável do cerrado apresenta em sua

subsuperfície um teor de cálcio muito baixo, inferior a 0,4 cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>. Nessas condições, o sistema radicular das culturas não se desenvolve normalmente, e a planta reduz a absorção de água e nutrientes na subsuperfície do solo.

O calcário é uma boa opção para corrigir deficiências de cálcio e magnésio, no entanto, a calagem não corrige a subsuperfície. Então, o gesso torna-se uma alternativa interessante para o agricultor do cerrado, pois, nestas condições, proporciona, além do aumento de cálcio, a redução da saturação de alumínio e fornece enxofre ao solo, permitindo ganhos significativos na produtividade de pastagens (SOUZA *et al.*, 2001).

Souza *et al.* (2001) recomendam a aplicação de gesso em solos do cerrado, quando resultados da análise de solo na camada de 40 a 60 cm de profundidade tiverem valores de saturação de alumínio maior que 20% ou o teor de cálcio menor que 0,5 cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>. Há também a necessidade de se determinar o teor de argila no solo para a recomendação da dose de gesso a ser aplicada: Fórmula (a) e Tabela 4.2.

Dose de gesso (kg.ha<sup>-1</sup>) = 50 x argila (%) (a)

Os mesmos autores comentam que as doses de gesso recomendadas por este critério apresentam efeito residual de, no mínimo, cinco anos em solos arenosos, podendo se estender a até 15 anos para solos muito argilosos.

Devido a algumas características peculiares dos solos do cerrado e às condições regionais, a aplicação de gesso torna-se importante para a eficiência de utilização de água e nutrientes no solo.

**Tabela 4.2** - Recomendação de gesso (15% S) em função da classificação textural do solo

Textura do solo	Dose de gesso (kg.ha <sup>-1</sup> )
Arenosa	700
Média	1.200
Argilosa	2.200
Muito argilosa	3.200

Fonte: Embrapa/Cerrados (Souza *et al.*, 2001).

### 1.5. Aplicação de gesso agrícola: resultados agrônômicos

A acumulação de alumínio em quantidades tóxicas no solo não atingido pela calagem faz com que muitas plantas não consigam desenvolver suas raízes nestas camadas mais profundas no solo. As plantas sensíveis a concentrações maiores de alumínio têm seu sistema radicular drasticamente reduzido, bem como menor permeabilidade e divisão radicular inibida (ZONTA, 2003).

A resposta ao gesso agrícola como melhorador do ambiente radicular em profundidade tem sido observada já no primeiro ano de aplicação, tanto em culturas anuais, destacando-se o aumento de produtividade para o milho, soja e trigo, como em culturas perenes, como é o caso da manga, laranja e, em especial, o café (KOMORI, 2003). A aplicação do gesso, nestes casos, deve levar em conta a análise do solo em profundidades maiores, como 20 a 40 cm e 40 a 60 cm, para as culturas anuais. Deve-se ressaltar que estas análises químicas do solo precisam ser acompanhadas com a análise do teor de argila.

O efeito favorável do gesso pode ser evidenciado no maior crescimento radicular em profundidade, permitindo melhor exploração da água e nutrientes do solo, conferindo à planta melhor capacidade de adaptação às condições edafoclimáticas adversas de baixa disponibilidade de água e nutrientes (VITTI *et al.*, 1986). No entanto, Cascardo *et al.* (1993) não verificaram o aprofundamento do sistema radicular da seringueira quando aplicaram doses crescentes de gesso, observando apenas aumentos nos teores de Ca, Mg e K, até a camada de 20 a 40 cm de profundidade nos solos tratados.

Rodrigues *et al.* (2002) verificaram aumento na produção de matéria seca da parte aérea do capim andropogon, assim como aumento da matéria seca radicular na profundidade de 15 a 30 cm, com o aumento das doses de gesso aplicadas. Segundo os autores, este resultado foi devido, provavelmente, ao  $S-SO_4^{-2}$  adicionado ao solo pelo gesso.

Sabino *et al.* (1998) verificaram que a utilização do gesso aumentou as massas de capulho e de se-

mentes do algodão, sobretudo quando associada a maior dose de calcário. Caires *et al.* (2003) observaram aumento do pH do solo em subsuperfície, pela aplicação do gesso, e os teores de cálcio trocável em todas as profundidades estudadas. Segundo os autores, o gesso também promoveu intensa movimentação do magnésio trocável no solo. Na planta de soja, apesar de não apresentar melhoria na produção de grãos, houve aumento linear nas concentrações de S (primeiro ano), N (segundo ano) e Ca (terceiro ano), no tecido foliar, com as doses de gesso aplicadas (CAIRES *et al.*, 2003). No solo do cerrado, a deficiência de manganês em soja foi corrigida com a aplicação do equivalente a 2,0 t.ha<sup>-1</sup> de gesso (NOVAIS *et al.*, 1989).

Nahas *et al.* (1997) verificaram que houve aumento, na produção de repolho, do teor de enxofre na parte aérea da planta e teor no solo (rizosférico e não-rizosférico), com o aumento das doses de gesso aplicado ao solo.

Ao que se parece, a aplicação de gesso ainda está restrita a solos com elevada saturação de alumínio e deficiência de cálcio, em regiões de menor precipitação, sendo ainda pouco estudada em outras condições de solo e clima. Culturas com sistema radicular profundo se beneficiam da aplicação de gesso nas condições descritas acima, apesar de nem sempre mostrarem aumento do rendimento na produção.

### Referências bibliográficas

- BARROS, M. de F.C.; FONTES, M.P.F.; ALVAREZ, V.H.; RUIZ, H.A. *Recuperação de solos afetados por sais pela aplicação de gesso de jazida e calcário no Nordeste do Brasil*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.8, n.1, p.59-64, 2004.
- CAIRES, E.F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J.; KUSMAN, M.T. *Alterações químicas no solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema de plantio direto*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.27, n.2, Viçosa, mar-abr, 2003.

- CASCARDO, J.C. de M.; OLIVEIRA, L.E.M. de; SOARES, A.M. *Disponibilidade de água e doses de gesso agrícola nas relações hídricas da seringueira*. Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal, v.5, n.1, 31-34, 1993.
- DE-POLLI, H.; ALMEIDA, D.L. de; SANTOS, G. de A.; CUNHA, L.H.; FREIRE, L.R.; SOBRINHO, N.M.B. do A.; PEREIRA, N.N.C.; EIRA, P.A. da ; BLOISE, R.M.; SALEK, R.C. *Manual de adubação para o estado do Rio de Janeiro*. Série Ciências Agrárias, n. 2, Ed. Universidade Rural, 1988.179p.
- ERNANI, P.R.: A grande mobilidade de cátions ocasionada pelo gesso.
- ERNANI, P.R. et al.: Modificações químicas em solos ácidos ocasionadas pelo método de aplicação de corretivo da acidez e de gesso agrícola. *Scientia Agrícola*, 58-nº 4, 2001.
- ERNANI, P.R. Alterações em algumas características químicas da camada arável do solo pela aplicação de gesso agrícola sobre a superfície de campos nativos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. Campinas, SP, v.10, p.241-245, 1986.
- ERNANI, P. R. Efeito da Aplicação de Gesso Agrícola na Disponibilidade e na Lixiviação de Cátions no Solo. In: XVII Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo, 1986.
- ERNANI, P. R. et al. Eficiência agrônômica do gesso agrícola no sul do Brasil. *Anais II Seminário sobre o uso do gesso na agricultura*. Uberaba, 1992.
- ERNANI, P. R.; CASSOL, P. C.; MORIGUTTI, H.; GARCIA, M.; VACARO, M. Aplicação de gesso agrícola e lixiviação de potássio em solos caratinenses. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, Florianópolis, v.1, n.1, p.7-16, 1993.
- ERNANI, P. R.: M.F.S. RIBEIRO; BAYER, C. Modificações químicas em solos ácidos ocasionadas pelo método de aplicação de corretivos da acidez e de gesso agrícola. *Scientia Agrícola*, Piracicaba, SP, v.58, n.4, p.825-831, 2001.
- MEURER, E.J. *Fundamentos de química do solo*. 2ª edição Porto Alegre, Ed. Gênese, 290p. 2004.
- NAHAS, E.; DELFINO, J.H.; ASSIS, L.C. *Atividade microbiana e propriedades bioquímicas do solo resultantes da aplicação de gesso agrícola na cultura do repolho*. *Scientia Agrícola*, v.54, n.3, Piracicaba, set/dez, 1997. Disponível em: [http://www.scielo.br/]. Acesso em: 07 Set 2006. doi: 10.1590/So103-90161997000200008.
- NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F. e SEDIYAMA, T. *Deficiência de manganês em plantas de soja cultivadas em solos de cerrado*. R. Bras. Ci. Solo, 13:199-204, 1989.
- PRIMAVESI, A. *Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais*, Ed. Nobel, São Paulo. 2002. 549p.
- RODRIGUES, J.F.; GUEDES, G.A. de A.; FERREIRA, M.M.; EVANGELISTA, A.R.: *Influência na combinação calcário-gesso agrícola na produção de matéria seca do sistema radicular e da parte aérea do capim andropogon (Andropogon gayanus Kunth Var. bisquamulatus cv. Planaltina)*. *Ciência Animal Brasileira*, v.3, n.2, p1-6, jul./dez. 2002.
- SABINO, N.P.; SILVA, N.M. da; KONDO, J.I. *Características do capulho e propriedades tecnológicas da fibra do algodoeiro em função da calagem e gessagem*. *Bragantia*, v.57, n.2, 1998.
- SOUSA, D.M.G. de; VILELA, L.; LOBATO, E.; SOARES, W.V. *Uso de gesso, calcário e adubos para pastagens no cerrado*. Circular Técnica, Embrapa-Cerrados, Planaltina, n.12, p.1-22, 2001.
- VELOSO, C.A.C.; BORGES, A.L.; MUNIZ, A.S.; VEIGAS, I.A. de J.M. *Efeitos de diferentes materiais no pH do solo*. *Scientia Agrícola*, Piracicaba-SP, 49(1):123-128, 1992.
- VITTI, G.C.; FERREIRA, M.E.; MALAVOLTA, E. *Respostas de culturas anuais e perenes*. In: *Seminário sobre o uso de fosfogesso na agricultura*, 1, Brasília, 1985. *Anais*. Brasília, EMBRAPA-DDT, 1986. p.17-44.
- ZONTA, E. *Estudos da tolerância ao alumínio em arroz de sequeiro e seus efeitos sobre a interface solo-planta*. Seropédica. Rio de Janeiro. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Instituto de Agronomia. 2003. 139 p.

# Capítulo 18 - Uso de zeólitas na agricultura

## Os autores

### Alberto C. de Campos Bernardi

Engenheiro Agrônomo, D.Sc., Chefe Adjunto Pesquisa e Desenvolvimento - Embrapa Pecuária Sudeste.  
E-mail: bernardialberto@cppse.embrapa.br

### Marisa Bezerra de Mello Monte

Engenheira Química, D.Sc em Engenharia Metalúrgica (COPPE/UFRJ).  
E-mail: mmonte@cetem.gov.br

## 1. Introdução

Zeólitas são minerais aluminossilicatos cristalinos hidratados de metais alcalinos ou alcalinos-terrosos, estruturados em redes cristalinas tridimensionais rígidas, formadas por tetraedros de  $AlO_4$  e  $SiO_4$ , cujos anéis ao se unirem compõem um sistema de canais, cavidades e poros. Devido às suas características físicas e químicas, as utilizações destes minerais têm sido muito amplas, sendo que as principais são (REZENDE, 1997; LUZ, 1994, MUMPTON, 1999):

- substratos artificiais para cultivo de plantas;
- agente solubilizador de apatitas para a adubação fosfática de culturas;
- condicionadores de solos agrícolas;
- produção de fertilizantes de liberação lenta;
- formulações de herbicidas, inseticidas e fungicidas;
- descontaminação de metais pesados (Cu, Cr, Pb, Zn etc) e isótopos radioativos ( $Sr^{90}$ ,  $Cs^{137}$  etc.);
- descontaminação de micotoxinas (aflotoxinas) em alimentos;
- suplemento na alimentação animal;
- camas para animais domésticos;
- tratamento de esterco e resíduos orgânicos;
- preservação de grãos e sementes;
- preservação de frutas;

- produção de compostos por processos aeróbios e anaeróbios;
- produção de adubos organo-minerais;
- tratamento de água para consumo humano e animal;
- tratamento de águas contaminadas;
- construção civil;
- filtros para indústria;
- tratamentos médicos.

Neste capítulo são apresentadas as principais características e propriedades das zeólitas naturais, com ênfase especial no uso agrícola destes minerais. São apresentados os mecanismos que possibilitam o aumento da eficiência de utilização dos fertilizantes minerais pelo seu uso. Vários resultados obtidos no Brasil, com zeólita nacional, são apresentados.

## 2. Zeólitas

As zeólitas são aluminossilicatos cristalinos hidratados de metais alcalinos ou alcalinos-terrosos, estruturados em redes cristalinas tridimensionais rígidas, formadas por tetraedros de  $AlO_4$  e  $SiO_4$ , de constituição  $TO_4$  (T = Si, Al, B, Ge, Fe, P, Co...), ligados entre si por átomos de oxigênio (LUNA e SCHUCHARDT, 2001; LUZ, 1994). Nas zeólitas mais comuns, na fórmula  $TO_4$ , T representa o Si ou o Al. A fórmula química por célula unitária é:

$M_{x/n} [(AlO_2)_x (SiO_2)_y] \cdot m H_2O$ , onde:

— M é o cátion de valência n, m é o número de moléculas de água e (x + y) é o número de tetraedros por célula unitária.

Considerando a carga trivalente do alumínio em especial, os tetraedros  $AlO_4$  induzem cargas negativas na estrutura das zeólitas. As zeólitas são catalisadoras eficientes porque a aproximação forçada entre moléculas reagentes, sob a influência dos fortes potenciais eletrostáticos existentes no interior dos canais e cavidades, provoca o abaixamento da energia de ativação necessário ao fenômeno da catálise (LUNA e SCHUCHARDT, 2001; LUZ, 1994).

Estes aluminossilicatos cristalinos compõem um grupo com cerca de 50 tipos de zeólitas de ocorrência natural. Os anéis de tetraedros de  $AlO_4$  e  $SiO_4$ , ao se unirem, compõem um sistema de canais, cavidades e poros. A carga negativa do arranjo aniônico de Al-O-Si se compensa com cátions trocáveis, como  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$  e  $Ba^{+2}$ , os quais ocupam sítios específicos nas cavidades e canais do concentrado zeolítico. A estrutura

tridimensional, na forma de canais e cavidades interconectadas, confere aos concentrados zeolíticos vantajosas características e propriedades, como: alto grau de hidratação; baixa densidade e grande volume de vazios (quando desidratadas); estabilidade da estrutura cristalina; elevada capacidade de troca catiônica; canais uniformes (mesmo desidratada); capacidade de captura de gases e vapores e propriedades catalíticas (VAUGHAN, 1978; MING e MUMPTON, 1989). A Tabela 2.1 ilustra estas características de algumas zeólitas.

Estes minerais caracterizam-se pela facilidade de reter e liberar água e trocar cátions sem modificar sua estrutura (MUMPTON, 1999; KITHOME *et al.*, 1999), a qual apresenta propriedades de adsorção e capacidade de troca de íons, proporcionando o uso potencial, seja no campo ou em cultivo com substratos (HARLAND *et al.*, 1999). Existem cerca de 50 espécies de zeólitas naturais, sendo a clinoptilolita, aparentemente, a mais abundante tanto nos solos como em sedimentos (MING e DIXON, 1987).

Tabela 2.1 - Fórmulas e propriedades de algumas espécies de zeólitas.

Zeólita	Fórmula	Volume vazio* %	Dimensão dos canais A	Estabilidade térmica	CTC meq g <sup>-1</sup>
Analcima	$Na_{16}(Al_{16}Si_{32}O_{96}) \cdot 122H_2O$	18	2,6	Alta	4,54
Chabazita	$(Na_2, Ca)_6(Al_{12}Si_{24}O_{72}) \cdot 40H_2O$	47	3,7 X 4,2	Alta	3,81
Clinoptilolita	$(Na_4K_4)(Al_8Si_{40}O_{96}) \cdot 24H_2O$	39	3,9 X 5,4	Alta	2,54
Erionita	$(Na, Ca_5, K)_9(Al_9Si_{27}O_{72}) \cdot 27H_2O$	35	3,6 X 5,2	Alta	3,12
Faujasita	$Na_{58}(Al_{58}Si_{134}O_{384}) \cdot 27H_2O$	47	7,4	Baixa	3,39
Ferrierita	$(Na_2Mg_2)(Al_6Si_3O_{72}) \cdot 18H_2O$	39	4,3 X 5,5 3,4 X 4,8	Baixa	2,33
Heulandita	$Ca_3(Al_8Si_{28}O_{72}) \cdot 24H_2O$	28	4,0 X 5,5 4,4 X 7,2 4,1 X 4,7	Alta	2,91
Laumontita	$Ca_4(Al_8Si_6O_{48}) \cdot 16H_2O$	31	4,6 X 6,3	Baixa	4,25
Mordenita	$Na_8(Al_8Si_{40}O_{96}) \cdot 24H_2O$	47	2,9 X 5,7 6,7 X 7,0	Alta	2,29
Phillipsita	$(Na, K)_{10}(Al_{10}Si_{22}O_{64}) \cdot 20H_2O$	50	4,2 X 4,4 2,8 X 4,8 3,3	Alta	3,87
Estilbita	$(CaO)_{0,82} (Na_2O)_{0,19} (K_2O)_{0,15} (MgO)_{0,56} (Fe_2O_3)_{0,30} (TiO_2)_{0,11} (Al_2O_3)_{3,185} (SiO_2)_{2,16} (H_2O)_{4,7}$				2,5

\*Determinado pelo conteúdo de água.

## 2.1. Ocorrências geológicas

As zeólitas naturais são formadas a partir da precipitação de fluidos contidos nos poros, tal como nas ocorrências hidrotermais, ou pela alteração de vidros vulcânicos. As condições de temperatura, pressão, atividade das espécies iônicas e pressão parcial da água são fatores determinantes na formação das diferentes espécies de zeólitas (LUZ, 1994).

A maioria das ocorrências de zeólita pode ser encontrada em um destes seis ambientes geológicos: salino ou lagos alcalinos, solos alcalinos, diagenético, sistema aberto, hidrotermal e sedimentos marinhos (CLIFTON, 1987; MUMPTON, 1973; LUZ, 1994).

## 2.2. Reservas de zeólitas naturais

Os dados sobre reservas mundiais de zeólita são pouco conhecidos (LUZ, 1995). O *U.S. Geological Survey* estima que a produção anual mundial de zeólitas naturais estejam entre 2,5 e 3 milhões de toneladas (VIRTA, 2007). Estes dados são baseados em relatos de alguns países produtores, como China (de 1,75 a 2,25 milhões t), Japão (140 a 160 mil t), Coréia do Sul (175 mil t), Estados Unidos (65 mil t) e Cuba (35 a 45 mil t). Existem mais de 50 tipos diferentes de zeólitas naturais, sendo que as mais exploradas no mundo são a clinoptilolita, mordenita, hellandita e phillipsita.

No Brasil, não se tem notícia de exploração comercial em depósitos naturais de zeólitas. Existem apenas alguns estudos sobre ocorrências que não apresentaram a análise de aproveitamento econômico (LUZ, 1994). Os basaltos e diabásios da bacia do Paraná são, muitas vezes, portadores de vários tipos de zeólita (analcima, chabazita, thomsonita, clinoptilolita, natrolita, scolecita, mesolita, laumontita, stilbita, stellerita e heulandita). Nos basaltos, esses minerais ocorrem em cavidades, enquanto, nos diabásios, localizam-se nas zonas de cisalhamento (FRANCO, 1952). Murata *et al.* (1987) estudaram a possibilidade de definir, em profundidade, um zoneamento das espécies de

zeólita, nas pilhas de lavas da bacia do Paraná. As primeiras ocorrências de zeólita no Nordeste foram noticiadas por Bhaskara Rao e Silva (1963), que identificaram chabazita, heulandita, stilbita e mordenita nas drusas e cavidades da zona de contato dos tactitos e micaxistos em Currais Novos, RN. Em amostras coletadas nas fraturas do diabásio, no município de Campinas, SP, foram identificadas as zeólitas laumontita e lenhordita (SVISERO e ANACLETO, 1974). Na Bacia do Parnaíba, no estado do Maranhão, está provavelmente o principal depósito de zeólita natural do Brasil com potencial de aproveitamento econômico (REZENDE e ANGÉLICA, 1991); a forma predominante é da zeólita estilbita.

## 2.3. Custos do produto

Eyde e Holmes (2006) relataram que, nos Estados Unidos, os preços de zeólita para utilização industrial ou agrícola variaram de 30 a 70 dólares por tonelada, para produtos de granulometria mais grosseira (abaixo de 40 mesh), e de 50 a 120 dólares por tonelada, para os produtos mais finamente moídos (40 a 325 mesh). Para produtos como controle de odores ou uso em piscicultura os preços variaram de US\$ 0,50 ao US\$ 4,50 por quilograma. Estes dados econômicos reforçam a idéia do potencial do Brasil para exploração das zeólitas.

## 2.4. Estimativa de consumo

De acordo com Virta (2007), aproximadamente 55.800 t de zeólitas naturais foram comercializadas em 2006, nos Estados Unidos, sendo que, em 2005, este valor foi de 58.000 t. Os destinos da zeólita foram, em ordem decrescente, alimentação animal, camas para animais domésticos (*pet litter*), purificação de água, controladores de odor, aplicações em horticultura (condicionador de solo e substrato de cultivo), absorvente de óleo, carreador de fungicida ou inseticida, absorvente de gases, tratamento de esgoto, dessecante e aqüicultura, sendo que os três primeiros itens corresponderam a, aproximadamente, 70% do total comercializado.

### 3. Utilização na agricultura

As três propriedades principais destes minerais, que são a alta capacidade de troca de cátions, alta capacidade de retenção de água livre nos canais e a alta habilidade na captura de íons, conferem-lhes grande interesse para uso na agricultura.

As zeólitas podem apresentar variações nas propriedades químicas e físicas e, conseqüentemente, nas possibilidades de uso agrícola. A zeólita clinoptilolita foi utilizada com sucesso na retenção de  $\text{NH}_4$  (MACKOWN e TUCKER, 1985; FERGUSON e PEPPER, 1987; ALLEN *et al.*, 1993) e para aumentar a liberação de fósforo da rocha fosfática (LAI e EBERL, 1986; BARBARICK *et al.*, 1990; Allen *et al.*, 1993). A philliposita também já foi utilizada nesta função (MNKENI *et al.*, 1994). Por outro lado, a erionita e laumonita são consideradas menos eficientes para estes usos (MACKOWN e TUCKER, 1985; TAYLOR *et al.*, 1990).

#### 3.1. Eficiência do uso de nutrientes

A zeólita pode atuar na melhoria da eficiência do uso de nutrientes pelo aumento da disponibilidade de P da rocha fosfática, no melhor aproveitamento do N ( $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$ ) e na redução das perdas por lixiviação dos cátions trocáveis (especialmente  $\text{K}^+$ ). Tem sido utilizada também no cultivo zeopônico de plantas em substrato artificial, composto por minerais zeolíticos misturados a rochas fosfáticas, o qual funciona como um sistema de liberação controlada e renovável de nutrientes para as plantas (ALLEN *et al.*, 1995; NOTARIO-DEL-PINO *et al.*, 1994; BARBARICK *et al.*, 1990; HARLAND *et al.*, 1999; GÜL *et al.*, 2005).

##### 3.1.1. Diminuição das perdas de nitrogênio

Existem múltiplos processos que interferem na complexa dinâmica do N no solo, como lixiviação, volatilização, imobilização-mobilização, nitrificação, desnitrificação e mineralização. Estes processos podem ocasionar grandes modificações na disponibilidade e necessidade deste nutriente para as plantas. Por isso, o conhecimento e quantificação das formas de perdas do fertilizante nitrogenado aplicado ao solo são essenciais para estabelecer

estratégias visando aumentar a eficiência de uso e minimizar seu impacto ambiental. As perdas podem ocorrer pela erosão, lixiviação do nitrato, volatilização da amônia ou desnitrificação.

A perda de nitrogênio (N) por volatilização de amônia ( $\text{NH}_3$ ) para a atmosfera é um dos principais fatores responsáveis pela baixa eficiência da uréia aplicada sobre a superfície do solo. O processo de volatilização envolve, inicialmente, a hidrólise da fonte nitrogenada por meio da urease, uma enzima produzida por bactérias, actinomicetos e fungos do solo ou, ainda, originada de restos vegetais. Como resultado da hidrólise, tem-se a formação de carbonato de amônio. O carbonato de amônio resultante da hidrólise da uréia não é estável e desdobra-se em  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}_2$  e água. Parte do  $\text{N-NH}_3$  formado reage com íons  $\text{H}^+$  da solução do solo e com íons  $\text{H}^+$  dissociáveis do complexo coloidal, resultando no cátion  $\text{NH}_4^+$ . Entretanto, a neutralização da acidez potencial determina a elevação do pH, que pode atingir valores acima de 7 na região próxima aos grânulos do fertilizante aplicado. Na camada próxima à aplicação do fertilizante, constatou-se aumento do pH em água de 6,9 para 8,7 (RODRIGUES e KIEHL, 1992).

A quantidade de N perdido por volatilização, após a aplicação de uréia sobre a superfície do solo, pode atingir valores extremos próximos a 80% do N aplicado (LARA CABEZAS *et al.*, 1997). Essas perdas variam muito em função das condições climáticas e do tipo de solo, teores de argila, matéria orgânica e capacidade de troca de cátions do solo (BOUWMEESTER *et al.*, 1985; RODRIGUES e KIEHL, 1986; AL-KANANI *et al.*, 1991).

As perdas de N podem ser reduzidas utilizando as zeólitas como aditivo aos fertilizantes, para controlar a retenção e liberação de  $\text{NH}_4^+$ . O princípio da ação da zeólita na conservação do amônio é a diminuição da concentração do elemento na solução pela troca de cátions. Além de reter grandes quantidades do íon amônio, este mineral ainda interfere no processo de nitrificação (FERGUNSON & PEPPER, 1987; LAI & EBERL, 1986). Assim, é esperado que a mistura de zeólitas com uréia possa aumentar a eficiência do uso desta fonte nitrogenada.

Os resultados obtidos em experimentos realizados em Cuba são um indicativo positivo da combinação do uso de zeólitas e uréia. Crespo (1989) mostrou, em um experimento de vaso, que, com o uso de 180g de zeólita (70% clinoptilolita), houve um aumento em torno de 130% da eficiência do uso e da extração de nitrogênio e da produção de matéria seca de *Brachiaria decumbens*. Na cultura do pepino, a adição de 25% de zeólita à formulação NPK 6.3-9-12 (aplicada na dose de 745 kg ha<sup>-1</sup>) resultou em maiores frutos (CARRION *et al.*, 1994). O efeito da zeólita está relacionado ao tipo de solo, assim doses maiores foram necessárias para obter-se aumentos da produtividade de cana-de-açúcar, à medida que a fertilidade do solo e o teor de argila aumentaram, como foi observado por Bouzo *et al.* (1994). Os autores também mostraram que foi possível triplicar a produtividade da cana-de-açúcar com o uso de 6 t ha<sup>-1</sup> de zeólita, na linha de plantio em um Oxisol. Existem resultados positivos descritos com a utilização de zeólitas recobrindo os grânulos de uréia. Carrion *et al.* (1994) relataram os resultados obtidos com uma série de experimentos com utilização associada de zeólita (31,5% clinoptilolita e 56% mordenita) e uréia. A aplicação de 150 kg ha<sup>-1</sup> de N, na forma de da uréia recoberta, com 5 a 10% de zeólita (granulometria de 1 mm) aumentou a produtividade das culturas de arroz e tomate, além de melhorar a qualidade do fruto, comparada à aplicação apenas de uréia.

Existem estudos mostrando também que a zeólita, ao adsorver o NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, pode contribuir para reduzir suas perdas do solo. Mackown e Tucker (1985) verificaram que a clinoptilolita-NH<sub>4</sub> diminuiu a nitrificação de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> para NO<sub>3</sub><sup>-</sup> em até 11%. A diminuição foi resultado da retenção de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> pela clinoptilolita em locais onde as bactérias nitrificantes não podiam oxidar o NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.

### 3.1.2. Solubilização da rocha fosfática

Os fosfatos solúveis em água são as melhores fontes de adubos fosfatados, porém, apresentam custos mais elevados (RAIJ *et al.*, 1992). Existem fosfatos de rocha nacionais, que são de menor preço, mas não são aceitos pelos produtores por

serem de baixa eficiência agrônômica em relação às fontes solúveis.

Os fosfatos naturais aumentam sua eficiência com o passar do tempo, devido ao acréscimo em sua solubilização, mas necessitam de certa acidez e contato com o solo para que sejam solubilizados, sugerindo que, para sua utilização, deve haver incorporação ao solo e certo período de incubação.

Considerando que os fertilizantes fosfatados são essenciais no aumento da produtividade agrícola e que seu uso está relacionado a um maior custo de produção das explorações agrícolas, torna-se necessário aprimorar técnicas e conhecimentos, como a utilização de zeólitas modificadas com rocha fosfática, para aumentar a eficiência do uso destes fertilizantes.

Zeólitas modificadas por diferentes vias por meio da troca com cátions monovalentes (como H<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, K<sup>+</sup> ou Na<sup>+</sup>) podem solubilizar o fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) da rocha fosfórica (ALLEN *et al.*, 1993; ALLEN *et al.*, 1995; PICKERING *et al.*, 2002; BARBARICK *et al.*, 1990). Os resultados de Tung-Ming e Dennis (1986), na Tabela 3.1, indicam que a solubilização do fósforo da rocha fosfórica com o uso de zeólita, com cátions de amônio e sódio, foi três vezes superior à da zeólita natural, e a forma ácida significativamente superior às outras formas.

**Tabela 3.1** - Solubilização de fósforo em função dos cátions presentes no mineral zeolítico.

Formas do mineral Zeolítico	P liberado (mg L <sup>-1</sup> )	pH final
Natural	2,84	7,35
Saturada com NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	8,28	8,07
Saturada com Na <sup>+</sup>	10,38	7,63
Saturada com H <sup>+</sup>	67,60	3,75
Rocha fosfórica	0,55	7,20

Fonte: Tung-Ming e Dennis, 1986.

Existem vários mecanismos que podem explicar estes resultados.

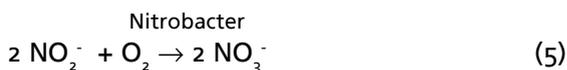
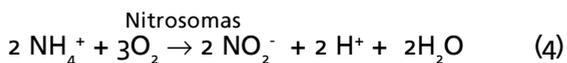
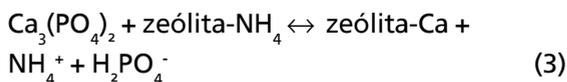
A diluição da hidroxiapatita no solo (MARCILLE-KERSLAKE e VAN STRAATER, 1991) depende principalmente da acidez do solo e da reatividade do fosfato, sendo expressa da seguinte maneira:



Segundo a lei de ação de massas, um aumento na concentração de  $\text{Ca}^{+2}$  diminuirá a velocidade de solubilização da rocha fosfórica e também a liberação de  $\text{P}_2\text{O}_5$  às plantas. A presença de zeólita possibilita a retenção de  $\text{Ca}^{+2}$  e a conseqüente diminuição da concentração do cátion  $\text{Ca}^{+2}$  no sistema favorece a solubilização da rocha fosfórica, mediante a reação:

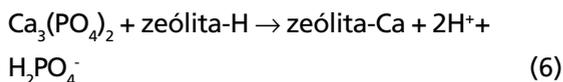


No caso de uma zeólita amônica (BARBARICK *et al.*, 1990), a troca de íons  $\text{NH}_4^+$  com o solo pode induzir um processo de nitrificação, como nas reações:

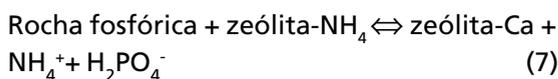


O aumento de íons  $\text{H}^+$  no solo, devido às reações (2) e (4), pode favorecer o aumento da solubilidade dos fosfatos naturais como na equação (1).

Uma zeólita ácida ( $\text{H}^+$ ) influi (TUNG-MING, 1985) em dois sentidos na solubilidade do  $\text{P}_2\text{O}_5$ : os íons  $\text{H}^+$  trocados podem diminuir o pH do solo e favorecer a equação (1); ou a zeólita pode captar os íons  $\text{Ca}^{+2}$ , segundo a equação:



Existe ainda o modelo de liberação de fósforo baseado na dissolução e trocas induzidas proposto por Allen *et al.* (1993), que pode ser resumido pela equação:



Neste modelo, o  $\text{NH}_4^+$  liberado para a solução do solo é absorvido pelas raízes das plantas, induzindo novas liberações de  $\text{NH}_4^+$  do complexo de troca. Os sítios de troca vazios são ocupados por  $\text{Ca}^{+2}$ ,

induzindo a dissolução da rocha fosfórica e liberando o fósforo para a solução. Dessa forma, a liberação de fósforo ocorrerá a taxas determinadas pelas taxas de absorção de  $\text{NH}_4^+$  pelas plantas, cujo crescimento será aumentado com a maior disponibilidade de fósforo no meio de cultivo.

### 3.2. Substratos enriquecidos

Para atender à necessidade de aumento de produção vegetal, surgiram novos sistemas de cultivo, em alternativa ao sistema tradicional a campo, como os protegidos (túneis e estufas) e o hidropônico. Existe ainda uma nova possibilidade que é o cultivo zeopônico, no qual plantas são cultivadas em substrato artificial composto pelo mineral concentrado zeolítico misturado a rochas fosfáticas e que funciona como um sistema de liberação gradativa e renovável de nutrientes para as plantas.

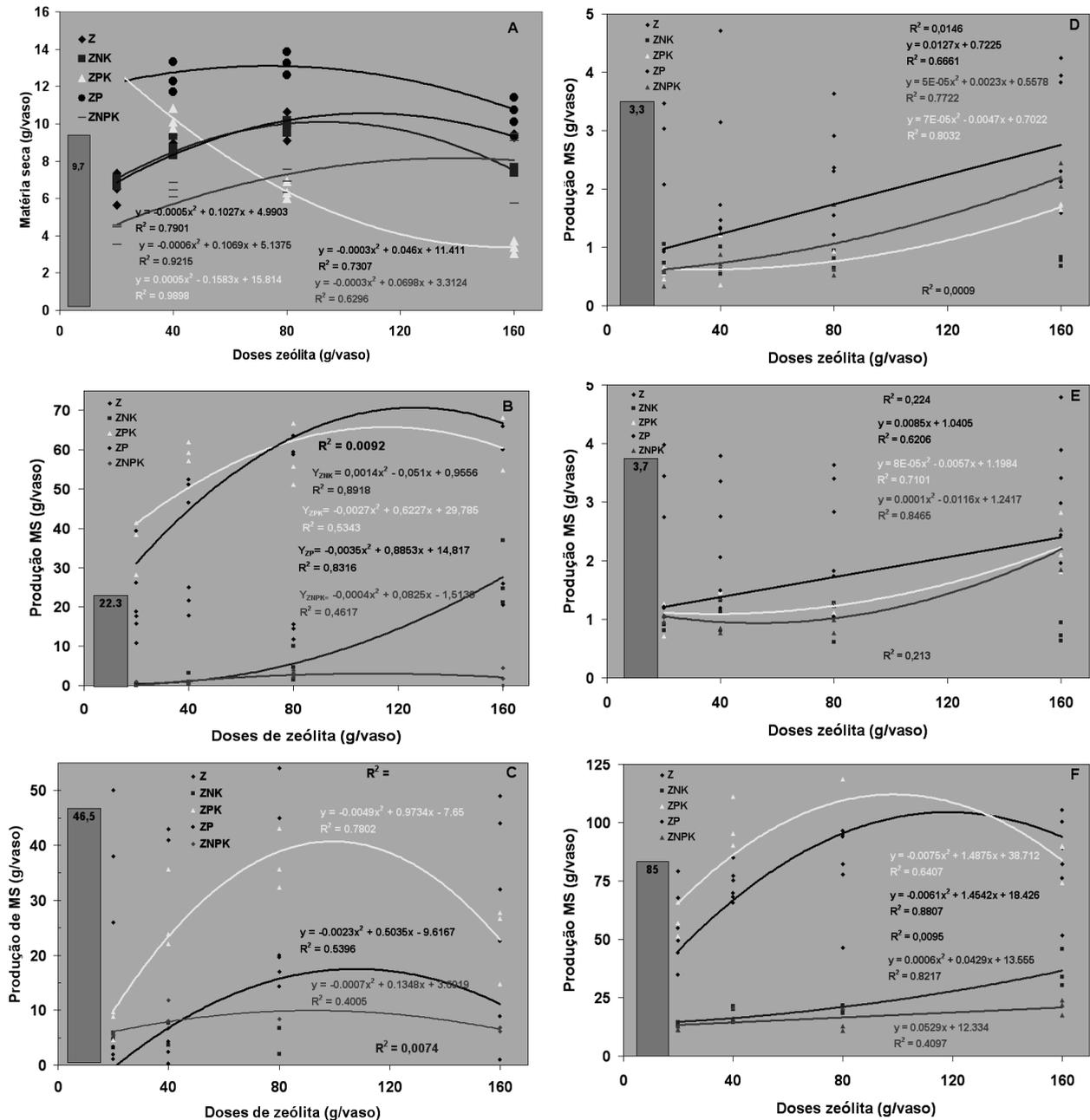
De acordo com Leggo (2000), em função da afinidade da zeólita por nutrientes, este mineral pode ser utilizado em substratos para estimular o crescimento das plantas. A mistura de zeólitas também apresentou efeitos positivos sobre o crescimento de plantas de alface (GÜL *et al.*, 2005) e tomate (VALENTE *et al.*, 1986).

Bernardi *et al.* (2004b) avaliaram o efeito de zeólitas enriquecidas com NPK no substrato de cultivo sobre a produção e extração de nutrientes pelas culturas do alface, tomate, arroz e uma forrageira - capim-andropogon. A zeólita natural estilbita foi concentrada e enriquecida. Os tratamentos formaram cinco tipos de zeólitas enriquecidas: zeólita concentrada (Z); zeólita +  $\text{KNO}_3$  (ZNK); zeólita +  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  (ZPK); zeólita +  $\text{H}_3\text{PO}_4$  e apatita (ZP), mistura das zeólitas  $\text{KNO}_3$  e  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  (ZNP), além de um tratamento testemunha, sem adição de zeólita cultivado com solução nutritiva. Utilizaram-se quatro níveis de zeólitas enriquecidas: 20, 40, 80 e 160 g por vaso. Os resultados (Figura 3.1) indicaram que o fornecimento de nutrientes pelo mineral zeólita enriquecido com NPK é uma alternativa viável para a obtenção de plantas no sistema zeopônico. Os concentrados zeolíticos enriquecidos funcionaram adequadamente como

fonte de nutrientes de liberação lenta, sendo que os melhores efeitos sobre a produção de matéria seca (MS) total pelos quatro cultivos sucessivos (em ordem decrescente) foram os tratamentos: zeólita +  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  (ZPK) > zeólita +  $\text{H}_3\text{PO}_4$  + apatita (ZP) >

zeólita concentrada (Z) > zeólita +  $\text{KNO}_3$  (ZNK) > mistura das zeólitas  $\text{KNO}_3$  e  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  (ZNPk).

No entanto, não bastam alternativas viáveis para o aumento quantitativo da produção, pois os consumidores têm se tornado mais exigentes, havendo



Fonte: adaptado de Bernardi et al., 2004b.

**Figura 3.1** - Resultados para produção de matéria seca do alface (A), tomate (B), arroz (C), primeiro e segundo cortes do capim-andropogon (D e E), cultivados com doses de concentrado zeolítico com adição de N, P, K e total (F). A barra indica os valores médios observados para as testemunhas.

do necessidade de obter-se principalmente produtos de qualidade. No caso das hortaliças utilizadas naquele estudo, como a alface, a aparência é o atributo que mais causa impacto na escolha por parte do consumidor e, dentro desta, a cor é a característica mais relevante. Isto porque a cor caracteriza sobremaneira o produto, constituindo-se no primeiro critério para sua aceitação ou rejeição. Por isso, Bernardi *et al.* (2005) avaliaram a qualidade visual das alfaces realizando um teste de preferência com 53 provadores.

Os resultados deste teste (Tabela 3.2) indicaram que as alfaces preferidas foram a testemunha, cujos nutrientes foram fornecidos em quantidades adequadas através de solução nutritiva, e as alfaces obtidas no substrato com o tratamento ZP80 (zeólita + apatita, na dose de 80 g por vaso). Os outros tratamentos ZP (160, 40 e 20), ZNK80 e ZPK20 também obtiveram altas preferências de compra pelos provadores. Em trabalho recente, Bernardi *et al.* (2007) avaliaram a qualidade dos frutos de tomateiro cv. Finestra, cultivado em substrato com zeólita enriquecida com N, P e K, e observaram que houve efeitos positivos das zeólitas enriquecidas com fontes de fósforo sobre a firmeza e efeito negativo sobre o pH. O aumento da disponibilidade de potássio contribuiu para o aumento do teor de ácido ascórbico dos frutos (Tabela 3.3).

**Tabela 3.2** - Somatório das notas das alfaces cultivadas em substratos com zeólita enriquecidas pelos provadores\*.

Tratamentos	Cor	Tamanho	Lesões	Preferência
Z 20	304 ab	489 c	277 b	354 b
Z 40	367 b	445 c	316 b	367 b
ZP 20	307 ab	253 ab	302 b	321ab
ZP 40	276 ab	195 a	341 b	295 ab
ZP 80	255 ab	203 a	296 b	234 a
ZP 160	243 a	183 a	322 b	282 ab
ZNK 40	436 b	513 c	436 c	504 c
ZNK 80	296 ab	321 b	239 ab	250 ab
ZPK 20	272 ab	272 ab	192 ab	267ab
ZPK 40	310 ab	290 ab	374 b	383 b
Testemunha	356 b	319 b	162 a	222 a

Valores seguidos de letras diferentes diferem estatisticamente pelo teste de Friedman. Diferença mínima = 112. \* Os valores menores indicam maior preferência.

A NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) está desenvolvendo sistemas que permitem cultivar plantas no espaço, baseando-se na utilização de substratos resultantes da mistura de clinoptilolita e apatita (MING *et al.*, 1995). Este substrato zeopônico, que consiste de clinoptilolita enriquecida com  $NH_4^+$  e  $K^+$  e apatita sintética, fornece os nutrientes essenciais para o crescimento vegetal pela dissolução e troca iônica, apenas com a adição de água (ALLEN *et al.*, 1993).

O sistema de produção de mudas de citros, em ambiente protegido, utilizando substratos, visa melhorar as condições fitossanitárias, promover um crescimento mais intenso e padronizar o processo de formação dos porta-enxertos e mudas. Neste sistema, ocorre um grande crescimento das plantas em curto espaço de tempo e em volume reduzido para o desenvolvimento do sistema radicular. Portanto, o fornecimento de nutrientes em doses adequadas e balanceadas é necessário para estimular o crescimento máximo e para que perdas por lixiviação sejam evitadas. A adubação dos porta-enxertos e mudas em recipientes pode ser realizado por fertirrigação, adubações de cobertura e foliar e, também, pelo pré-enriquecimento do substrato (que inclui os fertilizantes de liberação lenta). A adição do mineral zeólita ao substrato de cultivo funciona como um sistema de liberação lenta, controlada e renovável de nutrientes para as plantas.

Bernardi *et al.* (2004a) avaliaram o efeito da adição de um concentrado zeolítico enriquecido com NPK ao substrato de cultivo sobre o crescimento do limoeiro 'Cravo' até os 90 dias. Os resultados (Figura 3.2) indicaram que a adição de 6,2 g do concentrado zeolítico enriquecido com NPK (70% zeólita natural com  $KNO_3$  e 30% zeólita natural acidificada em mistura com apatita) aumentou significativamente as produções de matéria seca das folhas, caule, raízes (primárias e secundárias) e total e, também, a altura e diâmetro de caule.

**Tabela 3.3** - Produção e parâmetros de qualidade de frutos do tomateiro cv. Finestra cultivado em substrato com zeólitas.

Tratamentos	Produção (g por vaso)	Firmeza N	Sólidos totais °Brix	pH	Acidez titulável % ac. cítrico	Ácido ascórbico <sup>(1)</sup> mg 100g <sup>-1</sup>
Z 20	589,0 cde	7,38 ef	3,50	4,21 abc	0,60 a	16,54 b
Z 40	587,6 cde	7,08 f	3,60	4,14 bcd	0,53 ab	17,68 b
ZP 20	446,3 f	8,17 def	3,63	4,07 cd	0,40 ab	16,65 b
ZP 40	300,1 g	9,56 cdef	3,40	4,10 cd	0,40 ab	16,83 b
ZP 80	521,3 def	12,20 abc	3,53	4,12 cd	0,33 b	16,59 b
ZP 160	711,2ab	12,95 ab	3,35	4,17 abcd	0,33 b	19,12 b
ZPK 20	339,6 g	10,46 bcde	3,20	4,28 ab	0,43 ab	7,84 c
ZPK 40	479,0 ef	14,38 a	3,47	4,32 a	0,40 ab	10,26 c
ZPK 80	616,1 bcd	11,13 bcd	3,60	4,18 abcd	0,37 ab	19,22 b
ZPK 160	751,9 a	7,74 ef	3,77	4,05 d	0,44 ab	24,13 a
ZNK 160	114,7 h	7,06 f	3,40	4,18 abcd	0,51 ab	15,27 b
Testemunha	641,3 bc	7,36 ef	3,67	4,13 bcd	0,59 ab	16,81 b

Médias seguidas de letras diferentes diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5%.

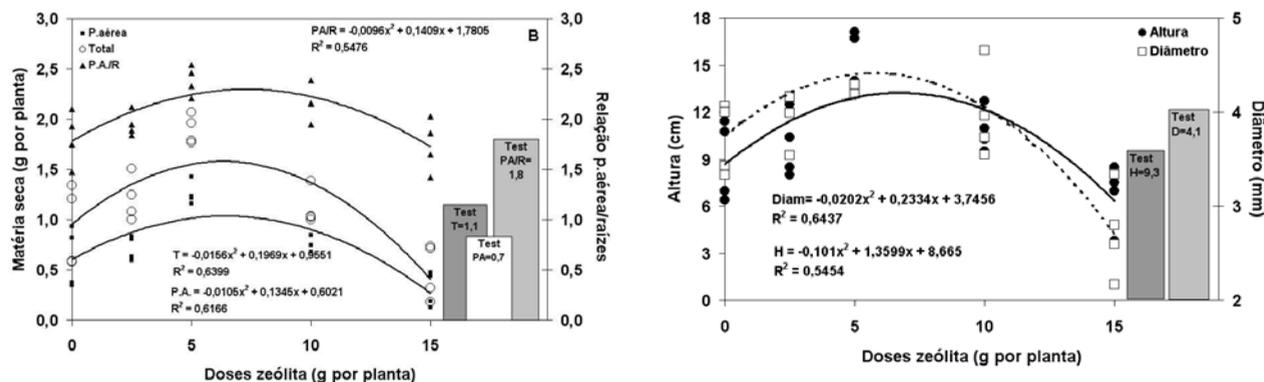
(1) Concentração de ácido ascórbico com base na matéria fresca (mg 100g<sup>-1</sup>).

(2) CV% = coeficiente de variação;

\*, \*\*, \*\*\* indicam significância para p < 0,05; 0,01; e 0,001, respectivamente.

N.S. indica não significativo.

Fonte: Bernardi et al., 2004a.



Fonte: Bernardi et al., 2004a.

**Figura 3.2** - Altura e diâmetro do caule e produção de matéria seca pela parte aérea, total e razão parte aérea/raízes, do porta-enxerto limoeiro 'Cravo', aos 93 dias de cultivo, em funções das doses de concentrado zeolítico enriquecido com N, P e K. As barras indicam os valores médios observados para a testemunha.

### 3.3. Zeólita em mistura com fertilizantes

As zeólitas adicionadas aos fertilizantes podem funcionar no aumento da retenção de nutrientes, melhorando a qualidade do solo. Isto acontece com relação a macronutrientes primários, como N e K, com os secundários, como Ca e Mg, e também com micronutrientes. A presença deste mineral aumenta a retenção de nutrientes na zona radicular para que possa ser utilizado pelas plantas no momento

mais necessário. Conseqüentemente, há aumento da eficiência do uso de fertilizantes pela redução das perdas por lixiviação, especialmente as de N e K, e também aumenta o crescimento (FLANIGEN e MUMPTON, 1981; MUMPTON, 1999).

Resultados obtidos por Junrungreang et al. (2002), na Tailândia, com cana-de-açúcar, indicaram os efeitos benéficos da mistura da zeólita ao fertilizante químico, uma vez que estes tratamen-

tos aumentaram significativamente a produtividade. Houve também um retorno econômico positivo da utilização do mineral (Tabela 3.4). Os resultados de Fuente-Crespo (1998), utilizando doses maiores de zeólita, mostraram que o uso deste mineral possibilitou o aumento do rendimento da cana-de-açúcar, como se observa na Tabela 3.5.

Cantera-Oceguera (2002) utilizou uma zeólita natural cubana na produção de fertilizantes granulados e demonstrou a possibilidade de utilização de 25 a 50% do mineral na fórmula 8-9-14, sem afetar os rendimentos agrícolas (Figura 3.3). Os resultados

indicaram, ainda, que houve uma diminuição de 20 a 36% nos custos da adubação.

Como pode ser observado na Tabela 3.6, a adição de 25% de zeólita natural ao fertilizante granulado aumentou o rendimento agrícola, em média, em 25,8%, nos cultivos avaliados. Foi alcançada uma melhora na eficácia de utilização dos fertilizantes minerais de 41%, indicando a possibilidade de se economizar fertilizantes minerais com a utilização da zeólita. Soca (1991) e Marcille-Kerslake (1991) encontraram resultados que confirmam estas observações.

**Tabela 3.4** - Produtividade e qualidade da cana-de-açúcar e análise econômica em função da dose de fertilizantes químicos e zeólita.

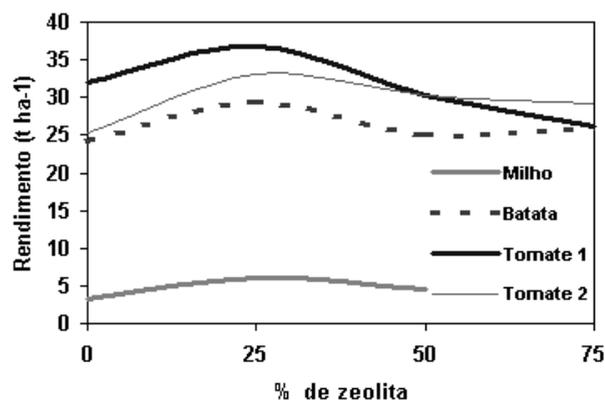
Tratamentos	Produtividade t ha <sup>-1</sup>	Brix	Custo	Receita	Lucro
			US\$ por ha		
313 kg ha <sup>-1</sup> 15-15-15	66,7 ab	23,7	596,5	845,2	248,7
625 kg ha <sup>-1</sup> 15-15-15	76,2 cde	23,3	655,1	966,3	311,2
Zeólita 125 kg ha <sup>-1</sup>	58,8 ab	23,3	569,1	745,3	176,2
Zeólita 250 kg ha <sup>-1</sup>	64,4 abc	24,3	600,4	816,3	215,9
313 kg ha <sup>-1</sup> 15-15-15 + Zeólita 125 kg ha <sup>-1</sup>	66,5 bc	23,7	627,7	842,3	214,6
313 kg ha <sup>-1</sup> 15-15-15 + Zeólita 250 kg ha <sup>-1</sup>	70,6 bcd	24,0	659,0	895,5	286,5
625 kg ha <sup>-1</sup> 15-15-15 + Zeólita 125 kg ha <sup>-1</sup>	81,3 de	23,3	686,3	1028,8	342,4
625 kg ha <sup>-1</sup> 15-15-15 + Zeólita 250 kg ha <sup>-1</sup>	90,1 e	24,0	717,6	1142,5	424,9
Testemunha	52,0 a	23,3	537,9	658,9	120,9

Fonte: Adaptado de Junrungreang *et al.*, 2002.

**Tabela 3.5** - Efeito das aplicações de zeólita sobre o rendimento agrícola da cana-de-açúcar

Zeólita aplicada (ton ha <sup>-1</sup> )	Pol (%)	Rendimentos (ton ha <sup>-1</sup> )	
		Cana	Açúcar
1,5	15,82	72,81	11,51
3,0	15,06	75,90	12,42
4,5	15,93	77,00	12,25
6,0	15,98	80,10	12,72
7,5	16,36	81,50	14,93
15,0	15,89	92,00	14,59

Fonte: Fuente-Crespo, 1998.



Fonte: Cantera-Oceguera, 2002.

**Figura 3.3** - Variação no rendimento agrícola de tomate, milho e batata em função da porcentagem de zeólita na fórmula NPK 8-9-14.

**Tabela 3.6** - Análise comparativa da eficácia de fertilizante granulado com 25% de zeólita.

Cultivo	Fórmula	Dose kg ha <sup>-1</sup>	NPK kg ha <sup>-1</sup>	Produtividade t ha <sup>-1</sup>	Incremento %	Kg NPK por ton	Eficiência %
Feijão Negro	9,5-9,5-9,5	745	212,32	1,29		164,59	
	7-7-7	745	156,45	1,50	17,0	104,30	36,63
Tomate	9,5-9,5-9,5	730	208,10	25,50		8,25	
	7-7-7	730	153,30	35,19	38,0	4,31	47,75
Feijão Carita	8-9-14	700	217,00	0,48		452,08	
	6-7-10	700	161,0	0,56	16,0	287,50	36,40
Pepino	8-9-14	780	241,60	32,40		7,46	
	6-7-10	780	179,40	43,60	35,0	4,11	44,90

Fonte: Cantera-Oceguera, 2002.

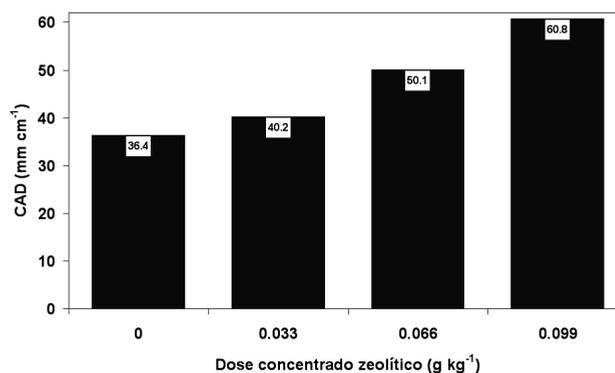
### 3.4. Condicionadores de solo

O uso de condicionadores do solo representa uma alternativa para aumentar a capacidade de retenção de água e nutrientes dos solos arenosos. O conceito de condicionadores envolve a aplicação de materiais aos solos para modificar favoravelmente propriedades físicas adversas, como baixa capacidade de retenção de água e excessiva permeabilidade. A natureza dos condicionadores é muito variável e engloba desde material natural orgânico e inorgânico, até produtos sintéticos industrializados (STEWART, 1975).

Estes produtos são capazes de reter grandes quantidades de água, sendo necessário testá-los em diferentes culturas e condições edafo-climáticas, para se definir as quantidades e formas de aplicação mais adequadas. Dentre os condicionadores naturais, as zeólitas podem ser utilizadas para aumentar a capacidade de retenção de água em solos sujeitos a déficit hídrico.

A zeólita pode aumentar a capacidade de retenção de água no solo e a disponibilidade desta para as espécies vegetais, melhorando a eficiência do uso da água (XIUBIN e ZHANBIN, 2001; MALOUPA *et al.*, 1992). Issa *et al.* (2001) observaram que as mais altas produtividades de gérberas foram obtidas quando se utilizaram substratos de cultivo com mistura de zeólita e perlita (1:1). Os autores destacaram que o rendimento positivo neste substrato foi devido à presença da zeólita, que

conferiu alta capacidade de troca de cátions, capacidade de reter e disponibilizar nutrientes, além da possibilidade de melhor manejo de água. Bernardi *et al.* (2004c) avaliaram o efeito de doses de um concentrado do mineral zeólita sobre a capacidade de retenção de água de um Neossolo Quartzarênico. Os resultados na Figura 3.4 indicaram que, com o uso do concentrado zeolítico, foi possível aumentar a retenção de água do solo em estudo e que esta água estava retida com baixas tensões. Houve aumentos de 10, 38 e 67% na capacidade de água disponível (CAD), em relação à testemunha, respectivamente, para a adição das doses de 3,3; 6,7 e 10% de zeólita ao solo.



Fonte: adaptado de Bernardi *et al.*, 2004c.

**Figura 3.4** - Capacidade de água disponível (CAD) de um Neossolo Quartzarênico com adição de concentrado zeolítico, calculada para uma profundidade de 20 cm, com base nas equações das curvas de retenção de água.

### 3.5. Descontaminação de metais pesados

Os métodos para remediação de solos contaminados com metais pesados, como cobre, cádmio, chumbo, mercúrio e zinco, têm recentemente se tornado uma preocupação para a agricultura, uma vez que estes solos têm sido cada vez mais demandados para serem incorporados ao processo produtivo. Para solos com contaminações mais baixas de metais pesados, os tratamentos resumem-se na diminuição da biodisponibilidade destes metais pela manipulação de certas propriedades do solo, como pH e Eh, e pela aplicação de corretivos (calcário) e fertilizantes (fosfatados). Outra alternativa é o uso de materiais com alta capacidade de troca de cátions, como as zeólitas (GWOREK, 1992; REBEDEA e LEPP, 1994).

### 3.6. Pecuária

As características físicas e químicas das zeólitas naturais conferem-lhes várias possibilidades de uso na criação animal, tanto na nutrição como no tratamento dos resíduos. Existem vários relatos na literatura mostrando as vantagens de utilização deste mineral na dieta de aves, suínos e ruminantes. O uso de zeólitas na dieta (5%) possibilita o aumento da eficiência da conversão alimentar (entre 20 e 30%), mantendo os mesmos ganhos de peso das dietas sem o mineral, porém utilizando menores quantidades de alimentos e água (MUMPTON, 1999).

No tratamento de resíduos animais, destacam-se a redução dos odores e a poluição resultante, possibilidade de ambientes mais saudáveis para os animais, controle da viscosidade e retenção de nutrientes dos esterco, purificação do metano produzido na decomposição anaeróbia dos excrementos (MUMPTON, 1999).

#### 3.6.1. Dieta de ruminantes

Na nutrição de ruminantes, uma das fontes de amônia pode ser a uréia, embora presente alta solubilidade no rúmen, o que limita o seu uso. A uréia transforma-se em amônia numa velocidade maior que a transformação de lignocelulose em ácidos graxos voláteis (AGV), necessários para a

síntese de proteína microbiana. Em consequência, grande quantidade de nitrogênio amoniacal é absorvido pela parede do rúmen, sobrecarregando o fígado e aumentando a concentração de amônia no sangue, o que caracteriza um quadro de intoxicação dos animais, que pode ser agravado quando o consumo de uréia se dá em um curto espaço de tempo (OWENS e ZINN, 1988).

Uma alternativa para melhorar este problema é o emprego de complexos de liberação lenta de uréia (OWENS e ZINN, 1988), melhorando assim o fornecimento de amônia no rúmen, aumentando a síntese de proteína microbiana, o consumo de matéria seca, a digestibilidade da fibra e proporcionando um maior consumo de energia pelo animal, além de reduzir problemas com toxidez (RUSSELL *et al.*, 1992; TEDESCHI *et al.*, 2000). A liberação gradual da amônia permite aos microrganismos do rúmen síntese contínua de proteína celular (CASS *et al.*, 1994). Por isso, o produto resultante da uréia com zeólita pode trazer efeitos positivos na utilização da uréia para ruminantes.

No Brasil, Parré *et al.* (1997) testaram a inclusão da zeólita em dietas peletizadas com uréia e farelo de algodão para ovinos. Os resultados obtidos (Tabela 3.7) indicaram que, utilizando a proporção média consumida entre zeólita e uréia (3,3:1), não houve alteração dos coeficientes de digestibilidade aparente da matéria seca, da proteína bruta, da

**Tabela 3.7** - Coeficientes de digestibilidade da matéria seca, proteína bruta, fibra detergente neutra e energia bruta para as dietas com uréia e com uréia+zeólita.

Nutrientes	Dieta com uréia	Dieta com uréia+zeólita	EPM
Matéria seca	58,42	57,39	0,62
Proteína bruta	65,66	66,20	0,60
Fibra detergente neutro	28,40	30,33	1,13
Energia bruta	58,31	58,73	0,65
Nitrogênio Retido			
% do ingerido	23,04	26,54	0,98
% do absorvido	34,38	40,68	1,52

Fonte: adaptado de Parré *et al.* (1997).

fibra em detergente neutro e da energia bruta. Concluíram que o uso da zeólita na proporção de 3% da dieta contendo farelo de algodão e uréia melhorou a retenção de nitrogênio pelos animais. Estes resultados foram semelhantes aos obtidos por Galindo *et al.* (1990).

### 3.6.2. Retenção de gases

As zeólitas naturais podem absorver CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, HCHO, Ar, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, He, H<sub>2</sub>, Kr, Xe, CH<sub>3</sub>OH e muitos outros gases. Esta capacidade de retenção pode ser utilizada para coletar e controlar odores. Além disso, estes minerais podem ser utilizados com sucesso na criação animal, para reduzir os teores de amônia e H<sub>2</sub>S livres, causadores de odores desagradáveis (KITHOME *et al.*, 1999).

A alta capacidade das zeólitas em reter amônia possibilita uma alternativa natural para controlar os altos níveis deste composto nas criações de peixes, sendo utilizadas em sistemas de filtragem ou aplicação direta na água.

## 4. Considerações finais

Os resultados das pesquisas indicam que a utilização conjunta do mineral com os fertilizantes pode contribuir para aumentar os índices de eficiência dos fertilizantes. Esta melhoria da eficiência poderia trazer redução das quantidades de fertilizantes aplicadas e, conseqüentemente, proporcionar a economia de divisas e aumentar a competitividade do agronegócio.

Espera-se, ainda, que a reunião de resultados tecnicamente vantajosos, como foi feita neste capítulo, possa demonstrar a necessidade de estabelecimento de rotinas de exploração e processamento de zeólitas e de geração de novos produtos para agricultura. Isso poderia ainda contribuir para o desenvolvimento de regiões pouco desenvolvidas do País, onde estão as ocorrências deste mineral, podendo, inclusive, futuramente, estimular o surgimento de uma cadeia envolvendo exploração, transformação e comercialização do produto.

## Referências bibliográficas

- AL-KANANI, T.; MACKENZIE, A.F.; BARTHAKUR, N.N. Soil water and ammonia volatilization relationships with surface-applied nitrogen fertilizer solutions. *Soil Science Society American Journal*, v.55, p.1761-1766, 1991.
- ALLEN, E.; HOSSNER, L.; MING, D.; HENNINGER, D. Solubility and cation exchange in phosphate rock and saturated clinoptilolite mixtures. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.57, p.1368-1374, 1993.
- ALLEN, E.; MING, D.; HOSSNER, L.; HENNINGER, D.; GALINDO, C. Growth and nutrient uptake of wheat in a clinoptilolite-phosphate rock substrate. *Agronomy Journal*, Madison, v. 87, n. 6, p. 1052-1059, 1995.
- BARBARICK, K. A.; LAI, T. M.; EBERL, D. D. Exchange fertilizer (phosphate rock plus ammonium-zeolite) effects on sorghum-sudangrass. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 54, n. 3, p. 911-916, 1990.
- BERNARDI, A.C.C.; VERRUMA-BERNARDI, M.R.; WERNECK, C.G.; HAIM, P.G.; MONTE, M.B.M. Produção, aparência e teores de nitrogênio, de fósforo e de potássio em alface cultivada em substrato com zeólita. *Horticultura Brasileira*, v.23, n.4, p.920-924, 2005.
- BERNARDI, A.C.C.; WERNECK, C.G., HAIM, P.G.; REZENDE, N.G.A.M.; AMORIM, H.S. de; SOUZA-BARROS, F. de; PAIVA, P.R.P.; MONTE, M.B.M. Crescimento do porta-enxerto limoeiro 'Cravo' em substrato com zeólita. In: *ENCONTRO NACIONAL SOBRE SUBSTRATOS*. IV. Viçosa, outubro de 2004a.
- BERNARDI, A.C.C.; WERNECK, C.G., HAIM, P.G.; REZENDE, N.G.A.M.; AMORIM, H.S. de; SOUZA-BARROS, F. de; PAIVA, P.R.P.; MONTE, M.B.M. *Avaliação agrônômica de substratos contendo zeólita enriquecida com nitrogênio, fósforo e potássio*. Rio de Janeiro, Embrapa Solos. 2004b. 25p. (Embrapa Solos, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento). Disponível em: [www.cnpb.embrapa.br/solosbr/conhecimentos.html](http://www.cnpb.embrapa.br/solosbr/conhecimentos.html)

- BERNARDI, A.C.C.; WERNECK, C.G.; HAIM, P.G.; BOTREL, N.; OIANO-NETO, J.; MONTE, M.B.M. Produção e qualidade de frutos de tomateiro cultivado em substrato com zeólita. *Horticultura Brasileira*, v.25, 2007, no prelo.
- BERNARDI, A.C.C.; WERNECK, C.G.; HAIM, P.G.; MONTE, M.B.M. *Disponibilidade de água e produção de arroz em função das doses de concentrado zeolítico*. Rio de Janeiro, Embrapa Solos. 2004c. 4p. (Embrapa Solos, Circular Técnica 24) Disponível em: [www.cnps.embrapa.br/solosbr/conhecimentos.html](http://www.cnps.embrapa.br/solosbr/conhecimentos.html)
- BHASKARA RAO, A. e SILVA, J. C. Mineralogia de alguns zeolitos do Nordeste. *Arquivos de Geologia*. Recife, n. 4, p. 33-47, 1963.
- BOUWMEESTER, R.J.B.; VLEK, P.L.G.; STUMPE, J. M. Effect of environmental factors on ammonia volatilization from an urea-fertilized soil. *Soil Science Society American Journal*, Madison, v.49, p.376-381, 1985.
- BOUZO, L.; LOPEZ, M.; VILLEGAS, R.; GARCIA, E.; ACOSTA, J.A. Use of natural zeolites to increase yields in sugarcane crop minimizing environmental pollution. 15th World Congress of Soil Science, Acapulco, Mexico, 10-16 July 1994. Transactions. Volume 5a: Commission IV: Symposia. 1994, 695-701.
- CANTERA-OCEGUERA, V. *Zeólita natural: una alternativa en la industria de fertilizantes*. La Habana: Ministerio de Industria Básica. 2002. 46p.
- CARRION, M. R. *et al.* Influencia de los fertilizantes con zeólita sobre el rendimiento de los cultivos. [[www.springerlink.com](http://www.springerlink.com)].
- CASS, J. L.; RICHARDSON, C. R.; SMITH, K. J. Evaluation of slow ammonia release from urea/calcium compounds. *Journal of Animal Science*, Champaign, v.72, p.243, 1994.
- CLIFTON, R. A. Natural and synthetic zeolites. Washington: Bureau of Mines, 1987. 21p. (Information Circular; 9140).
- CRESPO, G. Effect of zeolite on the efficiency of the N applied to *Brachiaria decumbens* in a red ferrallitic soil. *Cuban Journal of Agricultural Science*, La Habana, v.23, n. 2, p.207-212, 1989.
- EYDE, T.H.; HOLMES, D.A. Zeolites. In: KOGEL, J.E., TRIVEDI, N.C., BARKER, J.M., KRUKOWSKI, S.T. (Eds.) *Industrial minerals and rocks* (7th ed.). Littleton: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration. 2006. p.1039-1064.
- FERGUSON G.; PEPPER, I. Ammonium retention in soils amended with clinoptilolite. *Soil Science Society American Journal*, Madison, v.51, p.231-234, 1987.
- FLANIGEN, M., MUMPTON, F.A. Commercial properties of natural zeolites. *Reviews in Mineralogy*, n.4, p.165-175, 1981.
- FRANCO, R.R. Zeólitas dos basaltos do Brasil Meridional. *Boletim, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da USP*. Mineralogia, n. 10, 1952. 162p.
- FUENTE -CRESPO, R. Producción cañera más eficiente y ecológica, *Revista Cañaveral*, Vol. 4, No. 1, p. 27, 1998.
- GALINDO, J.; ELIAS, A.; PIEDRA, R. The effect of some zeolite components on the rumen microbial activity of silage diets. *Cuban Journal of Agricultural Science*, La Habana, v.24, p.187-194. 1990.
- GÜL, A.; EROGUL, D.; ONGUN, A.R. Comparison of the use of zeolite and perlite as substrate for crisp-head lettuce. *Scientia Horticulturae*, v.106, n.4, p.464-471, 2005.
- GWOREK, B. Lead inactivation in soils by zeolites. *Plant & soil*, v.143, p.71-74, 1992.
- HAIDOUTI, C. Inactivation of mercury in contaminated soils using natural zeolites. *The science of the Total Environment*, v.208, p.105-109, 1997.
- HARLAND, J.; LANE, S.; PRICE, D. Further experiences with recycled zeolite as a substrate for the sweet pepper crop. *Acta Horticulturae*, n.481, p.187-194, 1999.
- HE, Z.L.; CALVERT, D.V.; ALVA, A.K.; LI, Y.C.; BANKS, D.J. Clinoptilolite zeolite and cellulose amendments to reduce ammonia volatilization in a calcareous sandy soil. *Plant-and-Soil*. 247 (2): 253-260. 2002.
- ISSA, M.; OUZOUNIDOU, G.; MALOUPA, H.; CONSTANTINIDOU, H.I.A. Seasonal and diurnal photosynthetic responses of two gerbera cultivars

- to different substrates and heating systems. *Scientia Horticulturae*, v.88, p.215-234, 2001.
- JUNRUNGREANG, S.; LIMTONG, P.; WATTANAPRAPAT, K.; PATSARAYEANGYONG, T. Effect of zeolite and chemical fertilizer on the change of physical and chemical properties on Lat Ya Soil series for sugarcane. In: WORD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 17th, Thailand, 2002. Symposium no. 57, p.1897/1-1897/7. Bangkok, International Society of Soil Science. 2002.
- KITHOME, M.; PAUL, J.W.; LAVKULICH, L.M.; BOMKE, A.A. Effect of pH on ammonium adsorption by natural zeolite clinoptilolite. *Communications on Soil Science and Plant Analysis*, v.30, n.9&10, p.1417-1430, 1999.
- LAI, T.M.; EBERL, D.D. *Zeolites* 6 (1986) 129.
- LARA CABEZAS, W.A.R.; KORNDÖRFER, G.H.; MOTTA, S.A. Volatilização de N-NH<sub>3</sub> na cultura de milho: II. Avaliação de fontes sólidas e fluidas em sistema de plantio direto e convencional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.21, p.489-496, 1997.
- LUNA, F. J.; SCHUCHARDT, U. Modificação de zeólitas para uso em catálise. *Química Nova*, São Paulo, v. 24, n.6, p.885-892, 2001.
- LUZ, A. B. *Zeólitas: propriedades e usos industriais*. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1994. 37 p. (Série Tecnologia Mineral, CETEM, 68).
- MACKOWN, C.; TUCKER, T. Ammonium nitrogen movement in a coarse textured soil amended with zeolite. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v.49, p.235-238, 1985.
- MALOUPA, E., MITSIOS, I., MARTINEZ, P.F., BLADENOPOULOU, S. Study of substrates used in gerbera soilless culture grown in plastic greenhouse. *Acta Horticulturae*, 323:139-144. 1992.
- MARCILLE-KERSLAKE, V.; VAN STRAATER, P. (1991). Zeolites in British Columbia-Canada: Development of an alternative phosphate fertilizer using zeolite and phosphate rock. *Memorias Zeolitas'91*. 3rd International Conference on the Occurrence, Properties and Utilization of Natural Zeolites, La Habana, p.
- MING, D. W.; MUMPTON, F. A. Zeolites in soils. In: DIXON, J. B.; WEED, S. B. (Ed.) *Minerals in soil environments*. 2.ed. Madison: Soil Science Society of America, 1989. p. 873-911.
- MING, D.W. BARTA, D.J. GOLDEN, D.C. GALINDO, C. HENNINGER, D.L. In: MING, D.W. MUMPTON, F.A. (Eds.). *Natural Zeolites* \_93: occurrence, properties, use. Brockport, New York: International Committee on Natural Zeolites. 1995, p.505-513.
- MING, D.W.; DIXON, J.B. Quantitative determination of clinoptilolite in soils by a cation-exchange capacity method. *Clays and Clay Mineralogy*, v.35, n.6, p.463-468, 1987.
- MNKENI, P.N.S. SEMOKA J.M.R.; KAITABA, E.G. Effects of Mapogoro phillipsite on availability of P in phosphate rocks. *Tropical Agriculture*, v.71, p.249-253, 1994.
- MUMPTON, F.A. La roca magica: uses of natural previous zeolites in agriculture and industry. *Proceedings of National Academy of Sciences of the United States of America*, v.96 n.7, p.3463-3470, 1999.
- MUMPTON, F.A. Worldwide deposits and utilization of natural zeolites, *Industrial Minerals*, p. 30/45, Oct. 1973.
- MURATA, K.J. Distribution of zeolites in lavas of southeastern Paraná-Basin. *Journal of Geology*, v. 95, n.4, p. 455/467, 1987.
- NOTARIO-DEL-PINO, J. S.; ARTEAGA-PADRON, I. J.; GONZALEZ-MARTIN, M. M.; GARCIA-HERNANDEZ, J. E. Response of alfalfa to a phillipsite-based slow-release fertilizer. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v. 25, n. 13-14, p. 2231-2245, 1994.
- OWENS, F.N.; ZINN, R. Protein metabolism of ruminant animal. In: CHURCH, D.C. (Ed.). *The ruminant animal: digestive physiology and nutrition*. Englewood Cliffs: Simon & Schuster, 1988. p.227-249.
- PARRÉ, C.; VIEIRA, P.F.; SILVEIRA, A.C.; ARRIGONI, M.B.; BERTO, D.A.; CURI, P.R. Utilização de uréia e zeólita na alimentação de ovinos. Digestibilidade e balanço de nitrogênio. In: REUNIÃO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA. XXXIV. *Anais...* 28 de Julho a

- 1 de Agosto de 1997. Juiz de Fora: Sociedade Brasileira de Zootecnia. 1997. 3p.
- PICKERING, H. W.; MENZIES, N.W.; HUNTER, M.N. Zeolite/rock phosphate - a novel slow release phosphorus fertiliser for potted plant production. *Scientia Horticulturae*, v. 1768, p.1-11, 2002.
- RAIJ, B. van; ROSAND, P.C.; LOBATO, E. Adubação fosfatada no Brasil. Planaltina: EMBRAPA, CPAC, 1992. 326p. (Documentos, 21).
- REBEDEA, I.; LEPP, N.W. The use of synthetc zeolite to reduce plant metal uptake and phytotoxicity in two pollutes soils. In: ADRIANO, D.C.; CHEN, Z.S.; YANG, SS. (ed.) *Biogeochemistry of trace elements, environmental geochemistry and health*. V. 16. Northwood: Science and Techonlogy Letters. 1994. p.81-87.
- REZENDE, N.G.A.M. *Argilas nobres e zeólitas na Bacia do Paraíba; relatório final de projeto*. Belém: companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM, 1997. 33p.
- REZENDE, N.G.A.M.; ANGÉLICA, R.S. Sedimentary zeolites in Brazil. *Mineralogica et Petrographica Acta*, Bologna, v. 42, p. 71-82, 1991.
- RODRIGUES, M.B.; KIEHL, J.C. Distribuição e nitrificação da amônia proveniente da uréia aplicada ao solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.16, p.403-408, 1992.
- RODRIGUES, M.B.; KIEHL, J.C. Volatilização de amônia após emprego de uréia em diferentes doses e modos de aplicação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.10, p.37-43, 1986.
- RUSSELL, J.B.; O'CONNOR, J.D.; FOX, D.G.; SOEST, P.J. van.; SNIFFEN, C.J.A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets - I: ruminal fermentation. *Journal of Animal Science*, v.70, p.3551-3561, 1992.
- SOCA, M. (1991) "Utilización de Zeolitas Naturales en diferentes suelos y cultivos, como vía para incrementar la eficiencia de los fertilizantes minerales". *Memorias Zeolitas'91*. 3<sup>rd</sup> International Conference on the Ocurrance, Properties and Utilization of Natural Zeolites, La Habana, p 126.
- STEWART, B. A. *Soil conditioners*. Madison: Soil Science Society of America. 1975. 186 p. (Special Publication, n. 7).
- SVISERO, D.P., ANACLETO, R. Zeólitas e minerais associados da Pedreira Brasil. Município de Campinas. *Gemologia*, São Paulo, v. 20, n. 40, p. 13-14, 1974.
- TAYLOR, K.; GRAHAM, R.; REVIN, J. Laumontite in soils of the San Gabriel mountains, California. *Soil Science Society American Journal*, Madison, v.54, p.1483-1489, 1990.
- TEDESCHI, L.O.; FOX, D.G.; RUSSELL, J.B. Accounting for the effects of a ruminal nitrogen deficiency within the structure of the Cornell net carbohydrate and protein system. *Journal of Animal Science*, v.78, p.1648-1658, 2000.
- TUNG-MING, L.; DENNIS, D. Controlled and renewable release of phosphorous in soils from mixtures of phosphate rock and NH<sub>4</sub>-enchanged clinoptilolite. *Zeolites*, v.6, p.129-132, 1986.
- VALENTE, S.; BURRIESCI, N.; CAVALLARO, S. GALVAGNO, S. ZIPELLI, C. Utilization of zeolite as soil conditioner in tomato growing. *Zeolites*, v.2, n.4, p.271-274, 1986.
- VAUGHAN, D. Properties of natural zeolites. In: SAND, L., MUMPTON, F. (Ed.). *Natural Zeolites: occurrence, properties, use*. New York: Pergamon Press, 1978. p. 353-372.
- VIRTA, R. L. Zeolites. In: ESTADOS UNIDOS. U. S. Geological Survey. *2006 Minerals yearbook: metals and minerals*. 2007. Disponível em: <Ahttp://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/zeolites/zeolimybo6.pdf> acesso em: 18 jun 2007.
- WANG, F.L.; ALVA, A.K. Ammonium adsorption and desorption in sandy soils. *Soil Science Society American Journal*, Madison, v.64, p.1669-1674, 2000.
- XIUBIN, H.; ZHANBIN, H. Zeolite application for enhancing water infiltration and retention in loess soil. *Resources, Conservation and Recycling*, 34:45-52. 2001.

# Capítulo 19 - Caracterização e perspectivas para o uso e manejo da turfa

## Os autores

---

### Isao Shintaku

Geólogo (UFRRJ), M.Sc. em Geociências (UNICAMP),  
CPRM/DIEMGE E-mail: shintakuisao@rj.cprm.gov.br

### Edgar Shinzato

Engenheiro Agrônomo (UFRRJ), M.Sc. em Produção Vegetal (UENF),  
Coordenador Executivo (CPRM / DEGET). E-mail: shinzato@rj.cprm.gov.br

## 1. Apresentação

Por ser a turfa uma substância pouco conhecida e conseqüentemente pouco utilizada, procurou-se, na primeira parte do capítulo, caracterizá-la, defini-la e classificá-la, além de mostrar seu uso e principais aplicações.

Na segunda parte foi enfatizada a utilização agrícola, mostrando-se como a turfa age no solo e como é utilizada.

Na parte final é apresentado um estudo econômico da turfa dando-se uma visão do comportamento dessa substância no cenário mundial e nacional, com o principal objetivo de comparar reservas e produção dos principais países produtores de turfa com as do Brasil, país que ainda não tem tradição no seu uso. Neste contexto foram desenvolvidos itens relativos ao mercado consumidor e também ao comércio exterior. Para se ter uma melhor visão geral e comparativa, recorreu-se a gráficos e tabelas.

Concluiu-se o capítulo com breves considerações finais e recomendações.

## 2. Introdução

Noventa por cento das turfeiras estão localizadas no hemisfério Norte, em locais de clima frio, onde são exploradas há mais de 150 anos. O maior produtor mundial é a Rússia, seguida pela Finlândia e Irlanda. São também produtores, porém em menor escala: Suécia, China, Alemanha, Holanda,

Escócia, Estados Unidos e Canadá. No Brasil, as turfeiras são encontradas ao longo do litoral e em planícies alagadiças de rios. As maiores reservas estão situadas na planície costeira dos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

Os depósitos de turfa que ocorrem em nosso país são altamente favoráveis à sua utilização. As jazidas possuem, na maioria dos casos, pequeno capeamento, em média de quatro metros, dando condições, desse modo, a mineração a céu aberto e lavras de baixos custos operacionais. As suas localizações geográficas em nosso território podem ser consideradas de certa amplitude, uniformes e bem distribuídas, principalmente no Norte e Nordeste do Brasil. O clima quente em muitas regiões do País é um fator altamente favorável na fase preliminar de secagem, que eventualmente é necessária.

A formação de turfa ocorre em ambientes lagunares ou em planícies de inundação de rios, ambientes saturados de baixa energia deposicional. Forma-se em ambientes geológicos recentes e sub-recentes, com vasta distribuição na superfície terrestre.

Além do uso consagrado da turfa como fonte energética, observa-se que, nos últimos anos a sua utilização na agricultura, como insumo para produção de condicionadores de solos, biofertilizantes, substratos de mudas ou aplicação *in natura* no solo vem crescendo, de forma acentuada.

No Brasil, a maioria das turfeiras ocorre ao longo de grandes depressões de origem lagunar e posteriormente paludal. Apresentam, em escala de afloramento, uma uniformidade aparente, aspecto terroso de cor preta, mas, na realidade, revelam uma heterogeneidade caracterizada pela presença de fragmentos de troncos, raízes, folhas envolvidas em massas fibrosas, às vezes esponjosas, de cores que variam do castanho até uma cor preta acastanhada.

### 3. Definição

A turfa tem sido definida como material orgânico, de origem vegetal, parcialmente decomposto, depositado sob a água ou em ambiente saturado em água. Constitui a primeira fase da série de caustobiólitos (rochas orgânicas combustíveis), combustíveis fósseis que incluem o carvão. Contém, nos depósitos naturais, mais de 75% de umidade total e menos de 12% de matéria mineral.

A sua classificação se baseia em diferentes critérios: na associação vegetal, nas propriedades físico-químicas e no ambiente geológico em que esses materiais foram depositados.

A *American Society for Testing and Materials* (ASTM), considera como sendo turfa todo material orgânico cujos restos vegetais retenham mais de 75% de umidade e menos de 12% de material inorgânico, nos depósitos naturais saturados de água.

Na língua inglesa, reserva-se o termo *turf* para a turfa (*peat*) seca para ser usada como combustível.

A turfa se apresenta como um material "mineral" orgânico formado na idade pós-glacial. As turfeiras se instalaram há mais ou menos 12.000 anos, como resultado do atrofiamento e decomposição incompleta de material lenhoso e de arbustos, de musgos, e de líquens em condições de excessiva umidade, até 95%. Nesses ambientes, nos 50 cm superiores, a substância morta transforma-se em turfa, pela ação de agentes microbianos e químicos complexos, longe do ar, mas com excesso de

água. Sob determinadas condições climáticas, este processo ainda se realiza hoje.

As turfeiras, que correspondem aos Organossolos no Sistema Brasileiro de Classificação de solos (EMBRAPA Solos, 1999) e aos Histossolos (FAO, 1998), são conceituados como solos constituídos por material orgânico, preponderante em relação aos constituintes minerais. Incluem, entre outros, resíduos vegetais em diferentes estágios de decomposição, fragmentos de carvão, substâncias húmicas, biomassa meso- e microbiana. Possuem coloração preta, cinzenta muito escura ou marrom e elevados teores de carbono orgânico. A turfa é considerada como material orgânico quando o teor de carbono orgânico for maior ou igual a 80 g.kg<sup>-1</sup>, avaliado na fração terra fina seca ao ar (TFSA), de acordo com o método preconizado pelo Centro Nacional de Pesquisa de Solos (CNPq) da Embrapa, no seu Manual de 1997.

### 4. Formação das turfeiras

A turfa forma-se em condições climáticas diversas, desde climas tropicais úmidos até temperados frios, pela acumulação de matéria vegetal em ambientes redutores continentais de águas doces ou salobras. Tais ambientes podem localizar-se em áreas planas, pantanosas, com drenagem deficiente e nível freático elevado, geralmente em regiões topograficamente baixas.

O atrofiamento e a decomposição incompleta de matéria vegetal - tronco, galhos, folhas, raízes, material lenhoso - musgos e líquens, em um sistema de água doce/salobra e baixa energia, propicia a evolução energética fóssil da turfa com a perda de oxigênio e aumento percentual do teor de carbono. Esses processos de deposição, acumulação e decomposição são responsáveis pela sua formação e evolução, representando a turfa por sua vez, o estágio inicial na formação do linhito e do carvão mineral.

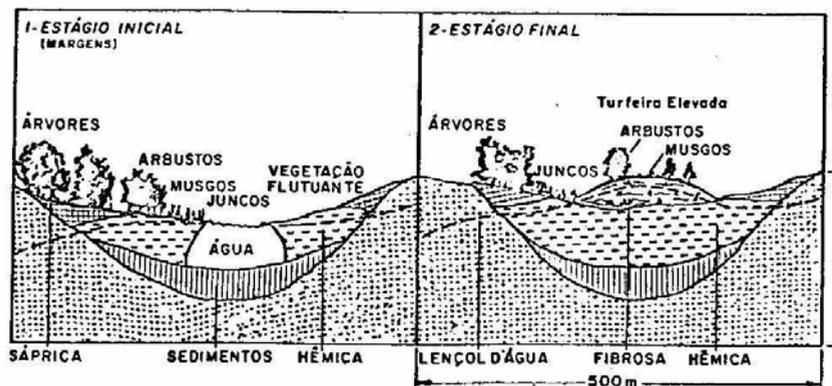
Basicamente, os depósitos de turfa têm se formado de dois modos: preenchimento das depressões de pequenos lagos e lagoas por matéria orgânica morta e em planícies inundáveis ou pântanos.

#### 4.1. Preenchimento das depressões de pequenos lagos e lagoas por matéria orgânica morta

O processo de preenchimento de lagoas na formação de turfeiras é esquematizado na Figura 4.1.

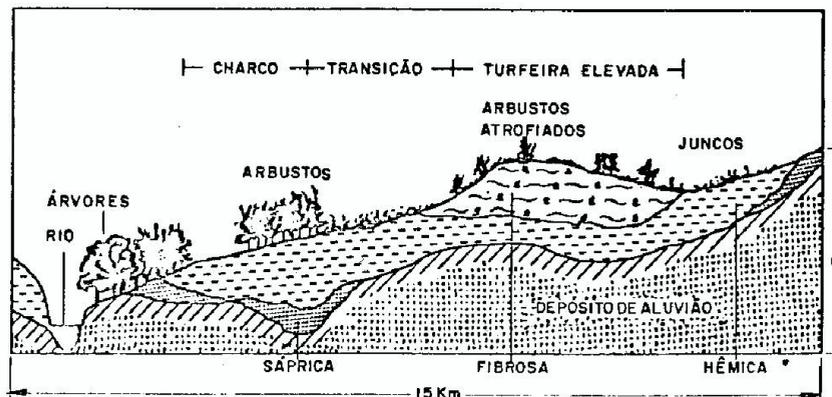
Pequenos lagos e depressões, em vários estágios de preenchimento de material vegetal morto, são comuns nas regiões de turfeiras do hemisfério Norte. O processo de formação da turfeira começa quando a vegetação das margens cresce em direção ao centro da depressão, constituindo uma camada de plantas aquáticas. A expansão desta esteira vegetal sobre as águas permite que outras plantas migrem para as porções mais estáveis das bordas do lago.

O desenvolvimento deste processo pode levar as plantas aquáticas e semi-aquáticas a se acumularem no topo do material orgânico morto (turfa em formação), cobrindo toda a superfície do lago e enchendo-o completamente. A formação, ajudada pelas chuvas, pode aumentar inclusive acima da superfície da água, ficando a massa orgânica sempre úmida por capilaridade.



Fonte: IPT, 1979.

Figura 4.1 - Esquema de formação de turfa.



Fonte: IPT, 1979.

Figura 4.2 - Formação de turfeiras em planícies inundáveis ou pântanos.

#### 4.2. Em planícies inundáveis ou pântanos

As turfeiras desenvolvem-se pela inundação constante e formação de lagoas ribeirinhas em terras baixas de vales ou estuários de rios, com o consequente acúmulo de plantas mortas, folhas, galhos, frutos silvestres, flores e outros (Figura 4.2).

No caso de formação de turfeiras pela inundação de rios ou lagoas nas plan cias adjacentes ou em regiões pantanosas, há um espalhamento do ambiente saturado de água sobre essas áreas planas (charcos), com pouca drenagem, que possibilitam o início do processo de deposição em camadas de material vegetal orgânico. Essa formação inicial propicia a retenção das águas da inundação e das chuvas, permitindo o aparecimento de musgos (*sphagnum moss*). O posterior atrofiamento nas áreas ricas em musgos é lento, devido à sua alta acidez e grande capacidade de absorção de  gua. O retardamento da decomposição da matéria morta, combinado com o crescimento vigoroso dos musgos, resulta em rápida acumulação da turfa de musgos em muitas áreas.

## 5. Tipos de formação da turfa

Os tipos de formações da turfa e o seu desenvolvimento e estrutura resultam, basicamente, de dois ambientes distintos em que se desenvolvem: brejos baixos e brejos altos.

Os brejos baixos se formam nas águas subterâneas, com maior ou menor quantidade de nutrientes (substâncias nutritivas), como brejos aterrados de superfície aquáticas abertas, ou brejos pantanosos, em cima de deposições destes brejos, ou diretamente sobre solos minerais. Elas são reconhecidas por apresentarem restos de determinadas plantas exigentes, tais como: ervas, caniços salgueiros, amieiros e determinados tipos de junco.

Os brejos altos resultam, principalmente, das precipitações atmosféricas e se desenvolvem ou sobre estruturas de brejos baixos, ou sobre os assim chamados brejos altos, com verdadeiras raízes, diretamente sobre os solos minerais. As turfas formadas nos brejos altos são pobres em cal e nitrogênios e são ácidas. Elas contêm restos de plantas de brejos altos, como musgos de Turfa (*Sphagnum*), "capim-lã" (*Eriophorium*) e diversos tipos de ervas de prado.

Quanto à sua composição química e propriedades físicas, elas se distanciam umas das outras segundo o grau de decomposição. Dividem-se em turfa pouco decomposta (turfa branca), contendo estruturas de plantas mais ou menos conservadas, e em turfa mais decomposta (turfa preta), com restos pouco reconhecíveis e grande porção de massa plástica, sem estruturas.

Devido às suas propriedades físicas e químicas, como, por exemplo, o volume dos poros, a capaci-

dade de troca de ar, água e íons, a capacidade de transportar calor (condutividade térmica), valor calórico, teor de complexos de substâncias "Humin" e substâncias fisiologicamente ativas, a turfa é uma matéria-prima de possibilidades multilaterais e muito variadas de uso.

Grande parte das turfeiras localizadas nas proximidades do litoral sofre uma forte influência das marés e apresenta teores mais expressivos de materiais sulfídricos que contêm enxofre oxidável, com pH elevado, normalmente maior de 3.5. Nessas áreas de sedimentos permanentemente saturados, geralmente com água salobra, quando drenados, os materiais sulfídricos (sulfetos) são transformados em ácidos sulfúricos pela ação da oxidação, fazendo com que o pH aumente muito mais, podendo chegar a níveis superiores a 3. Essa transformação requer pouco tempo, podendo ocorrer dentro de semanas.

## 6. Classificação

Diversas classificações têm sido propostas para a turfa. Waksman (1942) baseou-se em critérios botânicos e químicos, Abreu (1973) e Mickelsen (1976), em critérios botânicos. Outros autores (Quadro 6.1 basearam-se no grau de humificação e decomposição.

A turfa pode ser classificada pelo valor do poder calorífico superior e teor de cinza. É considerada Turfa Energética quando o poder calorífico superior for maior que 3.500 kcal/kg em base seca (b.s.), com teores de cinza abaixo de 35%, e como Turfa Agrícola quando o poder calorífico é menor que 3.500 kcal/kg em base seca (b.s.), com teores de cinza acima de 35%.

**Quadro 6.1** - Classificação segundo Von Post das turfas pelo grau de decomposição.

Grau de Humosidade	Característica	Cor da água que flui entre os dedos	Fração da turfa que flui entre os dedos	Permanece na mão		CLASSE
				Forma	Estrutura vegetal	
H1	Sem decomposição	Incolor	Não passam sólidos entre os dedos	Não tem aspecto gelatinoso	Estrutura vegetal nitidamente reconhecível	FIBROSA
H2	Muito pouco decomposta	Ligeiramente castanha				
H3	Muito fracamente decomposta	Castanha fraca				
H4	Fracamente decomposta	Muito castanha				
H5	Decomposta	Líquido escuro	Passa pouco	Apresenta aspecto gelatinoso	Ainda pouco reconhecíveis os vegetais	HÊMICA
H6	Bem decomposta		Passa 1/3 do volume			
H7	Fortemente decomposta		Passa a metade do volume			
H8	Muito fortemente decomposta	Líquido escuro	Passam 3/5 do volume	Ficam na mão resíduos de fibras e raízes	SÁPRICA	
H9	Quase totalmente decomposta		Passa quase tudo			
H10	Completamente decomposta		O material flui integralmente entre os dedos			Sobra muito pouco na mão

## 7. Classificação da turfa em relação ao conteúdo energético e agrícola

Os principais sistemas de classificação atualmente em uso em diferentes países, são muito semelhantes. Embora os critérios usados para desenvolver as classes individuais possam diferir de um país para o outro, são relacionados na Tabela 7.1.

Na Tabela 7.1, o que se tenta reconhecer é basicamente o grau de decomposição. O maior grau de decomposição da turfa está representado pelas turfas sápricas em que quase não se é possível identificar os tecidos vegetais acumulados. Por

outro lado, os menos decompostos são as turfas fibricas, que possuem mais da metade de material de estruturas de vegetais reconhecíveis. As turfas hêmicas consistem nos tipos intermediários entre as duas.

À medida que a alteração da matéria orgânica caminha em direção às turfas sápricas, ocorre um aumento da densidade, diminuição do tamanho dos poros e aumento da força em que a água fica retida e, com isso, o aumento da capacidade de suporte, tendo uma menor limitação física que as turfas fibricas. Nestas a taxa de subsidência é maior que nas sápricas.

**Tabela 7.1** - Sistemas de classificação com base no conteúdo energético.

Sistema de Classificação	Tipos de Classificação	Baixa	Média	Alta
Sistema da U.S.D.A. (1)	Classe de decomposição	Fibrosa	Hêmica	Sáprica
Sistema da ex-União Soviética (2)	Porcentagem de humificação	10, 20, 30	40, 50, 60	70, 80, 90, 100
Sistema sueco (3)	Valor de humificação	1, 2, 3	4, 5, 6	7, 8, 9, 10
Sistema I.P.S. (4)	Tipos de turfa	Turfa Leve	Turfa Escura	Turfa Preta
Usos e aplicações	Valor relativo de energia	Não adequada	Melhor p/combustão (pouca cinza)	Boa p/combustão (muita cinza)
	Valor relativo p/uso agrícola	Adequada	Melhor p/agricultura (pouca cinza)	Ruim p/agricultura (muita cinza)

Fonte: Modificado de "Estudo das Possibilidades de Aproveitamento da Turfa no Estado de São Paulo", 1979.

(1) U. S. Department of Agriculture and Agricultural Experiment Stations.

(2) Desenvolvido pelo INSTORF - Instituto Soviético (ex-URSS) de Turfa.

(3) von Post - Suécia.

(4) Sistema da I.P.S. - *International Peat Society* - 1973.

## 8. Composição da turfa

A turfa menos decomposta serve principalmente para fins agrícolas, enquanto as turfás escura e preta apresentam melhores condições para combustão.

A composição química básica da turfa pode ser expressa em termos dos elementos Carbono (C), Hidrogênio (H), Oxigênio (O), Nitrogênio (N), Enxofre (S) e cinzas.

## 9. Características gerais da turfa

Estima-se que as áreas com turfa cubram mais de 250 milhões de hectares da superfície terrestre, ficando 85% desse total dentro das fronteiras da ex-União Soviética, Canadá e Estados Unidos.

De acordo com o sistema da Sociedade Internacional de Turfa, as principais características dos diferentes tipos de turfa são apresentadas a seguir.

- Turfa leve - Possui coloração, geralmente, marrom-avermelhada, contendo cerca de 2/3 de fibras vegetais reconhecíveis na porção orgânica. É pouco decomposta. A turfa leve forma as camadas mais superficiais e se encontra em ambiente ácido, sendo muito utilizada na agricultura, principalmente na horticultura.

- Turfa escura - Sua coloração está entre o marrom e o preto. Apresenta de 1/3 a 2/3 de fibras reconhecíveis. Em termos de decomposição, conteúdo de cinzas e densidade representa um estágio entre a turfa leve e a preta. É formada por gramas, arbustos, plantas rasteiras silvestres e plantas aquáticas. É valiosa para fins energéticos e muito utilizada na agricultura.

- Turfa preta - Sua tonalidade é bastante escura, possui menos de 1/3 de fibras reconhecíveis e apresenta-se em forma gelatinosa. Em relação às anteriores, tanto a densidade como o teor de cinzas são maiores e menor é a quantidade de água. Possui todas as características de turfa energética, no entanto, após a colheita, é deixada uma camada de aproximadamente 1/2 metro para mistura com o subsolo mineral, com o intuito de possibilitar o uso da terra para agricultura, pastagem ou reflorestamento.

As turfás possuem certas características, importantes para a sua definição e utilização.

- A densidade aparente é a massa de material mineral ou orgânico num determinado volu-

me de turfa quando colhida. Pode variar de 0,048g/cm<sup>3</sup> a 0,320g/cm<sup>3</sup>.

- O conteúdo em água na turfa é dado em percentual. Quando são menos decompostas, o conteúdo de água pode chegar a 95%, enquanto as turfas pretas podem conter menos de 75%.
- Os compostos minerais que restam após a calcinação da turfa, depois de seca, são chamados de "conteúdo de cinzas" e são expressos em percentuais, que variam de 2 a 50%. Na ex-URSS, o limite legal para a utilização da turfa é 23% de cinzas.
- A maioria das turfas apresenta um pH entre 3 e 6, portanto traduzem um ambiente ácido. Quanto menos decompostas são as turfas, mais ácido é o ambiente.
- A turfa é um composto vegetal rico em ácidos orgânicos. Na natureza, pode ser considerada como uma espécie de solo fossilizado que, em última instância, se transformaria em petróleo daqui a uma dezena de milhões de anos.
- Na agricultura, o composto orgânico é usado como condicionador de solo, produto que aumenta a eficiência da aplicação de fertilizantes e defensivos. Conseqüentemente, ele gera uma economia de cerca de 15% com insumos agrícolas, além de apresentar vantagens ambientais como a ausência de resíduos no solo.

## 10. Prospecção e exploração

Para sua prospecção e exploração, as turfeiras podem ser reconhecidas e delimitadas por sensores remotos, fotos aéreas convencionais, imagens de radar e satélite.

A amostragem sistemática é feita com trados especiais de pistão, que recuperam a amostra sem deformação, mantendo as suas características físicas e químicas.

Estudos hidrológicos e meteorológicos são necessários para estabelecer os parâmetros quanto à drenagem e ao período mais adequado para

extração e produção da turfa, bem como o método de lavra a ser utilizado.

## 11. Usos e aplicações

A turfa é um bem mineral industrial de múltiplas utilizações. No País, o uso mais conhecido e estudado é como material energético. É utilizada também como sorvente para óleo e metais pesados e para uso agrícola.

Atualmente as aplicações da turfa situam-se quase na sua totalidade em duas grandes áreas: energética (na produção de energia térmica e elétrica, como combustível) e agrícola (na agricultura e horticultura, como adição orgânica para melhoria do solo).

Como combustível, a turfa foi usada, inicialmente, em forma de torrões e mais tarde, como tijolos ("briquetes"). Por seu elevado valor calorífico, preferiu-se a turfa mais fortemente decomposta. O baixo teor em cinza, principalmente, e o teor acen-tuadamente alto de enxofre e fósforo, na turfa de brejo alto, foram o estímulo para a produção de coque de turfa e sua utilização nos processos metalúrgicos e na produção do carvão ativado.

A turfa pouco decomposta serviu, antes de tudo, para aspergir e polvilhar o chão, na criação de gado. Em escala industrial, vem se explorando e trabalhando esta turfa desde o fim do século passado. Hoje ela é quase exclusivamente meio de melhoramento de solo e substrato de planta, em forma pura ou enriquecida.

Na área agrícola, é empregada: i) na preparação de substratos para mudas de hortaliças, de frutíferas e de flores; ii) na elaboração de fertilizantes organo-minerais, como condicionadores de solos; iii) como fonte de matéria orgânica; iv) como veículo em biofertilizantes, também conhecidos como inoculantes agrícolas.

Depois de colhida e secada, a turfa pode ser usada na horticultura e na agricultura como condicionadora do solo. Quando ativada ou fortificada, a turfa pode atuar como fertilizante ou como esterco.

Há dois séculos, a turfa vem sendo usada também para fins balneários na medicina.

Os brejos, as localizações da turfa, só se formam, onde reina excesso de água, seja ela subterrânea ou superficial, ou proveniente de sedimentação atmosférica, isto é, não ocorrem em regiões secas ou geladas. Eles têm se desenvolvido, em geral, em formas, tamanhos e potenciais muito diferentes.

O emprego da turfa na agricultura acontece de duas maneiras: moída, utilizada como adubo de turfa, ou como condicionadora de solos, objetivando a retenção da umidade e/ou nutrientes. A despeito de o Brasil não fazer ainda largo uso da turfa, ressalte-se que, nos Estados Unidos, a turfa é empregada, principalmente, para fins agrícolas. Na Europa, é crescente o uso não só na agricultura, mas também na jardinagem, paisagismo e horticultura.

O potencial de uso agrícola da turfa está diretamente relacionado ao seu manejo adequado, pois qualquer tipo de alteração provoca mudanças significativas nas suas características morfológicas, físicas e químicas, considerando o equilíbrio relativamente frágil em que ocorrem.

Alguns países produtores, só extraem comercialmente a turfa para fins agrícolas e para horticultura, como é o caso do Canadá, dos Estados Unidos e da Suécia.

A turfa com fins agrícolas é comercializada, em todo o Sul do Brasil e também em São Paulo, para uso na citricultura, reflorestamento, produção de hortaliças e flores.

A turfa mais adequada para fins agrícolas e para horticultura é a turfa fibrosa. As primeiras camadas menos decompostas das turfeiras são empregadas no condicionamento de solos ou na preparação de fertilizantes. Essa técnica é empregada por países que extraem turfa como combustível.

A colheita é feita pelo processo de turfa moída. Para uniformizar a qualidade, a turfa moída resulta da mistura de várias turfeiras. Para comercialização,

a turfa é prensada em blocos, na proporção de 1/10 do volume inicial, e depois empacotada. Antes de ser embalada para venda, também pode ser fertilizada por uma mistura de compostos de NPK e outros.

Na ex-União Soviética, para uso na agricultura, a turfa é processada quimicamente e misturada com fertilizantes minerais para que sua eficácia na absorção pelo solo seja aumentada. Assim, ela atua não somente como condicionador do solo ou fertilizante puramente orgânico.

Em 1975 foi desenvolvido, no Japão, um método para fabricar fertilizantes a partir da turfa e elementos industriais (Relatório DMGA, 1978). O fertilizante orgânico foi preparado utilizando-se turfa, ácidos húmicos nela contidos e espuma das águas residuais de processos de purificação. Misturou-se 1.000 kg de espuma isolada das águas residuais de uma fábrica de processamento de pescado e 1.000 kg de ácidos húmicos contidos em turfa. Secou-se a mistura usando-se um secador rotativo. O produto seco apresentou 12% de H<sub>2</sub>O; 2,35% de N e 2,79% de Fe e foi aplicado na cultura de melão e morangos à razão de 12 kg/ha. O resultado obtido mostrou um aumento de produtividade de 23% a 31%, em relação a campos de controle onde o fertilizante não foi aplicado.

Por fim, deve-se assinalar que pesquisas em desenvolvimento visam aplicações mais nobres para a turfa, além do que já se registram vários outros usos para ela, tais como: pisos de galinheiros e estábulos, filtros antipoluentes, isolantes térmicos e acústicos etc.

## 12. Panorama mundial do aproveitamento da turfa

As maiores turfeiras em extensão, em área das turfeiras no mundo, estão distribuídas por diversos países, principalmente nas repúblicas da ex-União Soviética, Canadá, Estados Unidos, Finlândia, Suécia, Alemanha e Irlanda (Tabela 12.1).

**Tabela 12.1** - Reservas mundiais estimadas de turfa (10<sup>3</sup> t).

País	Reservas	Reserva Base
Bielorússia	400.000	4.000.000
Canadá	720.000	30.000.000
Estados Unidos	150.000	10.000.000
Estônia	60.000	2.000.000
Finlândia	6.000.000	6.400.000
Letônia	76.000	1.300.000
Lituânia	190.000	300.000
Rússia	1.000.000	60.000.000

Fonte: modificado de U.S. Geological Survey, *Mineral Commodity Summaries*, 2007.

O Brasil possui em seu território importantes depósitos de turfa (Tabela 12.3). Nota-se que ocorrem turfeiras em vários estados, sendo o Rio Grande do Sul aquele que possui a maior reserva e também a maior em tonelagem lavrável, seguido pelos estados de São Paulo, Santa Catarina e Paraná.

Apesar da alta potencialidade de produção de turfa no Brasil, a extração é efetuada em apenas dois estados, conforme se vê na Tabela 12.4.

Santa Catarina é o estado que mais produziu turfa no País. Sua produção girou em torno de 55 mil toneladas, em 2005. Esse valor é a soma da produção bruta e beneficiada, que rendeu em termos financeiros pouco mais de R\$ 5.000.000,00. São Paulo, outro estado produtor, teve um rendimento próximo de R\$ 530.000,00, produzindo 9,5 mil toneladas de turfa. No total, o País produziu em torno de 64,5 mil toneladas de turfa em 2005.

Quatro empresas atuam na lavra de turfa no Brasil: uma localiza-se no estado de Santa Catarina e as três restantes no estado de São Paulo. A Tabela 12.5 mostra as empresas e suas respectivas percentagens de participação na produção.

**Tabela 12.2** - Produção mundial de turfa por país (10<sup>3</sup> t).

País	Produção (10 <sup>3</sup> t)						
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006 <sup>e</sup>
Alemanha	2.980	4.250	4.100	2.500	2.500	-	-
Bielorússia	2.100	2.100	2.100	2.100	1.900	1.900	2.300
<b>Brasil</b>	<b>62</b>	<b>94</b>	<b>108</b>	<b>68</b>	<b>37</b>	<b>64</b>	-
Canadá	1.230	1.187	1.300	1.340	1.180	1.330	1.400
Estados Unidos	755	870	642	634	696	685	618
Estônia	1.000	800	850	1.500	1.000	800	800
Finlândia	7.400	6.500	5.500	7.800	7.620	9.100	9.000
Irlanda	5.500	5.500	2.750	3.100	5.600	5.400	5.500
Letônia	650	400	560	560	1.000	800	700
Lituânia	350	280	270	500	380	370	425
Moldávia	475	475	475	475	475	475	475
Reino Unido	500	500	500	250	-	-	-
Rússia	2.000	2.100	2.100	2.100	2.100	2.100	2.100
Suécia	700	1.100	1.150	1.200	890	930	1.000
Ucrânia	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Outros países (incluso Brasil)	760	660	862	1.000	1.200	1.530	1.700
<b>Total Mundial</b>	<b>27.400</b>	<b>27.900</b>	<b>24.200</b>	<b>26.100</b>	<b>27.600</b>	<b>26.400</b>	<b>27.000</b>

Fonte: *Mineral Commodity Summaries* - 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007 e Anuário Mineral Brasileiro - DNPM: 2001, 2002, 2003, 2004, 2005 e 2006.

**Tabela 12.3** - Reservas minerais por unidades da federação - 2005.

Unidades da Federação	Reservas (1)			
	Medida (T)	Indicada (T)	Inferida (T)	Lavrável (T)
Alagoas	1.223.500	259369	-	1.223.500
Goiás	198.356	219363	1.211	198.356
Minas Gerais	306.728	-	-	306.728
Paraná	12.795.350	1.366826	-	12.795.350
Rio de Janeiro	972.421	-	-	972.421
Rio Grande do Sul	55.161.000	74.414000	7.907.000	55.161.000
Santa Catarina	17.778.629	-	-	16.504.838
São Paulo	22.699.959	69.76.198	174.116	22.361.406
<b>Total</b>	<b>111.135.943</b>			<b>109.523.599</b>

Fonte: AMB-2006 - DNPM.

**Tabela 12.4** - Quantidade e valor da produção mineral comercializada de turfa - 2005, por unidades da federação.

Unidades da Federação	Bruta		Beneficiada		Valor Total (R\$)
	Quantidade (T)	Valor (R\$)	Quantidade (T)	Valor (R\$)	
Santa Catarina	9.912	187.118	45.039	4.850.934	5.038.052
São Paulo	7.229	382.917	2.244	144.581	527.497
<b>TOTAL</b>	<b>17.141</b>	<b>570.035</b>	<b>47.283</b>	<b>4.995.515</b>	<b>5.565.549</b>

Fonte: AMB-2006 - DNPM.

**Tabela 12.5** - Principais empresas produtoras - 2005 (em ordem decrescente do valor da produção comercializada).

Empresas	Unidades da Federação (1)	Participação (%) (2)
Florestal S/A	Santa Catarina	90,52
Darcy R. O. E Silva & Cia Ltda	São Paulo	4,34
Eucatex Mineral Ltda	São Paulo	2,77
Fraga, Rizzo & Cia Ltda - Erp	São Paulo	2,37

Fonte: AMB - 2006 - DNPM.

Notas:

- (1) Unidade da Federação onde há comercialização e/ou consumo da produção bruta e/ou beneficiada.
- (2) Participação percentual da empresa no valor total da comercialização da substância, sem considerar os valores dos dados arbitrados.

As quatro empresas atuam nos dois estados produtores de turfa. A empresa Florestal S/A, em termos percentuais, participa com 90,5% do valor total da comercialização. Os restantes são comercializados por três empresas no estado de São Paulo.

O mercado consumidor de produtos brutos, como mostra a Tabela 12.6, é dividido por distribuição regional, com o percentual por Unidade da Federação, e por setor de consumo e uso, com seus respectivos percentuais.

Dos três estados do mercado consumidor de produtos brutos, o estado de Santa Catarina é o que mais consome, com 78,1%, seguido pelo estado de São Paulo, com 13,3%, e Rio Grande do Sul, com 8,6%. Desses percentuais, nos três estados, os dois principais setores de consumo ou uso são: condicionador de solos (85,2%) e fertilizantes (14,8%).

A Tabela 12.7 mostra o mercado consumidor de produtos beneficiados, com distribuição regional e setores de consumo e uso, com seus respectivos percentuais.

Quanto ao mercado consumidor de produtos beneficiados, o estado de Santa Catarina consome

78,1%, São Paulo, 13,3% e Rio Grande do Sul, 8,6%. O consumo e uso para esses três estados os seguintes percentuais: condicionador de solos, 52,1% e fertilizantes, 47,9%.

Quanto ao comércio exterior, a exportação de turfa não apresenta números significativos. Porém, como registro, em 2005, o Brasil exportou 22 toneladas de turfa, tendo o Peru com a quase totalidade das importações (99,8%) como país de destino. O outro foi o Uruguai, com o percentual de 0,2%, como mostra a Tabela 12.8 a seguir.

No Gráfico 12.1, podemos observar o comportamento das exportações no período de 2001 a 2005. Como podemos notar, houve uma ascensão de 2001 a 2003 e uma queda em 2004. Depois, no ano seguinte, foi retomado o crescimento.

Em termos de importações, o Brasil é dependente de diversos países, como mostra a Tabela 12.9. O Brasil, em 2005, importou 1.591 toneladas de turfa, no valor de US\$1.492.000,00.

Percentualmente os países de origem da turfa foram: Canadá, com 46,2%, seguido dos Estados Unidos, com 31,1%, França, com 20,0%, Finlândia, com 1,5% e Holanda, com 1,2%.

**Tabela 12.6** - Mercado consumidor - produtos brutos - 2005 (distribuição regional e setorial da quantidade consumida).

Distribuição Regional	(%)	Setores de Consumo/Uso	(%)
Santa Catarina	78,11	Condicionador de solos	85,19
São Paulo	13,32	Fertilizantes	14,81
Rio Grande do Sul	8,57	-	-

Fonte: AMB - 2006 - DNPM.

**Tabela 12.7** - Mercado consumidor - produtos beneficiados - 2005 (distribuição regional e setorial da quantidade consumida por substâncias).

Distribuição Regional	(%)	Setores de Consumo/Uso	(%)
Santa Catarina	78,11	Condicionador de solos	52,17
São Paulo	13,32	Fertilizantes	47,83
Rio Grande do Sul	8,57	-	-

**Tabela 12.8** - Exportação de turfa - principais países de destino - 2005 (participação percentual no valor).

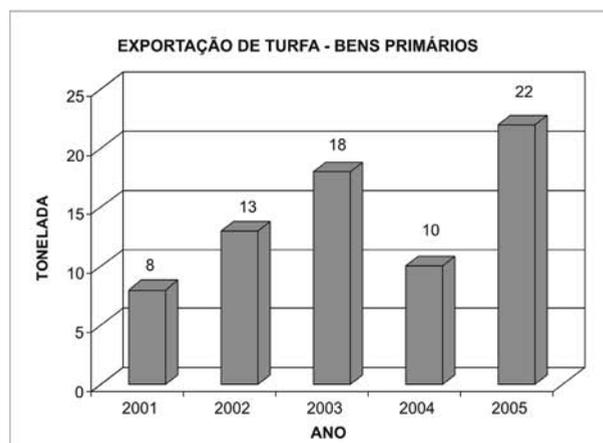
Produtos	Quantidade (t)	US\$ 1.000 (FOB)	Principais países de destino	(%)
Bens Primários	22	9	Peru	99,77
			Uruguai	0,23

Fonte: AMB-2005 - DNPM.

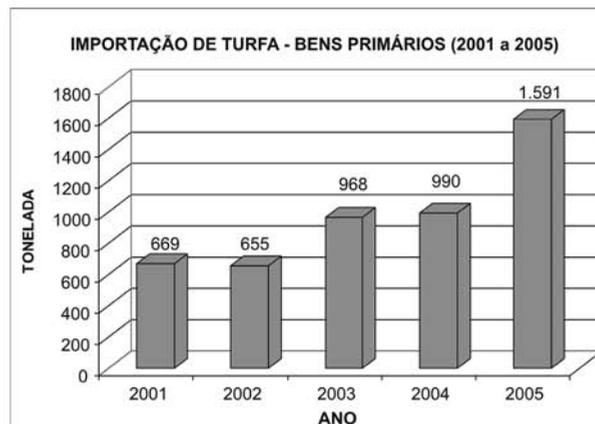
O crescimento das importações tende a aumentar nos próximos anos com a preocupação de se incrementar a biodiversidade.

As importações, no período de 2001 a 2005, tiveram um comportamento crescente, conforme vemos no Gráfico 12.2. Nos dois primeiros anos desse período, giraram em torno de 650 toneladas, nos dois anos seguintes, em torno de 950 toneladas e, em 2005, saltaram para mais de 1.500 toneladas. Este acréscimo deve ser a tendência para dos próximos anos.

Os principais países de origem das importações efetuadas pelo Brasil foram Canadá, Estados Unidos, Finlândia e Holanda. O Gráfico 12.3 mostra as importações desses países no período de 2001 a 2005. Como podemos notar, o país que mais fornece turfa é o Canadá, sendo que esta tendência vem decrescendo, enquanto as importações dos Estados Unidos crescem nesse período. Este comportamento parece continuar para os próximos anos.



**Gráfico 12.1** - Exportação de turfa - bens primários (2001 a 2005).



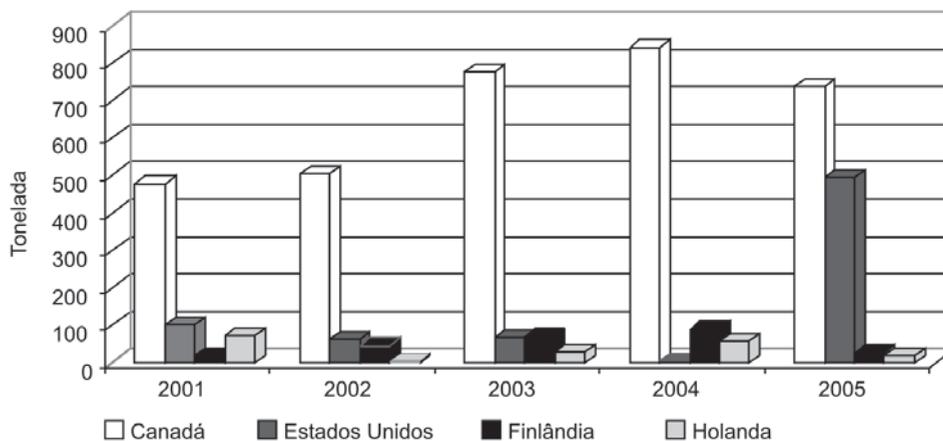
Fonte: Anuário Mineral Brasileiro, DNPM (2002 a 2006)

**Gráfico 12.2** - Importação de turfa - bens primários (2001 a 2005).

**Tabela 12.9** - Importação de turfa - principais países de origem - 2005 (participação percentual no valor).

Produtos	Quantidade (t)	US\$ 1.000 - FOB	Principais países de origem	(%)
Bens primários	1.591	1.492	Canadá	46,19
			Estados Unidos	31,12
			França	19,95
			Finlândia	1,56
			Holanda	1,17

Fonte: AMB-2005 - DNPM



Gráficos 12.3 - Importação de turfa - principais países de origem.

### 13. Considerações finais e recomendações

Considerando o potencial agrícola e ecológico da turfa, existem ainda poucos estudos para o seu aproveitamento adequado. Devido à sua natureza variável e à fragilidade dos ambientes em que ocorrem, as turfas possuem pouca importância econômica e social no Brasil. A localização das ocorrências e a dificuldade de manejo também favorecem a sua pouca utilização.

O manejo de turfas para fins agrícolas está relacionado diretamente ao manejo do excesso da água no ambiente. A drenagem artificial das turfeiras pode provocar alterações estruturais, refletindo na porosidade e densidade do material orgânico. A oxidação somada à decomposição da matéria orgânica é o principal fator que afeta a subsidência da turfa. Alguns autores consideram o manejo da água como ponto chave para o aproveitamento da turfa para fins agrícolas.

Os comentários e as observações aqui apresentados são mais de ordem econômica do que técnica, face ao pouco conhecimento ou falta de *know how* nacional para os métodos de lavra, beneficiamento, transporte, estocagem etc.

Um dos fatores que mais influencia uma turfeira, quanto ao seu melhor aproveitamento, são as condições climáticas. Nesse item, o Brasil, principalmente o Nordeste, é bastante favorecido para a

perda de umidade livre, quando a turfa é exposta ao sol, em média por uma semana. Economicamente, isso representa um grande ganho financeiro, porque a eliminação da água se dá em curto espaço de tempo, sem gasto com energia.

Há também outra vantagem: o período de insolação é muito maior, diferentemente de outros países de clima frio. Isto permite executar tarefas durante períodos muito maiores, no trabalho de lavra.

Para que a lavra mecanizada seja economicamente viável, uma turfeira deve possuir algumas condições necessárias, como: ter uma área mínima de 100 ha; a camada de turfa, além de apresentar continuidade, deverá ter uma possança mínima de 1,5 metro e manter certa homogeneidade de suas características, tanto vertical como horizontalmente, o que equivaleria a uma reserva *in situ* de  $1,5 \times 10^6$  m<sup>3</sup> de turfa, com 35% a 40% de umidade.

No caso do Brasil, como as turfeiras freqüentemente ocorrem a pequenas distâncias e localizam-se geralmente próximas de futuros centros consumidores, considera-se viável o aproveitamento de turfa com espessura inferior a 1,5 metro, no caso da utilização de métodos semimecanizados de lavra.

Para as turfeiras brasileiras, estima-se uma taxa de recuperação de 80%, das reservas *in situ*, como admitido no caso de uma lavra semimecanizada, e de 70% em uma lavra mecanizada.

Para uma turfeira ser economicamente viável, o capeamento de material estéril não deverá ser superior a 0,5 metro de espessura. Se a espessura for acima desse valor, inviabilizará o aproveitamento econômico da turfa.

O teor de cinzas deverá ser baixo, no caso de utilização para fins agrícolas, em torno ou inferior a 10%, de acordo com classificação de turfás, segundo o grau de humificação pelo sistema sueco de Von Post com um grau máximo de humificação de H4 a H5.

Com o incremento e incorporação de novas tecnologias agrícolas modernas, como nos estados da região Sul, no estado de São Paulo e nas regiões de alguns estados do Nordeste e na região do Triângulo Mineiro, o uso da turfa agrícola é bastante promissor. Para tal, há a necessidade de levantamento de ocorrência de turfa de especificações para uso agrícola nessas regiões, onde a oferta é de grande utilidade na produção agrícola.

Há informações que indicam que empresas de São Paulo têm se posicionado agressivamente no mercado, com oferta de condicionadores de solos e substratos agrícolas à base de turfa. Embora restrito, o mercado consumidor brasileiro de turfa agrícola é bastante promissor nas regiões de agricultura intensiva.

Como já foi afirmado, para a exploração ser viável comercialmente, a turfeira deve possuir características e apresentar certas condições, como a profundidade média mínima, dois metros, e não ter muitas ondulações no subsolo mineral. A drenagem deve ser natural bem como as condições de secagem natural de até, pelo menos, 55% de umidade, em função do vento, sol e umidade do ar.

O reaproveitamento da área é um dos itens mais importantes na exploração da turfa. A recomposição do terreno explorado deve ser preparada para posterior uso, agrícola ou florestal, desde que uma camada de turfa de 30 a 50cm seja deixada in situ para condicionamento do subsolo, geralmente muito pobre. Essa atividade de recuperação e posterior aproveitamento tem valorizado as áreas.

Tem-se verificado que as áreas recuperadas apresentam uma valorização em relação à situação inicial da turfeira.

## Referências bibliográficas

- ABREU, S. F. Recursos Minerais no Brasil. São Paulo: Edgard Blucher Ltda., 1973.
- BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais depósitos minerais do Brasil: recursos minerais energéticos. Brasília: 1985. v.1
- CAMPOS, A. R. de. Tecnologia de utilização de turfa. Rio de Janeiro: CETEM, [198-]. 41 f.
- CETEM - CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL. Anteprojeto tecnologia das turfás brasileiras. [S.l: s.n.], [197-] 15p. Convênio DNPM/CPRM.
- CESP/IPT, Vice-Presidência Divisional da Energia Não Convencional, Departamento de Projetos de Desenvolvimento, Divisão de Economia e Engenharia de Sistemas, Estudo das possibilidades de aproveitamento da turfa no estado de São Paulo, 1979.
- CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. A CPRM investiga as turfás nacionais. Mineração e Metalurgia, São Paulo, v. 48, n. 458, p.25, out. 1984.
- CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Projeto turfa. 17P. Inclui mapas.
- CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Relatório de visita técnica a produtores de fertilizantes fosfatados e turfa agrícola do estado de São Paulo: programa de avaliação geológico-econômica de insumos minerais para agricultura - PIMA. [S.l: s.n.], fev. 1996. 8p.
- DIAS, E.; Mendes, C.; GEVA (Gabinete de Ecologia Vegetal e Aplicada - DCA - UAC). Importância hidroecológica dos ecossistemas de turfás. [S.l: s.n.]. Disponível em: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: Embrapa Produção da Informação. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 1999. 412p.

- DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral. Anuário Mineral Brasileiro 2001. Brasília, DF: DNPM, v. 1, 2001. ISSN 0100-9303.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de método de análise de solo. 2 ed. Ver. Atual. Rio de Janeiro: Embrapa, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPQ. Documentos, 1).
- ENCONTRO SOBRE TURFA, 1-2 jul. 1983, Rio de Janeiro. Resumos. Rio de Janeiro: Governo do Estado do Rio de Janeiro - Secretaria de Minas e Energia, 1983. Não paginado.
- FAO - Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação. World reference base for soil resources. Roma, Itália. FAO/ISSS/ISRC, 1988. 88p. (FAO, World Soil Resources Reports, 84).
- FERNANDES, J.L.; LAZZARI, R.T. Utilização da turfa como veículo para inoculante agrícola contendo R. Japonicum. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38., 1994, Balneário de Camboriú. Boletim de Resumos Expandidos. Balneário de Camboriú: SBG, 1994. v.1. p.438-442.
- FINLÂNDIA. Ministry of Trade and Industry. Report on energy use of peat. Helsinki: Ekono Consulting Engineers, 1981. 78 p. Prepared for United Nations Conference on New and Renewable Sources of Energy, 1981.
- FÜLLER, O.; Fernandes, G. A importância do uso da turfa na produção agrícola do Cerrado. Mineração e Metalurgia, n.º 468, setembro/1985, p. 56 e 57.
- GARCIA, M.J. Turfas. In: \_\_\_\_ Palinologia de turfeiras quaternárias do Médio Vale do Rio Paraíba do Sul, Estado de São Paulo. Universidade de São Paulo (Tese de Doutorado). São Paulo, 1994. p.55-62.
- GOMES, A. J. P. Carvão do Brasil turfa agrícola: geologia, meio ambiente e participação estratégica na produção de eletricidade no Sul do Brasil. Porto Alegre: Ed. EST, 2002. 164p.
- GRUMPELT, H. Relatório preliminar de viagem do Dr. Heinrich Grumpelt, da Alemanha, a turfeiras do nordeste brasileiro, no período de 12 a 21 de abril de 1983. [S.l: s.n.], 1983. 10p.
- IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Estudo das possibilidades de aproveitamento da turfa no estado de São Paulo. São Paulo: IPT; CESP, 1979. 191 f. (Relatório IPT 12761).
- KIEL, E. J. Aproveitamento da turfa na agricultura - caracterização e influência nas propriedades do solo. Seminário sobre turfa, prospecção, produção e usos, São Paulo, 4 e 5 de dezembro de 1984. CESP Companhia Energética de São Paulo, 1985, págs. 171 a 182.
- LARGUIN, I. F. Jazimentos turfáceos e sua pesquisa: manual para trabalhos práticos e de laboratório. Traduzido do russo por Antonia d'Arc Lévy de Queiroz. Moscou: Nedra, 1977. 216 p.
- MARCHI, A. J. et al. Implantação e operação de uma unidade de produção de turfa para fins energéticos e agrícolas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO, 3., 10-13 jul. 1989, São Paulo. Coletânea de trabalhos técnicos. [Brasília]: OLAMI; IBRAM, 1989. v. 2. p.253-265.
- MICKELSEN, D. P. Peat. USA Bureau of Mines, Mineral Facts and Problems, Washington, 1976. p. 769 - 780.
- MINERAÇÃO E METALURGIA. Rio de Janeiro: Revista de Mineração e Metalurgia, v. 49, n.468, set. 1985. 63 p.
- MINÉRIOS, EXTRAÇÃO E PROCESSAMENTO. São Paulo: Emep, v.18, n.202, jun.1995. 50 p.
- PEAT. U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, Washington D.C., p.119, Jan. 2002.
- PEAT. U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, Washington D.C., p.121.
- PEAT. U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, Washington D.C., p.119.
- PEAT. U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, Washington D.C., p.119.
- PEAT. U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, Washington D.C., p.121.

- PEAT. U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, Washington D.C., p.117.
- REPORT ON ENERGY use of peat, prepared for United Nations Conference on new and renewable sources of energy, 1981, prepared by the Ministry of Trade and Industry of Finland, Helsinki, November 1980.
- SANTOS, A. P. Potencial de turfa no Brasil. Rio de Janeiro: CPRM, 1986. 27 p. Trabalho apresentado no SINERGE - Simpósio Nacional sobre Fontes Novas e Renováveis de Energia, Brasília, 1986.
- SEMINÁRIO SOBRE TURFA. PROSPECÇÃO, PRODUÇÃO E USOS, 4-5 dez. 1984, São Paulo. Palesstras. São Paulo: CESP, 1985. 219 p. il, cópia xerox. (Pesquisa e Desenvolvimento, 017).
- SINGER, E. M. Análise ambiental de possíveis aproveitamentos de turfa. Seminário sobre turfa, prospecção, produção e usos, São Paulo, 4 e 5 de dezembro de 1984. CESP Companhia Energética de São Paulo, 1985, págs. 95 a 110.
- TÓPICOS EM CIÊNCIA DO SOLO - Vol. I (2000) - Viçosa, MG; Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000.
- TURFA. Anuário Mineral Brasileiro 2002. Brasília, DF: DNPM, parte III, 2002. Disponível em: <www.dnmp.gov.br >. Acesso em 07 dez. 2007.
- TURFA. Anuário Mineral Brasileiro 2003. Brasília, DF: DNPM, parte III, 2003. Disponível em: <www.dnmp.gov.br >. Acesso em 07 dez. 2007.
- TURFA. Anuário Mineral Brasileiro 2004. Brasília, DF: DNPM, parte III, 2004. Disponível em: <www.dnmp.gov.br >. Acesso em 07 dez. 2007.
- TURFA. Anuário Mineral Brasileiro 2005. Brasília, DF: DNPM, parte III, 2005. Disponível em: <www.dnmp.gov.br >. Acesso em 07 dez. 2007.
- TURFA. Anuário Mineral Brasileiro 2006. Brasília, DF: DNPM, parte III, 2006. Disponível em: <www.dnmp.gov.br >. Acesso em 07 dez. 2007.
- TURFA: definição, propriedade e utilização. Salvador: Traduzo, 1980. 16 p. Tradução de "Report on Energy Use of Peat", trabalho preparado pelo Ministério do Comércio e Indústria da Finlândia, em 1980, para a conferência nas Nações Unidas sobre fontes renováveis de energia.
- WAKSMAN, S. A. The peats of New Jersey and their utilization. New Jersey State Department of Conservation. Geological Series Bulletin nº55.
- WILDNER, W.; LOPES, R. da C.; CAMOZZATO, E. Turfa na província costeira do Brasil meridional, do Chuí à Laguna. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35. 1988, Belém. Anais... Belém: SBG, 1988. v.6. p. 2514.

# Capítulo 20 - Impactos Radiológicos da Indústria do Fosfato

## Os autores

### Horst Monken Fernandes

Engenheiro Químico, D.Sc. em Geoquímica (UFF), Pesquisador Titular IRD/CNEN.  
E-mail: monkenhorst@yahoo.com.br

### Mônica Aquino Pires do Rio

Engenheira Química, D.Sc. em Biologia, Pesquisadora Titular IRD/CNEN. E-mail: mapr@ird.gov.br

### Mariza Ramalho Franklin

Engenheira Civil (UFRJ), Geóloga (UFRJ), D.Sc. (COPPE/UFRJ), Pesquisadora do IRD/CNEN.  
E-mail: mariza@ird.gov.br

## 1. Introdução

Resíduos contendo NORM são gerados pela lavra e beneficiamento de rochas fosfáticas (fosforitas) que são processadas a ácido fosfórico e fósforo elementar. Estes dois produtos intermediários são então processados a fertilizantes fosfatados, detergentes, rações animais, aditivos em alimentos, pesticidas e outros produtos químicos (TVA, 1986).

O fosfato, em quantidades que justifiquem sua lavra, é concentrado por processos sedimentares, ígneos, biológicos e pelo intemperismo. O urânio pode ser incorporado aos minérios fosforíticos sedimentares pelo processo da substituição iônica nos cristais carbonato-fluoroapatíticos ou por adsorção. Os fosforitos ígneos contêm menos urânio, porém se apresentam mais enriquecidos em tório. De uma forma geral, teores mais elevados de fosfato correspondem a teores mais elevados de urânio (50-300 ppm).

Aproximadamente 30 países produzem rocha fosfática para uso em mercados domésticos ou para exportação. Os principais países a suprirem rocha fosfática são aqueles do norte da África, os EUA, a China e a antiga União Soviética. Rochas sedimentares são prioritariamente encontradas no norte e oeste da África, nos EUA, na China e na Austrália (correspondendo a, aproximadamente, 90% da produção mundial).

Para se compreender a distribuição de elementos radioativos ao longo do processo de beneficiamento

da rocha fosfática é preciso entender como as diferentes etapas tecnológicas afetam os radionuclídeos associados ao minério.

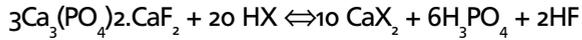
Geralmente, o material inicial para a produção do ácido fosfórico é o minério de fosfato beneficiado. Durante o beneficiamento, as partículas de fosfato são separadas do resto do minério. O beneficiamento pode ser bastante simples, apenas uma catação ou peneiramento, sendo o material de desmonte empilhado ou retornado à mina; ou muito elaborado, incluindo a lavagem, etapas de flotação e produzindo rejeitos argilo-fosfáticos e arenosos. Os rejeitos argilosos são armazenados em grandes áreas de deposição. Podem ser retornados à mina e usados como *back-fill* em outras áreas lavradas, usados também para construção de bacias de rejeito ou misturados com os rejeitos argilosos, de forma a reduzir o tempo de decantação. Em geral, o beneficiamento não aumenta a concentração de radionuclídeos.

## 2. Processamento do minério de fosfato: lixiviação ácida

O processamento do minério de fosfato, para produzir produtos intermediários, pode ser feito pela lixiviação ácida do minério, resultando no ácido fosfórico, ou pela produção do fósforo elementar em fornos.

A produção comercial do ácido fosfórico resulta do tratamento com ácidos fortes (ácidos sulfúrico,

clorídrico e nítrico) de concentrados de apatita. A conversão da apatita acontece de acordo com a equação geral (onde X = ácido):



O ácido fosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) decorrente do tratamento com o ácido (HX) é separado e, então, processado.

### 3. Fluxos de matérias e radionuclídeos seguindo-se a acidulação com ácido sulfúrico

A grande maioria das acidulações (95%) são feitas com ácido sulfúrico, o que leva à formação do gesso ( $\text{CaSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ ), que é pouco solúvel na mistura resultante da reação. Os cristais de gesso sólido precipitam e podem ser facilmente separados do ácido fosfórico bruto por filtração, após um processo de lavagem. Uma etapa de neutralização pode ser incluída.

Amenos que o ácido fosfórico seja usado para a produção de fertilizantes, ele é purificado na extensão necessária ao seu próximo uso. A purificação do ácido fosfórico é feita através da extração por solvente.

Em termos de números redondos, a produção de uma tonelada de fosfato ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) resulta na geração de quatro a cinco toneladas de fosfogesso (VANDEHOVE *et al.*, 2000; DOE, s.d.; BEATSLE, 1991; DOI, 1992). Há variações deste esquema (Figura 3.1) em uso, principalmente para se alcançar quantidades mais limpas e concentradas de ácido fosfórico.

De maneira geral, 80% do  $^{226}\text{Ra}$ , 30% do  $^{232}\text{Th}$  e 14% do  $^{238}\text{U}$  se depositam no fosfogesso. O urânio e o tório se tornam enriquecidos no fertilizante em, aproximadamente, 150% do valor original. Entretanto, a quantidade de radioatividade que é fracionada no gesso varia significativamente.

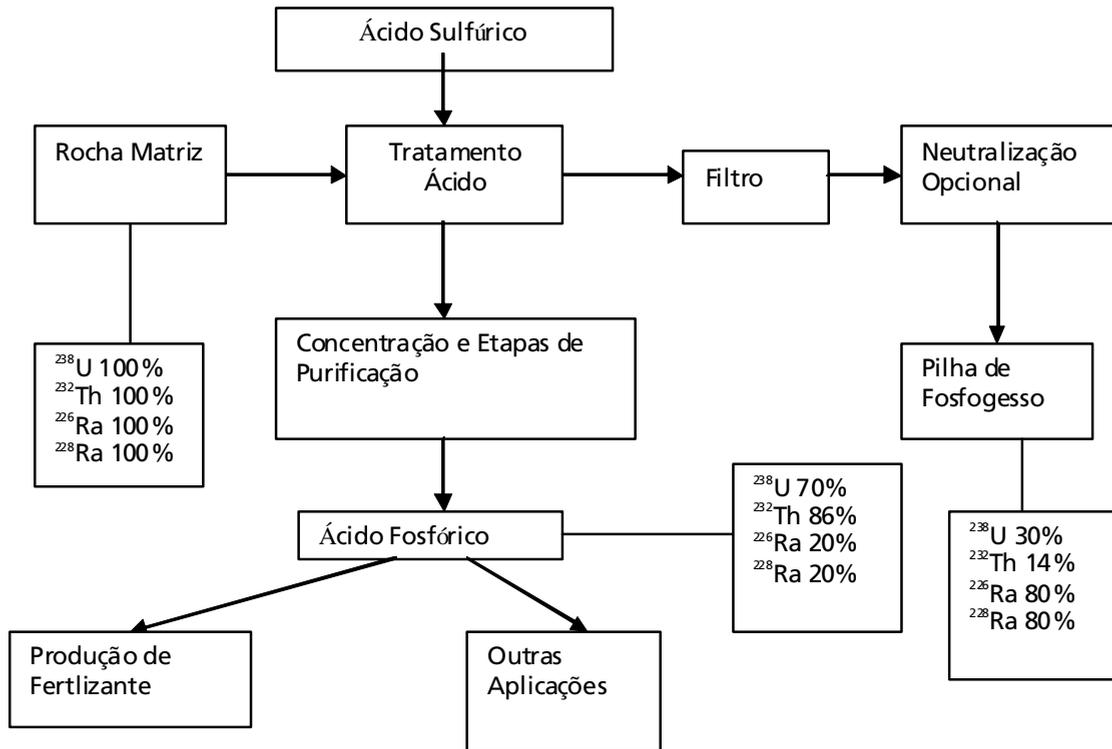


Figura 3.1 - Fluxo do processo de extração de fósforo com ácido sulfúrico

#### 4. Resíduos do processo com ácido sulfúrico

O fosfogesso, principal rejeito gerado pela via úmida da produção do ácido fosfórico, é transferido como uma polpa para as áreas de deposição e pode ser depositado em pilhas ou liberado em rios ou no oceano. Estas áreas de deposição, que são referidas na literatura como pilhas de fosfogesso, são geralmente construídas em áreas virgens ou áreas exauridas pela lavra, com pouca ou nenhuma preparação da terra.

Cada unidade de produção de ácido fosfórico pode ter uma ou mais pilhas de fosfogesso, que podem ser cobertas com água. As concentrações de atividade do Ra no gesso podem variar desde o *background* até 2 Bq.g<sup>-1</sup>. A Tabela 4.1 mostra concentrações de radionuclídeos encontradas no fosfogesso em alguns países.

Outras linhas de geração de rejeitos no processo do ácido fosfórico decorrem da deposição de pequenas quantidades de incrustação nas tubulações do processo, nos tanques de recebimento e nos filtros usados para filtrar o gesso a partir do ácido. A Tabela 4.2 mostra a concentração de radionuclídeos observada em incrustações.

Todavia, o montante destes rejeitos não é muito significativo se comparado com o volume de fosfogesso produzido, como mostra a Tabela 4.3.

Rejeitos deste tipo são atualmente dispostos em pilhas de gesso ou, em caso de descargas, nos rios e oceanos (SCHMIDT *et al.*, 1995). A Tabela 4.3 mostra que, para uma dada instalação, a maior parte do <sup>226</sup>Ra é empilhada junto ao fosfogesso (98,9% do total do inventário do <sup>226</sup>Ra). Os filtros de manga e os seus componentes contribuem somente com 0,083% ou, respectivamente, 0,0006% do total. Assim sendo, a disposição destes tipos de rejeitos não contribui significativamente para as exposições resultantes, tanto via liberação de materiais radioativos para as águas superficiais e subterrâneas, quanto pela via atmosférica, por meio da liberação de radônio, uma vez que estes rejeitos excedentes não são removidos das pilhas. Todavia, numa perspectiva de longo prazo, problemas radiológicos podem ser observados, uma vez que a remoção dos rejeitos excedentes não pode ser excluída dentro de um cenário de centenas a milhares de anos. Para reduzir os riscos futuros de uma remoção ou reúso dos rejeitos excedentes, regulamentações específicas, controle e manuseio são necessários.

**Tabela 4.1 - Concentrações de radionuclídeos no fosfogesso [Bq.kg<sup>-1</sup>]**

País	<sup>226</sup> Ra	<sup>238</sup> U	<sup>210</sup> Pb	<sup>210</sup> Po	<sup>232</sup> Th
EUA	270 – 1358	22 - 451	348 – 1853	355 – 1765	11
Europa	15 – 1700	500	1300	900	10
África do Sul	45 – 48	64 – 73	76 – 132	-	205 – 284
Austrália	280 – 350	10 – 24	320 – 440	150 – 360	4-7

**Tabela 4.2 - Concentração de radionuclídeos em incrustações [Bq.g<sup>-1</sup>]**

País	<sup>226</sup> Ra	<sup>238</sup> U	<sup>210</sup> Pb	<sup>210</sup> Po	<sup>232</sup> Th
EUA	333.000	-	-	-	-
Europa	370.000	-	-	-	-
África do Sul	70 – 4470	66 – 3510	-	-	918 – 11.000
Austrália	3 – 3.900	-	30 – 1.300	5 – 112	-
Brasil	52 – 889	52 – 132	45 – 186	-	24 – 189

**Tabela 4.3** - Distribuição de  $^{226}\text{Ra}$  no material depositado nas pilhas de fosfogesso na IMC Fertilizers, INC, Mulberry/Florida

Material	Quantidade Anual	Fluxo de $^{226}\text{Ra}$ [GBq.a <sup>-1</sup> ]	Concentração de $^{226}\text{Ra}$ [Bq.g <sup>-1</sup> ]
Fosfogesso	8,25 x 10 <sup>6</sup> t	7922	0,96
Incrustações	2500 t	83	33
Filtros	1170 filtros de mangas	6.7	-
Tubulações	20 t	0,67	33
Partes dos Filtros	3 partes	0,044	-

Fonte: Schmidt *et al.*, 1995.

Alguns países têm elaborado sistemas para gerenciar estes rejeitos. Na Holanda, por exemplo, as incrustações são empacotadas em containers para o armazenamento de longo prazo na instalação da COVRA (CODEE e LAGERWERF, 2000).

## 5. Fluxos de materiais, resíduos e radionuclídeos no processo com ácido clorídrico

O processo com ácido clorídrico foi desenvolvido pelo Instituto de Mineração de Israel (IMI) nos idos de 1950 (IMI, 1956 e 1972). Ele não é empregado de forma geral tanto na Europa quanto nos EUA. Neste processo, o minério é tratado com ácido clorídrico trazendo o ácido fosfórico e o cloreto de cálcio para solução. Os sólidos de  $\text{CaF}_2$  são dispostos juntos com a linha de  $\text{CaCl}_2$  como rejeitos. O fluxograma de processo da rota clorídrica é comparável com o esquema apresentado na Figura 3.1, exceção feita aos rejeitos produzidos e à distribuição dos radionuclídeos. Todo o  $^{226}\text{Ra}$  no fosfato bruto é liberado com o efluente de  $\text{CaCl}_2/\text{F}_2$ , sendo que a maior parte deixará o sítio.

Na planta de Tessenderlo Chemie, na Bélgica, a rota clorídrica é usada para a produção do dicalciofosfato, que é predominantemente usado como aditivo nas rações animais (PARIDAENS e VANMARCKE, 2001). Durante a extração do fósforo, sais de  $\text{CaCl}_2$  e  $\text{CaF}_2$  são produzidos como subprodutos, contendo a maior parte dos radionuclídeos. Na primeira fase do processo de

extração do fósforo, formação do fosfato-moncalcio, o  $\text{CaF}_2$  formado é separado, filtrado e disposto rejeito. Cerca de 0,5 ton de  $\text{CaF}_2$  é formada por tonelada de  $\text{P}_2\text{O}_5$  tratada. Na segunda fase do processo, o fosfato monocalcico é precipitado com fosfatodicalcio e filtrado.

A solução de  $\text{CaCl}_2$  é sempre liberada em águas superficiais, uma vez que o cloreto de cálcio não pode ser disposto em terra devido à sua alta capacidade de reter água. O contato com pequenas quantidades de água teria o efeito de lavar a pilha muito rapidamente.

O tratamento mais comumente aplicado, antes da liberação da solução de cloreto de cálcio, é a neutralização com carbonato de cálcio. Nesta etapa, a maior parte dos metais tóxicos no minério forma lamas insolúveis de hidróxido/carbonato, que podem ser removidas por decantação. Esta linha de rejeitos tem que ser disposta como rejeitos sólidos tóxicos com alta solubilidade em condições ácidas. A borra contendo metais pesados de 2.000 a 4.000 Bq.kg<sup>-1</sup> de  $^{226}\text{Ra}$  é depositada. Também pó de  $^{238}\text{U}$  liberado do minério será precipitado pela adição de calcário e se somará ao  $\text{CaF}_2$  no sítio de deposição, resultando em concentrações de U na faixa de 3.600 a 6.000 Bq.kg<sup>-1</sup> nos precipitados fluorofosfáticos (BAETSLE, 1991).

As águas residuais contêm, depois da neutralização, predominantemente, o  $\text{CaCl}_2$  que permanece em solução e é depositado nas águas superficiais. A solução de  $\text{CaCl}_2$  ainda contém 20 Bq.L<sup>-1</sup> de  $^{226}\text{Ra}$ .

Outra etapa possível que antecede a liberação é a remoção específica do rádio. A adição de sulfato de bário ou cloreto de bário à solução de cloreto de cálcio permite a separação de um co-precipitado de  $(Ra,Ba)SO_4$ . Este pode ser removido pela filtração, e os cristais separados são, então, depositados. Devido ao fato de a massa de rádio na solução ser muito pequena (menos de ppb), o processo é muito efetivo, mas deixa um rejeito de baixo volume com uma alta produção de radônio, que demanda cuidados de disposição de longo prazo (BAETSLE, 1991).

Alguns rejeitos adicionais podem estar presentes nas soluções usadas no processo de extração. Incrustações podem ser encontradas, mas em menor grau do que no processo com ácido sulfúrico. O  $CaF_2$  é disposto em pilhas, que são, em geral, construídas diretamente no solo virgem ou em áreas mineradas com pouca ou nenhuma preparação da superfície.

## 6. Fluxos de materiais, resíduos e radionuclídeos no processo com ácido nítrico

O processo com ácido nítrico foi desenvolvido pela BASF (Ludwigshafen, Alemanha) e somente entrou em operação muito recentemente. O minério é tratado com ácido nítrico, sendo que somente uma pequena parcela de sais é lavada. Após o tratamento com amônia, para neutralização, e com dióxido de carbono, para precipitação do carbonato de cálcio, há a geração de fosfato de amônio e nitrato de amônio, que são diretamente usados na produção de fertilizantes. O carbonato sólido formado pode ser usado novamente na produção de dióxido de carbono para o processo, deixando o óxido de cálcio como resíduo, que pode ser usado prioritariamente na produção de cimento.

A principal linha de produção de rejeito no processo nítrico é a de óxido de cálcio deixando o processo. Não há nenhuma análise detalhada da distribuição da radioatividade ao longo do processo, uma vez que este passou a ser usado muito recentemente. Espera-se a presença de

urânio junto ao óxido de cálcio, sendo que outros contaminantes podem ser precipitados durante a etapa de neutralização com a amônia, como hidróxidos insolúveis. Se nenhum esquema de remoção de rádio for usado, o montante do radionuclídeo entrando no sistema deverá deixá-lo junto com o óxido de cálcio efluente.

O óxido de cálcio não pode ser depositado devido à alta solubilidade em água e devido ao alto valor de pH (11-12) da solução de lixívia resultante, nem pode ser descarregado em rios ou no mar. Ele tem que ser reutilizado, ou para o preenchimento (*backfilling*) das minas formadas, ou para a produção de cimento. Se o dióxido de carbono usado no processo não for produzido a partir do carbonato de cálcio, mas vier de outras fontes, o carbonato de cálcio remanescente pode ser facilmente disposto. O carbonato de cálcio é mais estável e menos lixiviável em condições ambientais normais do que o gesso.

## 7. Produção de fósforo elementar por meio de processo térmico

### 7.1 - Fluxo de materiais durante o processo térmico

A rocha fosfática pode ser derretida em forno ( $1.400^{\circ}C$ ) com areia, óxido de ferro e carvão para a produção de fósforo elementar. O fósforo e o monóxido de carbono, liberados como gases, saem dos fornos por uma chaminé. Os gases provenientes dos fornos passam através de coletores de particulados e, depois, de borrifadores condensadores, onde o fósforo é condensado e aprisionado (coletado) na água. Os sólidos residuais no forno contêm fósforo ferroso e silicato de cálcio ( $CaSiO_3$ ), também conhecido como escória. A escória é o principal rejeito da produção do fósforo elementar, e o fósforo ferroso é considerado um subproduto. O último é usado em aços especiais, ligas e pigmentos em tintas (USEPA, 1989). A escória encerra praticamente todo o urânio, tório, rádio e alguns isótopos de chumbo, enquanto outra parte dos isótopos de chumbo e polônio deixam o forno na linha de gás, em função

da alta temperatura. Os filtros de particulado elétricos separam parte do conteúdo de radionuclídeos presentes no gás, enquanto o polônio deixa o processo principalmente com os gases liberados.

## 7.2 Fluxos de radionuclídeos e conteúdo nos resíduos do processo térmico

A quantidade de escória chega a 85% da matéria-prima e contém a maior parte (93%) do  $^{238}\text{U}$  e  $^{226}\text{Ra}$  (VANDEHOVE *et al.*, 2000; BEATSLE, 1991). Este material pode ser usado para a construção de estradas. Em geral, os rejeitos também são usados como subprodutos (construção de estradas, argamassa, painéis).

A quantidade de particulados produzida no processo térmico é menor que 1% do minério bruto que entra no processo e contém níveis de  $^{210}\text{Pb}$  e  $^{210}\text{Po}$  na ordem de  $1.000 \text{ Bq.g}^{-1}$  (ERKENS, 1997).

De acordo com Baetsle (1991), as concentrações de  $^{226}\text{Ra}$  nas escórias variam na faixa entre  $1.300$  a  $1.500 \text{ Bq.kg}^{-1}$  e em torno de  $1.100 \text{ Bq.kg}^{-1}$  para o  $^{238}\text{U}$ .

## 7.3. Gerenciamento de resíduos

O método geral de gerenciamento das escórias na produção de fósforo elementar é o armazenamento ou disposição em pilhas de rejeito. O  $^{210}\text{Po}$  e o  $^{210}\text{Pb}$  no particulado podem ser imobilizados com cimento.

## 7.4. Impacto ambiental dos resíduos

Os impactos da produção de fosfato foram sumarizados recentemente no relatório da UNEP/UNIDO (1998). As liberações de rádio do produto da lixívia e do escoamento superficial das pilhas de fosfogesso são determinadas, principalmente, pela solubilidade do gesso e, geralmente, é muito pequena. As doses radiológicas da ingestão de água contaminada ou de produtos alimentícios, depois da contaminação de águas superficiais e subterrâneas, são, geralmente, pequenas, mesmo para um indivíduo que vive nas vizinhanças da pilha. Exposições devido à inalação de particulados

e radônio são geralmente baixas devido, prioritariamente, à condição de saturação das pilhas de fosfogesso. Além disso, o gesso se consolida quando seco. A intrusão na área de deposição das pilhas de fosfogesso pode resultar em exposições mais elevadas, predominantemente relacionadas com o radônio e irradiação externa. Níveis de exposição da ordem de  $0,3 \text{ OSv/h}$  na pilha são reportados (ROESSLER, 1987; PENFOLD *et al.*, 2002).

A descarga de gesso em rios pode resultar na contaminação das bordas do rio e aumentar a exposição de pessoas que vivem nas cercanias destas áreas, principalmente em função da exposição externa e exposição ao radônio.

Os problemas relacionados com a disposição das lamas de  $\text{CaF}_2$  são comparáveis com os problemas de exposição potencial aos depósitos de gesso, excetuando-se o fato de que o primeiro também contém U e pode conter níveis mais elevados de rádio. As doses para um grupo crítico que mora nas cercanias de um depósito de  $\text{CaF}_2$  foram estimadas como sendo da ordem de  $0,5 \text{ mSv.a}^{-1}$ , principalmente relacionadas ao radônio (VANDEHOVE *et al.*, 2000). A disposição do  $\text{CaCl}_2$  em águas superficiais, especialmente se o  $\text{BaSO}_4$  não for empregado na recuperação do Ra, pode resultar em contaminações importantes dos sedimentos de rios e de suas margens.

As escórias dos fornos são materiais vitrificados contendo radioatividade na matriz vítrea, resultando numa lixiviação limitada de radionuclídeos. Em adição a isto, a escória tem altos teores de carbonato, que também reduzem a solubilidade dos radionuclídeos. Entretanto, documento da USEPA, para o congresso americano sobre Rejeitos Especiais (USEPA, 1990), apresenta evidências de contaminação de águas subterrâneas em vários sítios utilizados para a deposição de escórias de fosfato. Desta forma, a despeito de todas as suas propriedades, as escórias podem ser suscetíveis à lixiviação significativa, dependendo das condições intempéricas locais.

## 8. Concentrações de radionuclídeos em fertilizantes

O método mais tradicional de produção de fertilizantes que está gradualmente se extinguindo consiste na adição de  $H_2SO_4$  ou  $H_3PO_4$  à rocha fosfática para a formação de  $Ca(H_2PO_4)_2$ . Este produto é usado nesta forma como fertilizante. Este tipo de fertilizante contém quantidades variáveis de U-Ra-Th, dependendo do ácido utilizado na acidulação do minério de fosfato. Para a produção de superfosfatos normais, são necessários minérios de alto teor de fosfato (33%  $P_2O_5$ ), para a geração de um produto contendo 20% de  $P_2O_5$  disponível após a acidulação da rocha com ácido sulfúrico. Nos superfosfatos triplos (SFT), o ácido fosfórico é usado como agente acidulante. O conteúdo de U nos SFT, comparado com o teor inicial na rocha fosfática, depende da concentração de U no ácido usado para produzir o SFT. O fosfato di-cálcico e o fosfato di-amônico são produzidos pela via úmida com ácido fosfórico pela neutralização com calcário e amônio.

O conteúdo de radioatividade em fertilizantes é muito variável e depende do conteúdo de radioatividade no minério e no método de produção. A Tabela 8.1 mostra alguns valores reportados por Baetsle (1991). Além do mais, vários processos de extração foram desenvolvidos para recuperar o U do  $H_3PO_4$ , resultando em fertilizantes livres de U.

Interessante notar que, apesar de a maior parte do U e Th permanecer no fertilizante, a aplicação do fertilizante não contribui para a dose radiológica devida à ingestão de alimentos que tenham sido cultivados com a aplicação de fertilizantes (máximo de  $2 \text{ Sv.a}^{-1}$  para um indivíduo) (BAETSLE, 1991). Os fosfatos cálcicos comerciais, gerados no processo térmico descrito anteriormente, não contêm nenhum dos radionuclídeos presentes no fosfato natural.

Trabalhos conduzidos na Finlândia mostraram que a contribuição anual de  $^{238}\text{U}$  nos fertilizantes NPK foi de 0,25% do total de urânio, ocorrendo naturalmente nos 10 cm superficiais de solo. Resultados similares foram reportados na Bélgica, onde se encontrou que a contaminação de  $^{226}\text{Ra}$  nos fertilizantes fosfatados adicionados ao solo representa, somente, 0,25% para  $14 \text{ k.ha}^{-1}$  de P e 0,96% para  $54 \text{ k.a}^{-1}$  de P para o total de  $^{226}\text{Ra}$ , nos 20 cm superficiais de solo.

Os efeitos de longo prazo da radioatividade decorrente do emprego de fosfatos como fertilizantes nos solos foram estudados nos EUA. Os superfosfatos triplos, produzidos a partir das rochas fosfáticas da Flórida e aplicados numa taxa de  $30 \text{ kg.ha}^{-1}$  de P, durante 50 anos, não alteraram as concentrações de U, Th e Ra nas folhas e grãos de milho, na palha e nos grãos e folhas de soja, em comparação com aqueles mesmos itens cultivados em áreas não fertilizadas (IFDC, 1998).

**Tabela 8.1** - Níveis de radioatividade em produtos da indústria do fosfato ( $\text{Bq.kg}^{-1}$ )

Produtos	$^{238}\text{U}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{232}\text{Th}$
Ácido fosfórico	1200 – 1500	300	
Superfosfato normal	520 – 1100	110 – 960	15 – 44
Superfosfato triplo	800 – 2160	230 – 800	44 – 48
Fosfato Mono-amônia	2000	20	63
Fosfato di-amônia	2300	210	<15
Fosfato di-cálcico		740	<37
PK	410	370	<15
NP	920	310	<30
NPK	440 – 470	210 – 270	<15

## 9. Utilização de subprodutos e resíduos

### 9.1 Utilização do fosfogesso

Devido à geração de imensas quantidades de fosfogesso, a indústria do fosfato tem encorajado o seu uso para minimizar os problemas com sua disposição. O fosfogesso é utilizado com fertilizante e condicionador do solo, assim como material de construção (aterro) na construção de estradas e como material de construção em geral, por exemplo, na produção de placas de gesso para rebaixamento de tetos e como aditivo ao cimento.

Nos EUA, o uso primário do fosfogesso é na agricultura (1 – 2% do fosfogesso gerado), enquanto o uso de fosfogesso em construções está banido (USEPA, 1990) devido à exalação do radônio. Outras aplicações consideradas incluem a recuperação do enxofre a partir do gesso, introdução do gesso em aterros municipais para aumentar a decomposição biológica, construção de recifes artificiais e conversão do fosfogesso em carbonato de cálcio e sulfato de amônia.

A exalação do Rn (reutilização como material de construção) e a irradiação direta (reutilização na construção de estradas) podem ser radiologicamente relevantes. Levantamentos radiológicos, realizados em trechos acabados de estradas nas quais o fosfogesso foi utilizado, mostraram que as taxas de exposição não foram discerníveis dos valores de *background* (USEPA, 1990).

### 9.2 Utilização das escórias

A escória da indústria do fosfato é usada como agregado na manufatura do asfalto e como agregado na produção do cimento tipo Portland, na construção de blocos e vias. Quarenta por cento das escórias produzidas na indústria de fosfato nos EUA são usadas como materiais de construção.

Escórias de  $\text{CaSiO}_3$ , decorrentes do processo de P-elementar, podem ser utilizadas para construção de estradas. O aumento das exposições devido à aplicação das escórias não se mostrou relevante.

### 9.3 Medidas para remediação

Na maior parte dos países da Europa, a indústria do fosfato não é sujeita a medidas de proteção radiológica comuns a outras indústrias que manipulam materiais com perigos comparáveis (SCHMIDT *et al.*, 1995):

- a operação das instalações não requer licenças relacionadas com a proteção radiológica;
- efluentes destas instalações e as doses radiológicas associadas não são limitadas aos níveis comuns aplicados a indivíduos do público, e nenhum programa de monitoração é posto em prática;
- sítios onde os rejeitos são dispostos não requerem licenças relacionadas com requisitos de proteção radiológica no que concerne ao manuseio e à deposição;
- manuseio, reparo e disposição de equipamentos usados na indústria do fosfato não requerem licenças no aspecto radiológico, apesar de as doses serem de relevância dentro do escopo regulatório.

Três principais aspectos ambientais associados aos rejeitos de fosfogesso têm que ser considerados:

1. o potencial de liberação de rádio e contaminantes não-radioativos no meio ambiente;
2. exalação de radônio para a atmosfera;
3. reuso potencial do material devido à perda de controle institucional.

Por outro lado, há várias propriedades deste material as quais o gerenciamento de longo prazo deve levar em consideração:

- o imenso volume dos rejeitos;
- a persistência dos perigos potenciais devido à longa meia-vida dos radionuclídeos relevantes;
- a solubilidade dos rejeitos em água.

Opções de ações remediadoras nas pilhas de fosfogesso podem ser guiadas pelo estado da arte na remediação de rejeitos gerados pela indústria

do urânio (IAEA, 1997 e 1998), uma vez que vários perigos e requisitos são muito semelhantes.

Existem processos envolvendo a concentração de ácido fosfórico e sedimentação para a produção de urânio na forma de yellow-cake. Entretanto, o processo não é economicamente viável, levando-se em consideração os preços atuais do urânio no mercado.

## 10. Estudos de caso

### 10.1 Lavra e beneficiamento da rocha fosfática

#### 10.1.1 Considerações gerais

A avaliação do impacto radiológico de uma instalação tem que levar em conta as diferentes vias de exposição do homem à radiação. Para tanto, há que se conhecer a composição dos efluentes lançados no meio ambiente (nos cursos de água superficiais, nas águas subterrâneas e na atmosfera) bem como o montante que é depositado nos solos, e posteriormente transferido para as plantas e animais. A partir daí, poder-se-á avaliar o quanto foi inalado, ingerido e a parcela de contribuição da irradiação externa.

Neste sentido, tais avaliações se beneficiam da existência de modelos computacionais que permitem a estimativa da dose de radiação pela simulação matemática de todo o trajeto percorrido pelos radionuclídeos, desde sua fonte até o homem.

Deve ser entendido que, na análise dos impactos potenciais causados por uma instalação (que já esteja em funcionamento), a simples coleta e medida do conteúdo de radionuclídeos nas amostras ambientais (água, solo, sedimento, aerossol, vegetais, peixes etc.) coletadas não permitem um diagnóstico exato da magnitude potencial do impacto associado à instalação. O meio ambiente é um sistema muito dinâmico. Se for verdade que neste diagnóstico deve-se considerar o retrato atual do meio (como está reagindo hoje ao que é nele liberado), por outro lado, há que se discutir como ele irá se comportar

no longo prazo. Neste caso, a concepção de cenários possíveis de exposição é de fundamental importância. Para se ter um exemplo disto, basta considerar-se uma pilha ou bacia de rejeitos. No momento presente, o operador da instalação pode estar tomando as medidas adequadas, no sentido de mitigarem-se os efeitos indesejáveis no meio ambiente. No entanto, medidas adicionais podem ser necessárias quando se pensa na ocupação futura da área após o término das operações da instalação. O material depositado pode ser usado inadvertidamente para construção de casas ou estas podem ser construídas sobre áreas usadas para deposição dos rejeitos.

O estudo de caso descrito a seguir, elaborado a partir da análise de uma instalação de mineração e beneficiamento de minério de fosfato, pretende abordar esta questão. Tal investigação foi feita no escopo do Projeto Mineradoras, conduzido pela Comissão Nacional de Energia Nuclear, sendo que as avaliações sobre possíveis impactos radiológicos ambientais foram feitas pelo Departamento de Proteção Radiológica Ambiental do Instituto de Radioproteção e Dosimetria, órgão daquela Comissão.

#### 10.1.2 Metodologia

A metodologia utilizada no trabalho envolve:

- análise criteriosa do processo operacional em termos de fluxos de matéria e sua caracterização radiológica para se estabelecer os fluxos de radioatividade;
- estimativa da dose decorrente da exposição potencial aos radionuclídeos liberados para o meio ambiente, durante o funcionamento da instalação e após o encerramento das operações.

De uma forma geral, foram cumpridas as seguintes etapas:

- análise do processo operacional da indústria e definição das interfaces com o meio ambiente para: i) seleção dos pontos de coleta das amostras na linha de processo; ii) verificação dos fluxos de massa envolvidos nas diversas

- etapas do processo; iii) seleção dos locais de coleta de efluentes líquidos;
- coleta e análise das amostras selecionadas, visando à sua caracterização radiológica;
- cálculo da atividade gerada em cada etapa do processo operacional e identificação dos rejeitos sólidos;
- identificação de mecanismos potenciais envolvidos na mobilização de poluentes dos rejeitos sólidos (bacias de rejeito e pilhas de estéreis), durante o funcionamento e após o descomissionamento da instalação;
- estimativa dos impactos ambientais potenciais após o encerramento das operações, com base no cálculo de dose na população que se utiliza do ambiente circunvizinho (eventualmente já impactado) e/ou de eventuais áreas de deposição de rejeitos sólidos;
- avaliação da necessidade de ações mitigadoras e/ou remediadoras bem como da condução de estudos adicionais.

### 10.1.3 Instalação selecionada – descrição do processo operacional (mineradora de fosfato I)

Esta instalação localiza-se na região de Araxá. Seus depósitos de fosfato estão localizados nas bordas da Bacia do Paraná. São de origem ígnea, oriundos de intensas movimentações de magmas carbonáticos, responsáveis pelas intrusões ultrabásicas alcalinas de Tapira. A jazida de fosfato é de baixo teor (6 a 7% de  $P_2O_5$ ), e o minério de fosfato ocorre associado a minerais de titânio, nióbio e terras-raras. As reservas geológicas são de, aproximadamente, 2,2 bilhões de toneladas de minério de fosfato. O minério de fosfato apresenta teores de urânio e tório de, aproximadamente, 27 e 55 ppm, respectivamente.

A instalação processa rocha fosfática para a produção do concentrado apatítico. O concentrado é enviado por mineroduto à unidade para a produção de ácido fosfórico e de fertilizantes fosfatados. Possui áreas de mineração, beneficiamento físico do minério, além de uma bacia de

rejeitos, que recebe os efluentes deste beneficiamento.

A lavra é feita a céu aberto, com decapagem a fogo do minério de titânio, que se encontra sobre o fosfato. Este minério de titânio está sendo estocado visando ao seu aproveitamento futuro.

O processo operacional da instalação consiste, apenas, de operações físicas de beneficiamento. O minério é lavrado, britado e estocado em grandes pilhas de homogeneização. Após moagem, o minério é enviado ao setor de desmagnetização e deslamagem. Em seguida, o minério é concentrado na etapa de flotação. O concentrado apatítico é conduzido à usina de beneficiamento químico da empresa através de um mineroduto. Os rejeitos do beneficiamento físico do minério são enviados a uma bacia de rejeitos, não havendo lançamento direto de efluentes para o meio ambiente. A água da bacia é recirculada no processo.

### 10.1.4 Resultados

Os resultados da caracterização radiológica das amostras de processo da mineradora de fosfato I estão apresentados na Tabela 10.1. O  $^{232}\text{Th}$  apresentou concentrações mais baixas no rejeito magnético e concentrado apatítico e mais elevadas na deslamagem e flotação. Já o  $^{228}\text{Ra}$ , é retido nos diferentes rejeitos mas, principalmente, no concentrado de apatita. O  $^{210}\text{Pb}$  foi preferencialmente concentrado no rejeito de deslamagem. Quanto ao  $^{226}\text{Ra}$  e ao  $^{238}\text{U}$ , observa-se uma partição equilibrada.

De forma geral, evidencia-se a ocorrência de valores relativamente baixos de concentração de radionuclídeos nos rejeitos. Não se pode definir uma preferência clara dos radionuclídeos em se concentrarem nos produtos gerados numa etapa específica do processo. Assim, as alterações no fluxo de atividade dos radionuclídeos são mais influenciadas pelos fluxos das massas a eles associadas do que pelas concentrações em si. Isto pode ser observado na Tabela 10.2 em que são apresentados os resultados de fluxo de radioatividade.

**Tabela 10.1** - Caracterização radiológica das amostras de processo da mineradora de fosfato I.

Etapa do Processo	Concentração de Atividade (Bq.kg <sup>-1</sup> )				
	<sup>238</sup> U	<sup>226</sup> Ra	<sup>210</sup> Pb	<sup>232</sup> Th	<sup>228</sup> Ra
Minério	114 ± 8	330 ± 41	800 ± 172	204 ± 21	350 ± 123
Rejeito Magnético	129 ± 9	150 ± 19	620 ± 152	54 ± 6	490 ± 138
Deslamagem	236 ± 16	282 ± 35	2169 ± 256	256 ± 26	621 ± 152
Rejeito de Flotação	174 ± 12	199 ± 25	620 ± 152	204 ± 21	796 ± 171
Concentrado de Apatita	169 ± 11	300 ± 38	980 ± 191	91 ± 9	1170 ± 213

Fonte: Pires do Rio *et al.*, 2002.

**Tabela 10.2** - Estimativas dos fluxos de radioatividade em cada etapa do processo.

Etapa do Processo	Fluxo de Atividade (Bq.a <sup>-1</sup> )				
	<sup>238</sup> U	<sup>226</sup> Ra	<sup>210</sup> Pb	<sup>232</sup> Th	<sup>228</sup> Ra
Minério	1,3 x 10 <sup>12</sup>	3,7 x 10 <sup>12</sup>	9 x 10 <sup>12</sup>	2,3 x 10 <sup>12</sup>	3,9 x 10 <sup>12</sup>
Rejeito Magnético	2 x 10 <sup>11</sup>	2,4 x 10 <sup>11</sup>	9,8 x 10 <sup>11</sup>	8,5 x 10 <sup>10</sup>	7,7 x 10 <sup>11</sup>
Deslamagem	5,5 x 10 <sup>11</sup>	6,6 x 10 <sup>11</sup>	5,1 x 10 <sup>12</sup>	6 x 10 <sup>11</sup>	1,5 x 10 <sup>12</sup>
Rejeito de Flotação	1 x 10 <sup>12</sup>	1,2 x 10 <sup>12</sup>	3,6 x 10 <sup>12</sup>	1,2 x 10 <sup>12</sup>	4,6 x 10 <sup>12</sup>
Concentrado de Apatita	2,6 x 10 <sup>12</sup>	4,6 x 10 <sup>11</sup>	1,5 x 10 <sup>12</sup>	1,4 x 10 <sup>11</sup>	1,8 x 10 <sup>12</sup>

Fonte: Pires do Rio *et al.*, 2002.

## 10.2 Uso do fosfogesso na construção civil

Rosa (1997) desenvolveu um estudo que teve por objetivo a avaliação das implicações decorrentes do uso do fosfogesso na construção civil. O material selecionado foi amostrado em duas indústrias diferentes.

No caso das exposições de indivíduos à radiação no interior de casas, deve se levar em consideração a irradiação externa, ocasionada graças à presença de radionuclídeos nos materiais de construção. Esta exposição vai depender, além da concentração dos elementos radioativos, da dimensão dos cômodos e dos padrões de ocupação dos mesmos, isto é, o tempo que o indivíduo permanece no seu interior.

O campo de radiação gama existente no interior de uma residência, proveniente dos materiais de

construção, é originado, principalmente, pelo decaimento dos radionuclídeos pertencentes às cadeias do <sup>238</sup>U e do <sup>232</sup>Th, além do <sup>40</sup>K. Nas cadeias do <sup>238</sup>U e do <sup>232</sup>Th, existem 16 emissores gama que emitem radiações com taxa de emissão > 10<sup>-3</sup> fótons por desintegração, com energia entre 0,011 MeV e 2,45 MeV e 0,01 MeV e 2,615 MeV, respectivamente (ROSA, 1997).

A radiação gama, decorrente do decaimento dos radionuclídeos naturais presentes nos materiais de construção, é gerada de forma isotrópica e, conseqüentemente, só uma fração das emissões originais terá a probabilidade de atingir o indivíduo exposto no interior da construção.

A taxa de exposição média de cada país, no interior de residências, varia de 20 a 190 nGy.h<sup>-1</sup>, enquanto a média ponderada pela população é de cerca de 80 nGy.h<sup>-1</sup>.

Além da exposição aos raios gama, outra via significativa de exposição

do homem no interior de residências é a inalação dos isótopos do radônio e de seus produtos de decaimento de meia-vida curta.

Em geral, as altas concentrações de radônio no interior de construções estão relacionadas a sua entrada no ambiente, por convecção, a partir do solo. Entretanto, existem situações nas quais a contribuição dos materiais de construção para o incremento do aporte do gás deve ser avaliada.

A utilização de materiais de construção com altas concentrações de U e Th pode contribuir para um aumento significativo das concentrações de radônio e filhos no interior das residências. Nesse caso, o aumento decorre da geração de radônio pelos isótopos do rádio, que se formam a partir do decaimento de seus precursores naturais e com os quais, em geral, permanece em equilíbrio secular.

Para proceder às avaliações das exposições de indivíduos em residências, em função do uso do fosfogesso como material de construção, Rosa (1997) caracterizou o material a partir da sua coleta em duas empresas, A e B. Os resultados são apresentados a seguir nas Tabelas 10.3 e 10.4. Estes também foram usados por Costa Silva (1997) na avaliação do uso do fosfogesso na agricultura, assunto que será tratado na seção a seguir.

O que podemos observar é que o produto recolhido para análise a partir da empresa B apresenta concentrações de atividade maiores do que o da empresa A. Conseqüentemente, as doses decorrentes do uso deste material devem ser também maiores, se as condições de exposição forem mantidas as mesmas. A composição do material reflete, em grande parte, a composição do próprio minério, uma vez que os processos de produção são bastante parecidos.

Para as estimativas de exposição, o autor considerou diferentes cenários que eram compostos basicamente de diferentes conceitos de construção dos cômodos da moradia. Assim, as paredes do quarto ou sala, o teto e o piso poderiam ser construídos pela combinação de alvenaria/argamassa com fosfogesso, placas de fosfogesso, concreto com fosfogesso.

Como conclusão, o estudo indicou que a inalação do  $^{220}\text{Rn}$  é responsável pelos maiores valores do equivalente de dose efetiva nos cenários considerados, contribuindo com mais de 80% do equivalente de dose calculado, sendo este o fator limitante no que diz respeito ao uso do fosfogesso. No entanto, ações mitigadoras, como a própria pintura das superfícies, são bastante efetivas para reduzir os valores de exalação do Rn. Já no que diz respeito à dose externa, esta é controlada pela concentração de atividade do  $^{228}\text{Ra}$  e  $^{228}\text{Th}$ .

Assim sendo, a utilização do fosfogesso da empresa A, nas condições prevaletentes no estudo quanto à sua utilização na argamassa, não apresentaria risco radiológico significativo. Já no caso do material proveniente da empresa B, o seu uso

deveria sofrer restrições, caso as hipóteses consideradas fossem adotadas.

### 10.3. Uso do fosfogesso na agricultura

Costa Silva (1997) investigou o uso do fosfogesso como insumo agrícola no Brasil, tanto dentro de uma perspectiva econômica como em relação aos eventuais detrimientos decorrentes de suas propriedades radioativas.

Nesta situação, isto é, aplicação em práticas agrícolas, o inconveniente principal é que os radionuclídeos presentes no material poderiam, em princípio, ser transferidos para alimentos, inclusive contaminando-os e atingindo o homem pela sua ingestão.

A transferência dos radionuclídeos do fosfogesso aplicado no solo para a planta depende de uma série de fatores, como, por exemplo, a disponibilidade do radionuclídeo para ser assimilado pela planta, a intensidade com que o fosfogesso é aplicado no solo, o clima da região, que pode ensejar um maior escoamento superficial e remoção do fosfogesso etc.

Neste trabalho, a autora usou como base de investigação uma aplicação de 2,0 t/ha em períodos de tempo de 10, 50 e 100 anos consecutivos. As concentrações dos radionuclídeos naturais no fosfogesso, proveniente de duas empresas distintas, são as mesmas apresentadas na seção anterior (Tabelas 10.3 e 10.4). Os cultivos estudados foram o arroz, café, cana-de-açúcar, feijão, milho, soja, trigo, além de terem sido considerados itens de origem animal, como a carne bovina e o leite de vaca.

**Tabela 10.3** - Concentração de atividade de radionuclídeos naturais no fosfogesso de uma empresa A.

Radionuclídeo	N	Média	Valor Mínimo	Valor Máximo
$^{238}\text{U}$	32	14	6	21
$^{234}\text{U}$	16	16	12	21
$^{226}\text{Ra}$	32	65	28	102
$^{228}\text{Ra}$	32	54	11	126
$^{232}\text{Th}$	32	30	12	49
$^{230}\text{Th}$	16	30	23	44
$^{228}\text{Th}$	16	63	39	100
$^{210}\text{Pb}$	16	65	20	119

Fonte: Rosa, 1997.

**Tabela 10.4** - Concentração de atividade de radionuclídeos naturais no fosfogesso de uma empresa B

Radionuclídeo	N	Média	Valor Mínimo	Valor Máximo
<sup>238</sup> U	30	77	52	116
<sup>234</sup> U	15	67	53	83
<sup>226</sup> Ra	30	184	50	319
<sup>228</sup> Ra	30	154	42	384
<sup>232</sup> Th	29	174	99	268
<sup>230</sup> Th	14	176	110	281
<sup>228</sup> Th	14	234	147	331
<sup>210</sup> Pb	15	275	163	513

Fonte: Rosa, 1997.

Em situações como essa, as estimativas das concentrações dos radionuclídeos no solo, nos produtos agrícolas e nos produtos animais, assim como as doses radiológicas, são feitas por meio de equações (modelos matemáticos). Experimentos de campo ou em condições controladas também podem ser feitos.

No caso dos solos, as concentrações de radionuclídeos são geralmente estimadas a partir da Equação 1:

$$C_{s,i} = \frac{C_{f,i} * a_f (1 - e^{-\lambda_{E,i} * t_d})}{P * \lambda_{E,i}} \quad (1)$$

Onde:

$C_{s,i}$  = concentração de atividade do radionuclídeo i no solo de cultivo (em Bq/kg<sub>seco</sub>);

$C_{f,i}$  = concentração de atividade do radionuclídeo i no gesso agrícola (Bq/kg);

$a_f$  = taxa de aplicação superficial de fosfogesso (kg.m<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup>);

$\lambda_{E,i}$  = constante de remoção efetiva de atividade do radionuclídeo i na zona radicular do solo (a<sup>-1</sup>).  $\lambda_{E,i} = \lambda_i + \lambda_s$ ;

$\lambda_i$  = constante de decaimento radioativo do radionuclídeo i (a<sup>-1</sup>);

$\lambda_s$  = constante de taxa de redução do material depositado no solo, por processos naturais, excetuando-se o decaimento radioativo (a<sup>-1</sup>);

$t_d$  = período durante o qual ocorre a deposição no solo (a);

$P$  = densidade superficial efetiva do solo (kg.m<sup>-2</sup>).

A Figura 10.1 apresenta, de forma simplificada, o modelo acima apresentado.

O *input* é representado pela taxa de aplicação do fosfogesso no solo. Já as perdas (*output*) são representadas por  $\lambda_{E,i}$ . Estas podem ser representadas por  $s$ , que abrange processos naturais, como o arraste pela chuva e transporte por *runoff*, o carregamento pela parcela infiltrante da água de chuva. Ambos os mecanismos têm como consequência potencial a contaminação de águas superficiais (por exemplo, rios, lagos, lagoas e estuários), assim como das águas subterrâneas. Da parte que permanece no solo, uma outra parcela é transferida para os diferentes itens nele cultivados. A transferência é representada por  $FT$ , na Equação 2, que é conhecido como fator de transferência. Desta forma, a concentração no vegetal é dada por:

$$C_{v,i} = C_{s,i} * FT_{v,i} e^{-\lambda_i t_h} \quad (2)$$

Onde:

$C_{v,i}$  = concentração de atividade do radionuclídeo i na parte comestível do vegetal v (Bq/kg<sup>-1</sup><sub>úmido</sub>);

$C_{s,i}$  = concentração de atividade do radionuclídeo i no solo de cultivo (Bq.kg<sup>-1</sup><sub>seco</sub>);

$FT_{v,i}$  = fator de transferência do solo para o vegetal (kg.seco.kg<sup>-1</sup><sub>úmido</sub>);

$\lambda_i$  = constante de decaimento radioativo do radionuclídeo i (d<sup>-1</sup>);

$t_h$  = período entre a colheita e o consumo do produto (d).

Como foi mencionado, o consumo do produto vegetal contaminado pelo(s) elemento(s) radioativo(s) dará origem a uma dose radiológica, uma vez que, ao ingerir o produto, estar-se-á ingerindo os radionuclídeos a ele associados. O cálculo da dose pode ser feito pela Equação 3:

$$E = \sum_i C_{v,i} * U_v * FCD_{ing,i} \quad (3)$$

Onde:

$E_v$  = dose efetiva comprometida devido ao consumo do vegetal v (Sv.ano<sup>-1</sup>);

$C_{v,i}$  = concentração de atividade do radionuclídeo i na parte comestível do vegetal; v (Bq.kg<sup>-1</sup>);

$U_v$  = taxa de ingestão do produto agrícola v (kg.ano<sup>-1</sup>);

$FCD_{ing,i}$  = fator de conversão de dose por ingestão do radionuclídeo i (Sv.Bq<sup>-1</sup>).

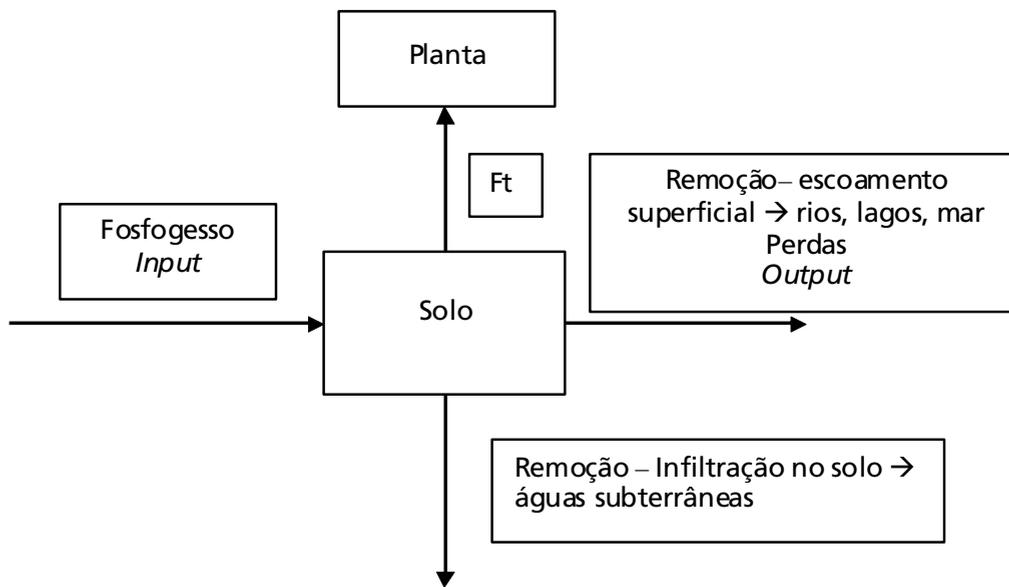


Figura 10.1 - Esquema da ciclagem do fosfógeno após sua aplicação no solo

O valor médio para a dose efetiva individual decorrente do uso do fosfógeno da empresa A variou entre  $4,5 \times 10^{-4}$  a  $3,55 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/a}$ ;  $1,76 \times 10^{-3}$  a  $1,31 \times 10^{-1} \text{ Sv/a}$ ; e  $2,8 \times 10^{-3}$  a  $2,0 \times 10^{-1} \text{ Sv/a}$ , para períodos de aplicação de 10, 50 e 100 anos, respectivamente. Já no caso do fosfógeno da empresa B, as faixas de valores de dose, para as concentrações médias usadas nas simulações, foram iguais a  $1,26 \times 10^{-3}$  a  $1,49 \times 10^{-1} \text{ Sv/a}$ ;  $5,11 \times 10^{-3}$  a  $6,03 \times 10^{-1} \text{ Sv/a}$ ; e  $7,99 \times 10^{-3}$  a  $9,43 \times 10^{-1} \text{ Sv/a}$ .

Estas faixas de valores são resultados de cálculos determinísticos, isto é, a cada parâmetro das equações utilizadas, é atribuído um único valor. Os cálculos assim feitos dão origem a um único resultado final para o conjunto de dados utilizados. Quando valores médios são utilizados, os resultados obtidos são tidos como sendo valores realistas. Já se os valores são superestimados, os resultados passam a ser interpretados como sendo fruto de cálculos conservadores, tendenciosamente executados para superestimar o valor resultante. Se mesmo neste caso os valores de dose não forem importantes, pode-se imaginar que se não estará incorrendo em riscos significativamente altos que inviabilizem a prática.

Por outro lado, cálculos probabilísticos podem ser feitos. Neste caso, varia-se o valor de cada parâmetro a partir da distribuição estatística dos valores relativos àquele parâmetro (podendo ser a distribuição normal, log-normal, uniforme, triangular etc.). A amostragem de cada valor de parâmetro é aleatória e, para cada conjunto de valores, tem-se um valor final como resultado daquela simulação. Após várias interações ter-se-á uma distribuição dos resultados. Usando-se, por exemplo, o valor do intervalo de confiança de 95%, tem-se que a probabilidade do valor final ser maior do que o obtido é de somente 5%. No caso destes cálculos, pôde-se estimar que, dos parâmetros usados nas simulações do valor de dose, o fator de aplicação do fosfógeno no solo, a taxa de remoção do material (excetuando-se o decaimento radioativo) e os fatores de transferência solo-planta foram aqueles que mais contribuíram na incerteza total dos valores simulados. Isto significa dizer que, para uma melhor estimativa (mais acurada) das doses, devido à ingestão de produtos agrícolas cultivados em solos nos quais o fosfógeno tenha sido aplicado, deve-se dominar satisfatoriamente o valor dos parâmetros acima citados.

Mas, para os cálculos realizados, o que se pode dizer dos valores de dose estimados por Costa Silva (1997)? O valor de dose mais elevado foi de 0,94 Sv/a devido à ingestão de feijão. A Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), na sua publicação Padrões Básicos de Segurança (BSS, 1996), recomenda o valor de 10 Sv/a para que uma dada prática seja isenta de controle regulatório do ponto de vista radiológico. Neste caso, o valor encontrado seria da ordem de 10% da chamada dose de isenção de controle, o que corresponderia a um valor de risco de se morrer por câncer da ordem de  $10^{-7}$ , ou seja, um valor desprezível. Para se ter uma idéia do significado do valor de dose associada à aplicação do fosfogesso na agricultura, a Comissão Nacional de Energia Nuclear, por meio da sua Norma Básica (CNEN, 1988), fixa como limite de dose, a não ser ultrapassado, para o indivíduo do público, o valor de 1 mSv/a, valor este atribuído a práticas como o funcionamento de instalações nucleares. É importante ser mencionado que o valor efetivamente autorizado de operação é menor, ou seja, 0,3 mSv/a. Isto corresponde a um valor 300 vezes superior àquele associado ao uso do fosfogesso na cultura do feijão.

Como conclusão do trabalho, fica evidente que, para as condições simuladas, não haveria restrição, do ponto de vista radiológico, do uso do fosfogesso na agricultura. Em contrapartida, poder-se-ia auferir aumento na produção de alguns produtos agrícolas, ao mesmo tempo que se disporia de uma estratégia para o gerenciamento das pilhas de fosfogesso associadas à produção de fertilizantes.

## 11. Recomendações e normas nacionais e internacionais

Como pode ser demonstrado, o maior problema potencial, do ponto de vista radiológico, da indústria do fosfato é a geração do resíduo chamado fosfogesso. A questão é saber se este material pode ser liberado para uso, do ponto de vista radiológico, ou se deve sofrer alguma restrição. Haveria então na legislação nacional e/ou internacional algum tipo de restrição ao seu uso?

A definição de Rejeito Radioativo adotada pela CNEN, na sua Norma Básica de Radioproteção (CNEN, 1988), diz que rejeito radioativo é todo e qualquer material, resultante de atividades humanas, que contenha radionuclídeos em quantidades superiores aos limites de isenção, de acordo com norma específica da CNEN, cuja reutilização é imprópria ou não previsível.

Temos então, pela definição, que considerar três aspectos:

- i) limites de isenção;
- ii) uso impróprio;
- iii) uso não previsível.

Como já vimos anteriormente, o uso do fosfogesso, para os casos estudados, não se mostrou impróprio (as doses não podem ser consideradas relevantes). Há vários tipos de uso previstos para o material, seja na agricultura, seja na construção civil. Temos então que considerar os *limites de isenção* estabelecidos em normas. Estes limites têm que estar associados à proteção do indivíduo do público, isto é, não são estabelecidos arbitrariamente. Acontece que, por ocasião da elaboração das normas (nacionais e internacionais) de radioproteção, tais materiais não foram considerados. E isso não foi à toa. Devemos levar em consideração que tal material não é advindo de nenhuma atividade que possa ser considerada como uma *prática*. Além disso, o volume de material gerado excede, em muito, o daqueles materiais cobertos pela norma. Assim, não podemos tratar materiais como o fosfogesso como rejeitos radioativos. A comunidade científica internacional classificou este tipo de material como (TE)NORM – *Technologically Enhanced Natural Radioactive Material*, ou seja, materiais que a radiatividade natural, ou melhor, a concentração de atividade de radionuclídeos naturais, foi aumentada por meio de um processo tecnológico.

Os Requisitos Básicos de Segurança – BSS, publicados pela AIEA, ampliam a definição de rejeitos radioativos. A definição diz que são materiais, independentemente da sua forma física, gerados

como resíduos a partir de práticas ou situações de intervenção e para os quais não se prevê nenhum tipo de uso, ou por estarem contaminados por substâncias radioativas e apresentarem uma atividade ou concentração de atividade superior aos *níveis de dispensa* dos requisitos regulamentares, ou pelo fato das exposições que podem gerar não estarem *excluídas* das Normas.

Todas as palavras em itálico têm definição própria. Usando aquelas que são apresentadas no BSS (AIEA, 1997), teremos:

- **Nível de dispensa:** valores estabelecidos pela autoridade regulatória (no caso do Brasil é a CNEN) e expressos na forma de concentração de atividade ou de atividade total, de forma que quando as fontes de radiação satisfaçam estes valores, podem ser liberadas (dispensadas) do controle regulatório.
- **Práticas:** toda a atividade humana que introduz fontes de exposição ou vias de exposição adicionais às já existentes ou que estende a exposição a mais pessoas, ou ainda, que modifique o conjunto de vias de exposição relacionadas às fontes existentes, de forma a aumentar a exposição ou a probabilidade de exposição de pessoas, ou o número de pessoas expostas.
- **Exclusão:** fora do campo de aplicação das normas.

No caso dos limites de isenção, também mencionados acima, a Norma CNEN-NE-6.02 "Licenciamento de Instalações Radiativas" (CNEN, s.d.) isenta de processo de licenciamento as instalações que envolvam, em qualquer instante, substâncias radioativas de atividade específica inferior a 100 Bq/g ou substâncias radioativas sólidas naturais, de atividade específica inferior a 500 Bq/g.

Isto posto, fica evidente que uma instalação que gere fosfogesso não pode ser considerada uma instalação nuclear pelo que é estabelecido em norma (CNEN, 1988). Tomando-se de forma radical a definição de prática (no caso, procurando enquadrá-la como uma instalação radiativa, já que ela teria o potencial de aumentar a exposição das

pessoas à radiação), há que se levar em conta que as concentrações típicas do material, conforme reportado acima, são inferiores aos níveis de isenção postulados na norma. Conseqüentemente, tal instalação poderia tão pouco ser considerada uma instalação radioativa.

Finalmente poderia se evocar a norma CNEN NE. 6.05 "Gerência de Rejeitos Radioativos em Instalações Radiativas" (CNEN, 1985). Nela afirma-se que o valor de 75 Bq/g deve ser usado para limitar o descarte de material em aterros sanitários. Não se pode pensar em descartar fosfogesso em aterros sanitários pelo seu grande volume, embora as suas concentrações de atividade sejam suficientemente baixas para permitir o descarte.

No cenário internacional, existem diferentes abordagens para o problema. A mais relevante que se discute no momento tem a ver com a Agência Internacional de Energia Atômica. Apesar de a AIEA não ter sido concebida para abordar questões desta natureza, ficou claro, pela dimensão que o tema (TE)NORM ganhou internacionalmente, que uma ação da entidade no sentido de harmonizar conceitos relacionados era necessária.

Um dos documentos elaborados pela AIEA é intitulado *Derivation of Activity Concentration Levels for Material not Requiring Regulation* (Derivação de Níveis de Concentração de Atividade para Isentar Materiais de Regulamentação) (AIEA, 2003). Este Relatório de Segurança (*Safety Report*), embora apresentado como esboço (*draft*), só poderá ser modificado pelo representante de cada Estado Membro na reunião do "Board" de Governadores).

Os níveis são derivados para cada radionuclídeo derivam de cenários de exposição previamente estabelecidos. Tais cenários envolvem: trabalhadores em aterros; trabalhadores em fundições; outros trabalhadores (por exemplo, motoristas de caminhão que transportem materiais com nível de radiação relevante); residentes próximos a aterro (onde material contaminado tenha sido disposto); residentes próximos a fundições; residentes em unidades habitacionais construídas com material

contaminado; residentes circunvizinhos a locais públicos construídos com material contaminado; e residentes usando água de poços privados ou consumindo peixes de rios contaminados. Cada um destes cenários de exposição envolve estimativas próprias que podem ser realistas ou conservativas. Mas deve ser ressaltado que os níveis derivados só se aplicam a radionuclídeos artificiais, ou seja, a exposição a radionuclídeos naturais, como no caso do fosfogesso, não é considerada.

O objetivo de se definir materiais que contêm substâncias naturalmente radioativas que devem ser reguladas é o de se identificar aquele que tenha algum risco radiológico significativo. Neste caso, a regulamentação poderá trazer algum tipo de benefício em termos de proteção à saúde das pessoas. A intenção é a de se excluir, virtualmente, de qualquer tipo de regulamentação todos os solos, mas não matérias-primas ou resíduos, como areias monazíticas (*mineral sands*), resíduos industriais (como o fosfogesso), bem como rejeitos que tenham concentrações relevantes.

O grupo de estudo responsável pela elaboração do documento chegou, então, à conclusão que o valor de 0,5 Bq/g seria aquele adequado para representar uma fronteira entre os níveis naturais observados em solos e aqueles representados por materiais como areias monazíticas, minérios, resíduos industriais e rejeitos. No caso do  $^{40}\text{K}$ , este valor subiria para 5 Bq/g e, no caso do  $^{235}\text{U}$ , seria da ordem de 0,05 Bq/g.

Está claro que existe uma grande diferença (de ordens de grandeza) entre os valores adotados nas normas brasileiras (75, 100 e 500 Bq/g) e os que estão para ser recomendados pela AIEA. Até o momento a CNEN não dispõe de uma norma semelhante a esta formulada para a AIEA. Nela há várias situações, como a do fosfogesso, que estão a exigir da Comissão um posicionamento a respeito. Mais importante ainda se faz este pronunciamento, por meio de normas próprias, é o fato de que as já existentes, como demonstrado acima, não dão conta, de forma adequada, do problema em pauta. O dilema aqui é o de se estabelecer limites próprios, eventualmente menos restritivos do que os

recomendados internacionalmente, dando mais flexibilidade no mercado interno, ou pelo contrário, acompanhar a tendência internacional causando algum tipo de restrição à circulação e uso destes materiais no País.

Especificamente no caso do fosfogesso, para os valores reportados nas Tabelas 10.3 e 10.4, a adoção do valor de 0,5 Bq/g não implicaria em nenhum tipo de necessidade de regulamentação sobre o uso do material.

**As opiniões expressas no texto são de total responsabilidade dos autores e não representam a posição da Comissão Nacional de Energia Nuclear nem do Instituto de Radioproteção e Dosimetria sobre o assunto.**

## Referências bibliográficas

- AIEA - Agência Internacional de Energia Nuclear. Normas Basicas Internacionales de Seguridad para la proteccion contra la radiacion ionizante y para la seguridad de lãs fuentes de radiacion. Viena, 1997. 365p.
- BAETSLE, L. H. Study of radionuclides contained in waste produced by the phosphate industry and their impacts of the environment, CEC-Report EUR 13262, Luxembourg, 1991.
- CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear. Diretrizes Básicas de Radioproteção. CNEN-NE-3.01. Rio de Janeiro, 1998. 121p. Disponível em: [www2.cnen.gov.br/seguranca/normasne\\_301.pdf](http://www2.cnen.gov.br/seguranca/normasne_301.pdf)
- CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear. Licenciamento de Instalações Radiativas. CNEN. NE-6.02. Rio de Janeiro. 19p. Disponível em: [www2.cnen.gov.br/seguranca/normasne\\_602.pdf](http://www2.cnen.gov.br/seguranca/normasne_602.pdf)
- CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear. Gerência de Rejeitos Radioativos em Instalações Radiativas. CNEN-NE-6.05. Rio de Janeiro, 1985. 48p. Disponível em: [www2.cnen.gov.br/seguranca/normas/ne\\_605.pdf](http://www2.cnen.gov.br/seguranca/normas/ne_605.pdf)
- CODEE, H. D. K. e LAGERWERF, H. The realization of a Management System for industrial NORM waste in the Netherlands. Proc. DISTEC 2000, Berlim (2000). 339-343.

- COSTA SILVA, L. H. Aspectos Econômico-Ambientais do Uso do Fosfogesso na Agricultura. Tese de Mestrado. Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia (COPPE). Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1997. 122p.
- DOE – U.S. Department of Energy, Office of Environmental Management, Estimates of domestic diffuse NORM waste generation, material density, total inventory, and radioactive concentration". Disponível em: [www.em.doe.gov/idb97/tab713.html](http://www.em.doe.gov/idb97/tab713.html). DOI – U.S. Department of Interior, "Annual Report, Phosphate Rock, 1991" Bureau of Mines, Washington, DC, 1992.
- DOI - U.S. Department of Interior, "Annual Report, Phosphate Rock, 1991" Bureau of Mines, Washington, DC, 1992.
- ERKENS, W. H. H. Eletrothermal phosphorus production, radioactivity in the environment and workplace. Proc. International Symposium on Radiological Problems with Natural Radioactivity in the Non-Nuclear Industry, European Commission/ KEMA, Amsterdam, 1997.
- IAEA - International Atomic Energy Agency. Safe Management of Wastes from the mining and milling of uranium and thorium ores. IAEA Safety Series No. 85, IAEA. Viena, 1987.
- IAEA - International Atomic Energy Agency. Guidebook on Good Practices in the management of uranium mining and milling operations and the preparation for their closure, IAEA TECDOC-1059. Viena, 1998.
- IAEA - International Atomic Energy Agency. Derivation of Activity Concentration Levels for Material not Requiring Regulation (Draft Safety Report), 2003.
- IFDC/UNIDO - International Fertilizer Development Center/United Nations Industrial Development Organization. Fertilizer Manual. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 1998.
- IMI - Israel Mining Institute. Process for the preparation of phosphoric acid. Israeli patent IL 009661, 1956.
- IMI - Israel Mining Institute. A short description of the IMI Process for cleaning of wet process phosphoric acid, ISMA Technical Conference, Sevilha Espanha, 20-24 1072, LTE/72/4, 1972. 14pp.
- PARIDAENS, J. e VANMARCKE, H. Inventory and characterization of increased concentrations of natural radionuclides from industrial origin in Flanders. SCK-CEN, Mol, Belgica, Report BLG-884, 2001. 46p.
- PENFOLD, J. S. S.; DEGRANGE, J. P.; MOBBS, S. F. e SCHNEIDER, T. Establishment of reference levels for regulatory control of workplaces where minerals are processed which contain enhanced levels of naturally occurring radionuclides. Draft Report, V. 3, CEC Contract number 95-ET-009, 2002.
- PIRES DO RIO, M. A.; AMARAL, E. C. S.; FERNANDES, H. M. e ROCHEDO, E. R. R. Environmental impact associated with non-uranium mining industries: a proposal for screening criteria. Journal of Environmental Radioactivity 59, 2002. 1-17pp.
- ROESSLER, C. E. The radiological aspects of phosphogypsum. Proc. Symp on natural radiation and technologically enhanced natural radiation. Florida, 1987. Daytona Beach, 320-338.
- ROSA, R. Exposição Potencial à Radiação Natural no Interior de Residências devido ao Uso do Fosfogesso na Indústria da Construção Civil. Tese de Mestrado. Instituto de Biofísica Carlo Chagas Filho, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1997. 122p.
- SCHMIDT, G; KUPPENS, C. e ROBINSON, P. Handling of Radium and uranium contaminated waste piles and other wastes from phosphate ore processing. CEC Report 15448EN, Luxemburgo, 1995.
- TVA - Tennessee Valley Authority, "Fertilizer Trends", Bulletin TVA/OACD-86/12, 1986.
- UNEP/UNIDO - United Nations Environment Programme/United Nations Industrial Development Organisation. Mineral Fertilizer Production and the Environment. Part 1. The fertilizer industry's

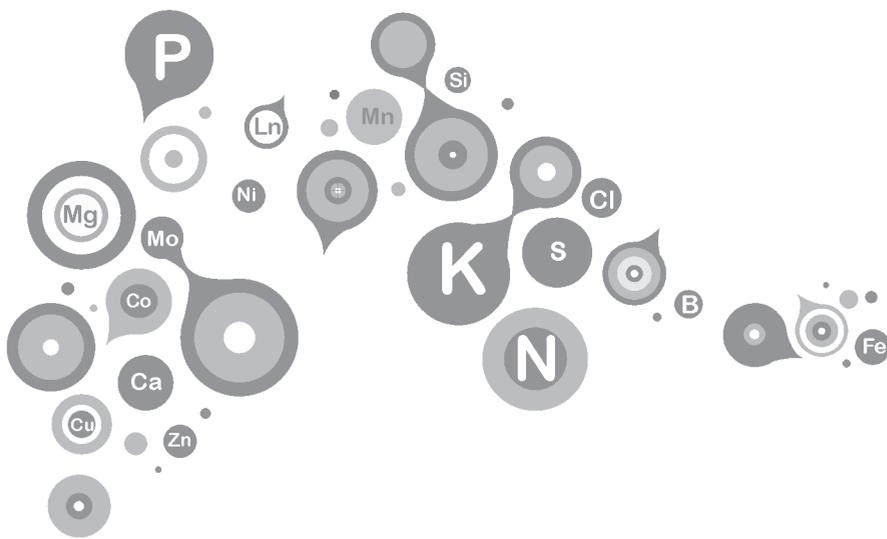
manufacturing processes and environmental issues., IFA/UNEP/UNIDO, Technical Report No.26 Part 1, 1998. 66p.

USEPA – U.S. Environmental Protection Agency. Characterization and control of radionuclide emissions from elemental phosphorus production. Report EPA-450/3-88-015, 1989.

USEPA - U.S. Environmental Protection Agency. Report to Congress on Special Wastes from Mineral Processing. Office of Solid Wastes and

Emergency response, Report EPA/530-SW-90-070C. Washington, DC, 1990.

VANDEHOVE, H.; BOUSHER, A.; HEDEMANN JENSEN, P.; JACKSON, D.; LAMBERS, B. e ZEEVAERT, T. Investigation of a possible basis for a common approach with regard to the restoration of areas affected by lasting radiation exposure as a result of past or old practice of work activity – CARE, Final Report to the European Commission, Contract 96-ET-006, Radiation Protection 115, 2000. 285p.



## 4 Rotas alternativas de produção de fertilizantes fosfatados

<b>Capítulo 21</b>	Uso agrônômico do termofosfato no Brasil	547
<b>Capítulo 22</b>	Fabricação de um fertilizante organofosfatado	573
<b>Capítulo 23</b>	Lixiviação clorídrica de rochas fosfáticas com recuperação de terras-raras: estudo de caso Angico dos Dias	585
<b>Capítulo 24</b>	Ensaio de lixiviação clorídrica e sulfúrica de concentrado fosfático: estudo de caso	615

## “Entre Aspas”

*Quando a agricultura prospera, todas as outras artes florescem com ela; mas quando se abandona o cultivo da terra, por qualquer razão que seja, todos os outros trabalhos em terra ou no mar, desaparecem simultaneamente. (Sócrates 470-399 a.C. - In: XENOFONTE, Tratado sobre Sócrates. Fonte: Os Economistas - Hume / Quesnay, 1988, Nova Cultural).*

*.../ o século XXI será o século das ciências da terra da mesma forma que o século XX foi o da física, pois, para suprir a necessidade da sociedade humana por recursos ambientais, haverá que considerar a terra como um sistema complexo, porém coerente, constituído por ar, água, rochas, solos e organismos (BOHLEN, 1998).*

*Somente a unificação das ciências geológicas, biológicas e ecológicas, tendo como parâmetro as ciências sociais, serão capazes de responder às contínuas demandas da sociedade tanto pela manutenção e ampliação de produtos e serviços que necessitam de minérios como pela preservação ambiental (SCLIAR, 2004).*

*.../ to increase per capita agricultural production for smallholder farmers, including enabling policies and improved infrastructural environment (including access to education and health facilities, credits, inputs, markets and extension services), reversal soil fertility depletion, as well as intensification and diversification of land use with high-value products (SANCHEZ & LEAKEY, 1997)*

*.../ sustaining agricultural productivity over a long period of time calls for effective resource management practices including sound soil, water and nutrient management. .../ The well-being of*

*future generations in increasingly linked with sustainable development and food security, and access for all to sufficient and nutritious food is the key to poverty reduction. To increase soil productivity, food production and food security, farmers have to not only increase soil nutrient concentrations but also improve the structure of the soil, and reduces soil losses. .../ Most soils related research and development efforts focus on technical issues. But non-technical factors (mainly social, economic and political) are important as well. .../ Results from field experiments in many parts of the world showed that gypsum applied at several tones per hectare decreases the sodium adsorption ratio, physically improves the infiltration rate and significantly increases yields. Naturally occurring gypsum can be used for this purpose but an industrial by-product from the phosphate industry, phosphogypsum, is also very effective in improving the soil' physical properties (P. VAN STRAATEN, 2002).*

*In view of the fact that gypsum is a byproduct in production processes of many organic and inorganic acids, nitrocellulose, pigments, metals and of gas desulphurization processes (fossil fuel burning products in industrial plants - so called flue-gas gypsum) and that it is now, and most likely in the future as well, a significant ecological problem, the development and improvement of this method for industrial use has full economic justification (KOSTIC-PULEK et al.).*

*Another useful agromineral is gypsum, the most commonly applied soil amendment for the reclamation of sodium affected soils (SHAINBERG et al., 1989).*

# Capítulo 21 - Uso Agronômico do Termofosfato no Brasil\*

## Os autores

### Euclides Caxambu A. de Souza

Professor Aposentado pela UNESP-Jaboticabal, Consultor Autônomo – Nutrição e adubação de plantas

### Minoru Yasuda

Engenheiro Agrônomo, M.Sc., Gerente do Departamento Agronômico, Mitsui Fertilizantes  
E-mail: minoruyasuda@fertimitsui.com.br

## 1. Introdução

A maioria dos solos brasileiros é ácida, pobres em fósforo<sup>1</sup> e com problemas na sua fixação. Por isso, ao serem adubados com fontes solúveis de fósforo, verifica-se que as plantas absorvem apenas uma pequena parcela. Com essas fontes, deve-se colocar excesso de fósforo para que, após ocorrer o equilíbrio no solo (lábil e não lábil), fique uma quantidade suficiente à disposição das plantas. Se a adubação for antecedida de calagem, haverá maior aproveitamento do fósforo (menor fixação no solo).

Quando se usam adubos altamente solúveis em ácido cítrico a 2%, na relação de extração de 1:100 (1g do adubo para 100 mL de ácido cítrico a 2%), como é o caso do termofosfato magnésiano, com 18% de  $P_2O_5$  total e 16,5% de  $P_2O_5$  solúvel em ácido cítrico a 2% (1:100), 92% do total são solúveis. Ter-se-ia, neste caso, quer pela ação da acidez do solo, quer pela ação da rizosfera, um aproveitamento gradual e constante, isto é, à medida que o fósforo fosse sendo colocado em disponibilidade (lábil), o mesmo seria absorvido pelas raízes das plantas, sendo muito pouco fixado pelo solo. No caso de uma acidez de solo elevada, pode-se considerar que 100% do total são solúveis.

Como o Brasil tem extensas áreas onde se poderia cultivar, por exemplo, arroz, cana-de-açúcar, milho, soja, café e frutíferas, seria bastante interessante optar pelo uso de um termofosfato, parti-

cularmente se fosse para corrigir rapidamente o teor de P do solo. Por outro lado, não se deve esquecer que o termofosfato magnésiano, denominado comercialmente de Yoorin, possui também propriedade alcalina. Devido aos seus teores de CaO (28%) e de MgO (11%) na forma de silicato, o mesmo eleva os valores de cálcio (Ca) e de magnésio (Mg) no solo e, conseqüentemente, a soma de bases (SB), causando a saturação por bases (V%). Isto é de extrema importância, tendo-se em vista que, em áreas distantes ou para culturas muito exigentes em Ca e Mg, como as de frutíferas (cítricos, bananeira, mangueira, videira etc.), o uso desse insumo facilitaria o manejo mais adequado da fertilidade do solo.

Já considerado como nutriente benéfico, deve-se citar que o Yoorin possui também 25% de  $SiO_2$  (sílica), o qual interfere na dinâmica do fósforo do solo e da planta. O silício aumenta o aproveitamento do fósforo aplicado ao solo, podendo inclusive exercer algumas funções do P, substituindo-o parcialmente. O silicato de cálcio ( $CaSiO_3$ ), por sua vez, eleva o valor de pH do solo.

Em função do exposto, procurar-se-á no presente capítulo avaliar o uso agronômico do termofosfato no Brasil, procurando dar informações sobre o processo de obtenção, ensaios de eficiência agronômica e respostas quali-quantitativas de algumas culturas ao uso do mesmo.

## 2. Histórico

A produção do termofosfato Yoorin é baseada no processo de fusão de rochas fosfatadas, fazendo uso de tecnologia japonesa. Do total de adubos fosfatados acidulados (superfosfatos) produzidos atualmente, o Yoorin representa aproximadamente 2% da capacidade total de produção de  $P_2O_5$  pela indústria brasileira de fertilizantes.

No início do século XX, tentou-se introduzir fosfato calcinado no mercado, em pequenas quantidades. Porém, sem sucesso, pois o produto não possuía características uniformes.

Em 1917, na Alemanha, se havia iniciado a produção em escala industrial, calcinando rochas fosfatadas com sais alcalinos, normalmente carbonato de sódio. O produto final foi denominado de fosfato Rhenania. Teve grande sucesso comercial.

Na época, um dos maiores problemas das indústrias foi encontrar um material fertilizante que pudesse ser misturado diretamente com a cianamida cálcica. Então, foram feitos ensaios de calcinação de misturas de rochas fosfatadas com sulfato de sódio, carvão e água.

O importante da descoberta é que o fluorfosfato de cálcio -  $[Ca_{10}F_2(PO_4)_6]$ , para aumentar a sua solubilização, deveria ser desfluorizado a temperaturas elevadas (1.400 a 1.600°C), as quais quebrariam a ligação que prende o flúor à estrutura de fluorapatita, sendo este tratamento feito na presença de sílica e vapor d'água.

Em 1950, iniciou-se, no Japão, a produção do termofosfato magnésiano ou fosfato fundido de cálcio e magnésio, obtido pela fusão das rochas fosfatadas com a rocha magnésiana (serpentina ou olivina), feita, principalmente, em fornos elétricos do tipo arco direto. O material foi resfriado rapidamente com jatos de água (*quenching*), à saída do forno, adquirindo estrutura vítrea. O produto teve enorme sucesso.

De uma maneira geral, já na década de 1950, os testes agrônômicos indicavam que o produto era particularmente adequado para solos ácidos em regiões de clima tropical, mas, em contrapartida,

não atuava satisfatoriamente em cultivares de regiões de clima temperado com solos alcalinos em geral.

Em função do exposto, pode-se dizer que, atualmente, os únicos termofosfatos produzidos industrialmente são o fosfato Rhenania, na Alemanha, e os termofosfatos magnésianos, no Japão, Coreia do Sul, Brasil, África do Sul e China.

No Brasil, a Fertilizantes Mitsui, instalada em Poços de Caldas - MG, opera com capacidade produtiva de 180.000 toneladas ao ano.

## 3. Obtenção

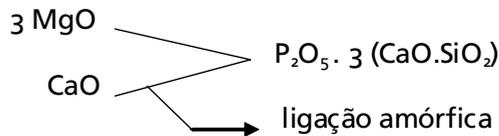
Os termofosfatos são definidos como fertilizantes resultantes de tratamento térmico de rochas fosfatadas, com ou sem a adição de outros materiais (silicato de magnésio). O tratamento térmico visa converter o fósforo, de modo a torná-lo mais disponível aos vegetais. No caso do termofosfato magnésiano, é necessária adição de compostos magnésianos e silícicos.

Na Figura 3.1 encontra-se o fluxograma do processo de produção do termofosfato magnésiano fundido (GUARDANI, 1987).

Na primeira etapa, prepara-se a rocha fosfatada e os materiais contendo sílica e magnésio, com granulometria entre 6 e 50mm (90% do total) e o restante abaixo de 6mm. São utilizados fornos elétricos do tipo "arco direto", com temperatura de operação entre 1.400 e 1.500°C. Tanto a alimentação do forno quanto a descarga são operações contínuas ou intermitentes. Ao sair do forno, o material é resfriado imediatamente com jatos de água, formando, nessa operação, grãos inferiores a 2mm, de aspecto vítreo e de coloração, em geral, enegrecida. Os grãos são, então, separados da água e levados a um pátio para drenar o excesso (produto granular). Daí, seguem para o secador rotativo e moinho de bolas. Posteriormente, o material é ensacado, adicionando-se ou não micronutrientes e enxofre elementar.

Atualmente, um dos produtos possui óxidos silicatados com micronutrientes, os quais são ob-

tidos juntamente na fusão para a obtenção do termofosfato magnesiano, produtos estes denominados comercialmente de YOORIN MASTER com 6% de S. Sua fórmula química é:  $[3 \text{ MgO} \cdot \text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5 \cdot 3 (\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2)]$ . A fórmula estrutural é:



As composições químicas dos produtos oferecidos no mercado são apresentadas na Tabela 3.1.

**Tabela 3.1** - Composições químicas dos produtos oferecidos no mercado.

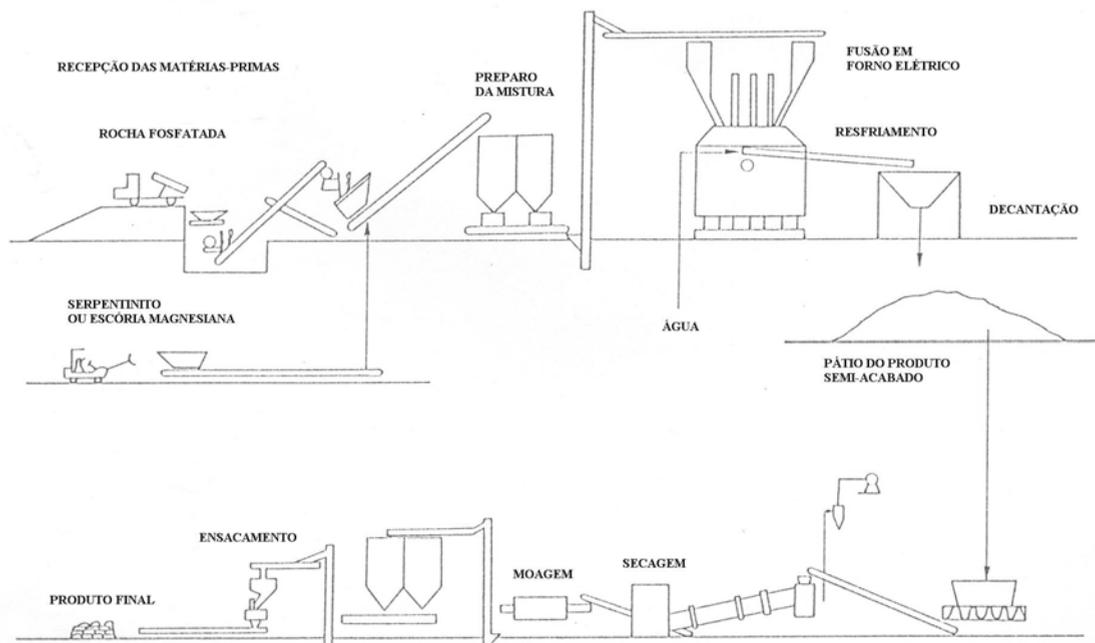
Característica (%)	Produtos				
	Mg	Zn	B	Master 1s	Master 2s
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total	18,0	17,0	17,0	17	17
MgO	11	11	11	15	12
CaO	28	28	28	28	25
SiO <sub>2</sub>	25	25	25	25	25
Zinco	-	0,5	0,4 a 1	0,55	0,5
Boro	-	-	-	0,1	0,2
Manganês	-	-	-	0,12	0,4
Molibdênio	-	-	-	0,006	0,005
Cobre	-	-	-	0,05	0,2
Enxofre	-	-	-	6	6

Quanto à granulometria, o pó passa 75% em peneira ABNT n° 100 (abertura de malha de 0,15mm) e o granular passa 100% em peneira ABNT n° 20 (abertura de malha de 0,84mm). O produto é insolúvel em água e apresenta característica alcalina, com pH ao redor de 8,0. O fósforo é solúvel em ácido cítrico a 2% (1:100).

O aquecimento e o resfriamento rápidos fazem com que desapareçam os cristais inicialmente existentes, os quais não têm tempo suficiente para recristalização.

A Figura 3.2 apresenta a ilustração da "estrutura" da fase vítrea, observando-se cadeias de polisilicatos de alguns polímeros de SiO<sub>4</sub>; o fósforo apresenta-se na forma de ânions ortofosfato-H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>; porém, como este íon é proveniente de ácido mais forte que o íon silicato, o mesmo apresenta-se isolado no vidro, enquanto o silicato está polimerizado. Os teores de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> são baixos e suas influências nas características do termofosfato não são significativas.

Além do fosfato de rocha usado como matéria-prima, também se adicionam a serpentina – Mg<sub>6</sub>Si<sub>4</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>8</sub> – e a olivina – (Mg, Fe)<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> –, além de quartzo ou sílica (SiO<sub>2</sub>).



**Figura 3.1** - Fluxograma simplificado do processo de produção do termofosfato magnesiano fundido.

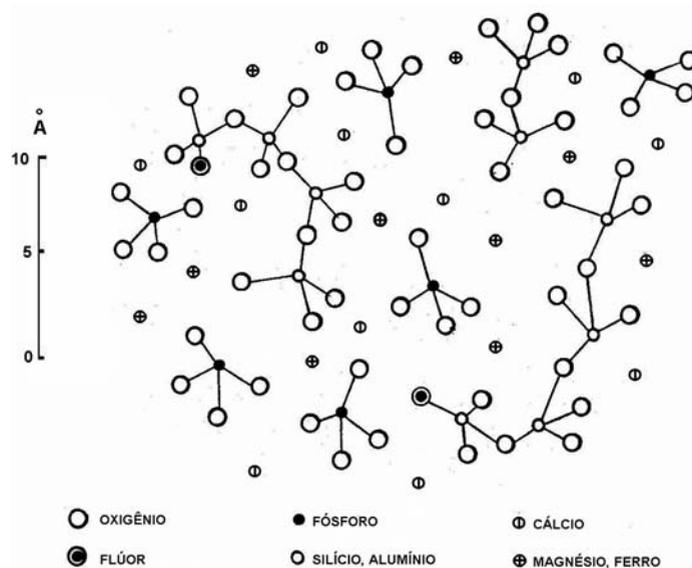


Figura 3.2 - "Estrutura" do termofosfato magnésiano fundido.

A serpentina decompõe-se a cerca de 650°C, perdendo água combinada, entre 800 e 900°C, forma-se a forsterita ( $Mg_2SiO_4$ ) e, a temperaturas mais altas, transforma-se em enstatita ( $MgSiO_3$ ) pela absorção de sílica do sistema.

A existência de substâncias cristalinas do produto prejudica a sua solubilidade. Assim sendo, as operações de fusão e resfriamento devem ser efetuadas de maneira eficiente, para minimizar a quantidade de cristais presentes no produto.

Na fusão, a viscosidade do material no estado líquido é influenciada por certos componentes do termofosfato magnésiano fundido. Quando a viscosidade do líquido é alta, há dificuldades de escoamento, o que prejudica a operação de resfriamento, tornando-a mais lenta e causando diminuição da solubilidade do produto. Os fatores que influenciam a viscosidade do líquido são: teor de  $Al_2O_3$  e a razão molar entre os teores de  $MgO$  e  $SiO_2$ .

#### 4. Legislação e propriedades físicas

De acordo com a Portaria nº 001, de 04/03/83, publicada no DOU de 09/03/83, 75% do termofosfato deve ter suas partículas passando em peneira de 0,15mm de abertura de malha ABNT nº 100. Por outro lado, a Portaria nº 001, de 22/05/84, publicada no DOU de 24/05/84, considera tam-

bém o termofosfato magnésiano grosso, o qual deve possuir teores mínimos de 17% de  $P_2O_5$  total, 11% de  $P_2O_5$  solúvel em ácido cítrico a 2% (1:100) e 7% de  $Mg$  (11,7% de  $MgO$ ), e que 100% passe em peneira de 0,84mm (ABNT nº 20). Qualquer dos termofosfatos magnésianos na forma de pó deverá ter um mínimo de 14% de  $P_2O_5$  extraído por ácido cítrico a 2%, na relação de extração de 1:100.

Desde 1973, a legislação japonesa para os termofosfatos exige que 100% passem na peneira de malha 2,00mm (ABNT nº 10) e que possuam, no máximo, 0,00015% de cádmio (Cd), para cada acréscimo de 1% de fósforo solúvel em ácido cítrico a 2% (1:150), à temperatura de 30°C e agitados por 60 minutos. A fração destinada à determinação de análise química deve ser moída e passada totalmente em peneira com abertura de malha de 0,21mm.

Silva (1987), estudando o efeito do superfosfato triplo e do termofosfato sobre a produção e qualidade nutritiva do sorgo sacarino em latossolo vermelho-escuro distrófico, aplicando 60 e 120 kg/ha de  $P_2O_5$ , concluiu que não houve diferenças entre os termofosfatos acabado (fino), semi-acabado e o grosso nessas avaliações.

Sfredo *et al.* (1982), estudando o efeito da intensidade de moagem do termofosfato Yoorin sobre a disponibilidade de P para a soja, aplicando as do-

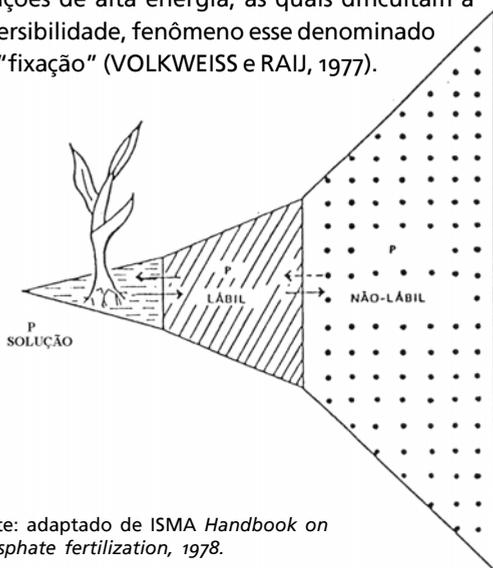
ses de 0-80-160-320 e 640 kg/ha de  $P_2O_5$ , concluíram que o Yoorin comercial (pó) e o Yoorin com partículas mais grosseiras foram capazes de elevar os teores de Ca e de Mg do solo, eliminando, concomitantemente, a acidez nociva causada pelo Al trocável. As produções de matéria seca foram as mesmas para as duas granulometrias.

## 5. O fósforo nos solos brasileiros

O maior problema de fertilidade do solo no Brasil refere-se ao fósforo. Apesar de os nossos solos serem paupérrimos, são altamente fixadores desse nutriente.

O fósforo total pode ocorrer desde valores menores que 0,012% de  $P_2O_5$ , até valores acima de 0,50%, o que equivale, na camada arável, de 200 até 1.000 kg/ha de  $P_2O_5$ . Porém, tal fato tem pouca importância para a agropecuária, pois a maior parte deste fósforo não está disponível para as plantas.

O íon ortofosfato ( $H_2PO_4^-$ ) solúvel em CNA mais água reage, principalmente, com o ferro, alumínio, cálcio e manganês, formando compostos de baixa solubilidade. Também reage com os minerais de argila, particularmente a caolinita (argila com rede cristalina de 1:1, entre  $SiO_2:Al_2O_3$ ), formando ligações de alta energia, as quais dificultam a reversibilidade, fenômeno esse denominado de "fixação" (VOLKWEISS e RAIJ, 1977).



Fonte: adaptado de ISMA *Handbook on phosphate fertilization*, 1978.

**Figura 5.1** - Diagrama mostrando a relação entre as frações de fósforo não lábil e lábil e o fósforo da solução do solo.

Apesar desses teores elevados de P total, a parte aproveitável ou disponível para as plantas pode chegar, às vezes, a 0,1 ppm (partes por milhão), um valor baixíssimo.

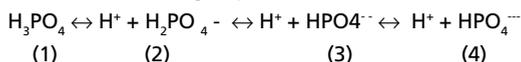
A seguir, na Figura 5.1, vê-se o fluxo de liberação/fixação de P para as plantas.

Existe um equilíbrio entre o P da solução e o da fase sólida. Todos os fosfatos que podem se "dissolver" são designados "fosfatos lábeis" ou disponíveis.

Devido aos baixos teores de P na solução do solo e à forte interação destes com a fase sólida do solo, esse nutriente é condicionado a uma baixíssima mobilidade. Para ser absorvido pelas plantas, tem que ocorrer o processo de difusão, o qual representa um gradiente de concentração de P na solução do solo. Existindo teores mais baixos próximos das raízes devido ao processo de absorção do elemento e, portanto, remoção de P da solução do solo, constata-se que o elemento migra de regiões de concentrações mais altas, perto das superfícies das partículas do solo, até os locais de concentração menores, na superfície das raízes.

Esses caminhamentos ocorrem em distâncias microscópicas e, como o volume das raízes das plantas, em geral, é menor que 1% do volume total do solo, os "cilindros" de absorção em torno das raízes não atingem o solo todo. Daí a necessidade de haver no solo bem mais fósforo do que as plantas necessitam.

Quimicamente, tem-se a seguinte dissociação do ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ):



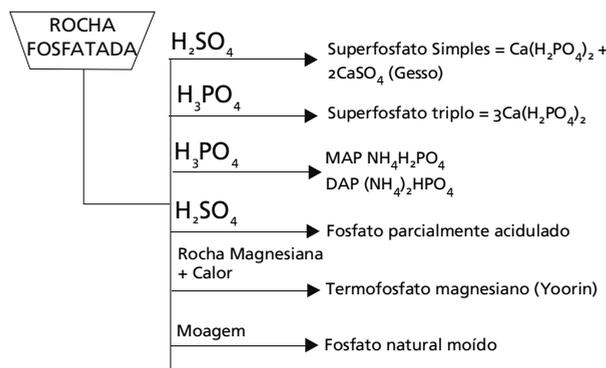
(1) Ácido fosfórico; (2) Íon ortofosfato (solúvel) ou monocalcico; (3) Fosfato bicalcico e (4) Fosfato tricalcico.

A equação da reação tende para a direita, à medida que ocorre a diminuição da acidez do solo, seja pela calagem ou por qualquer outro material corretivo. A forma predominante em nossos solos, pela acidez dos mesmos, é a do íon monocalcico ou ortofosfato, o qual é "solúvel" e absorvido

pelas plantas. Esse íon é encontrado nos superfosfatos simples, duplo ou triplo e parcialmente acidulado, bem como no MAP – fosfato de monoamônio ( $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ). Devido à acidez dos solos, ao se empregar o DAP – fosfato de diamônio [ $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ ], diretamente no solo, o mesmo passa a monocálcico.

Quando a acidez vai diminuindo, se chegar a um pH em água ao redor de 7,5 (pH de 7,0 em  $\text{CaCl}_2$  0,01 M), o teor de cálcio em solução fica tão elevado que o íon ortofosfato (2) passa a íon tricálcico (4), forma esta altamente insolúvel. Tal processo denomina-se retrogradação.

Uma fonte muito comum e usual de tricálcico são os fosfatos naturais ou de rocha, denominados de apatitas (habitualmente fluorapatitas nos carbonatitos e carbonatoapatitas nos fosforitos)<sup>2</sup>. Deve-se citar que fosforitas e apatitas são matérias-primas fundamentais para a obtenção de todos os adubos fosfatados, solúveis em CNA + água e em ácido cítrico:



De acordo com o valor pH do solo, tem-se a seguinte fixação de P pelo Fe, Al ou Ca (Figura 5.2).

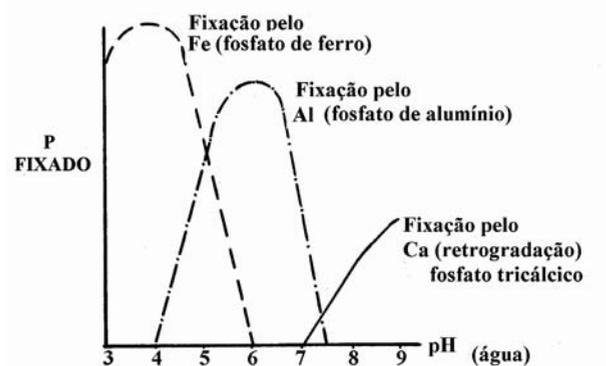


Figura 5.2 - Fixação do P no solo.

Em função do exposto, vê-se que o fosfato natural e o Yoorin não são fixados no solo, pois os mesmos não possuem a forma de íon monocálcico ou ortofosfato ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ), a qual é solúvel em água. Assim, à medida que o tempo passa, a solubilidade do Yoorin aumenta, intensificando seu poder residual.

A presença de silicatos e seu poder de aumentar o pH do meio atenuam o processo de fixação de uma maneira significativa. Pode-se dizer que a fonte de P via termofosfato é como uma "irrigação por gotejamento", isto é, as plantas vão tendo o fósforo à disposição, conforme as suas necessidades.

Como observação geral, poder-se-ia concluir que os termofosfatos "funcionam" melhor quando são mais finos, em solos ácidos, argilosos e ricos em matéria orgânica. Devido à alta solubilidade em ácido cítrico em relação ao total de  $\text{P}_2\text{O}_5$  (92% do total), a eficiência do mesmo é bastante elevada, mesmo que se considerem culturas anuais e de ciclo curto, como as olerícolas.

Em razão da sua propriedade alcalina, pois possui 28% de CaO e 11% de MgO, o termofosfato neutraliza a acidez do solo. Porém, esse fato somente deve ser levado em conta pelo agricultor ou pecuarista, se ele utilizar o produto a lanço e incorporado por todo o volume de solo. Se o solo for muito ácido ou até álico, o termofosfato somente corrige a acidez no sulco de semeadura ou de plantio ou na cova de plantio, gerando o "efeito vaso", isto é, as raízes não têm grandes possibilidades de expansão, devido ao excesso de acidez ou de alumínio livre ao redor da cova ou sulco. Essa aplicação a lanço é denominada fosfatagem.

Deve-se citar também que há agricultores e pecuaristas que utilizam o produto em menor quantidade, como manutenção objetivando a fosfatagem gradual. Não se deve esquecer que a recomendação de termofosfato como neutralizante de acidez do solo ou corretivo da acidez é economicamente inviável em certas condições brasileiras, cuja área necessite de alta quantidade de corretivo de acidez. Neste caso, deve-se equilibrar fazendo-se do uso também do calcário. Por outro

lado, quando se utiliza o termofosfato na adubação, deve ser sempre lembrado o seu efeito neutralizante da acidez, reduzindo a quantidade necessária de calcário.

Souza (1993) estudou os efeitos de três doses (0-500-1000kg/ha) de  $P_2O_5$  como termofosfato Yoorin, em dois latossolos (LR e LEa), com quatro épocas de incubação (0-20-40-60 dias), concluindo que os teores de P aumentaram respectivamente para LR e Lea, de 6 e 2 ppm para 44 e 95 ppm; os de Ca, 1,1 e 0,6, para 4,1 e 3,2 meq/100  $cm^3$  e os de Mg, de 0,8 e 0,4 para 2,9 e 2,5 meq/100  $cm^3$ ; o pH em água, de 4,0 e 5,2 para 5,8 e 6,5 (ppm = mg.  $dm^3$  e meq  $\times 10 = mmol$ ).

Santos e bicudo (1988), estudando as doses de 0-100-200 e 400  $mg.kg^{-1}$  de  $P_2O_5$ , na forma de termofosfato magnésiano (Yoorin BZ), por um período de incubação em vasos de 30-60-90 e 120 dias e com três solos (AQ, LR e LVE), concluíram que os maiores teores de P no LR (98,48) e no LVE (54,02) foram conseguidos com a dose de 400 mg e, na AQ (43,86), com a dose de 100. Também o maior valor pH (7,2) e a maior saturação por bases (87) foram para a dose de 400 mg de  $P_2O_5$  aos 90 dias para a AQ. Para Ca e Mg, a dose de 200 mg para os três solos elevou esses teores, considerados altos, para a classe de fertilidade do solo, já para a dose de 100 mg e aos 30 dias de incubação.

## 6. Silício - relação solo: planta

A maior parte das rochas que formam a crosta terrestre é constituída de minerais contendo silicatos, dos quais o silício (Si) é o constituinte elementar mais importante. O Si representa, no mundo mineral, o papel equivalente ao do carbono (C) no mundo biológico.

Apesar de o Si não ser reconhecido como nutriente vegetal (micronutriente benéfico na nova proposta de legislação de fertilizantes), em vários casos, tem sido demonstrado o seu efeito benéfico, como para o arroz, milho, pepino e a cana-de-açúcar. Por exemplo, para o arroz, para uma produção de 3t de grãos, tem-se 9t de matéria seca (MS) total, formada por: 90 kg de N (nitrogênio), 34 kg de  $P_2O_5$  (fósforo) e 200 kg de Si (silício). Ele é forte

candidato para a lista dos micronutrientes. Em algumas espécies, pelo menos, satisfaz o critério indireto de essencialidade.

O íon silicato não substitui o fosfato na planta. A sílica ( $SiO_2$ ), porém, favorece a absorção do fósforo como resultado da troca de íons fosfato pelo ácido silícico ( $H_2SiO_3$ ) no próprio solo, diminuindo a fixação. Também a sílica diminui os efeitos da toxidez provocada pelo excesso de ferro e de manganês, pois, na presença da sílica, os íons ferroso ( $Fe^{2+}$ ) e manganoso ( $Mn^{2+}$ ), os quais são solúveis, são oxidados pelas raízes e depositados à sua superfície, tornando-se insolúveis.

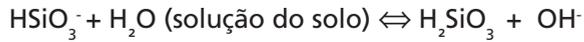
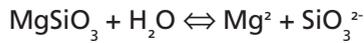
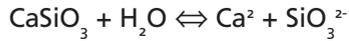
A sílica interfere na absorção e utilização de boro pelas plantas, reduz o processo de transpiração e aumenta a resistência das gramíneas à penetração de fungos patogênicos e insetos. Esta resistência tem sido atribuída à barreira física das células epidérmicas silicificadas. O silício também diminui o dano causado à planta por concentração salina exagerada, diminuindo a absorção excessiva de cloreto de sódio.

O silício é absorvido por fluxo de massa ou fluxo massal, isto é, pelo caminhamento de água no solo em direção às raízes, levado pelo xilema através da solução aquosa do solo.

Quanto ao teor nos solos, a sílica solúvel decresce na seguinte ordem: TE (terra roxa estruturada), com 22 ppm, de 0-19 cm de profundidade; LR (latossolo roxo), com 8,92 ppm de 0-8 cm e 9,32 ppm de 8-23 cm; Pln (Podzolizado Lins e Marília, variação Lins), com 4,57 ppm de 0-15 cm; LEa (latossolo vermelho-escuro, textura média), com 6,38 ppm de 0-23 cm; Pml (Podzolizado Lins e Marília, variação Marília), com 3,29 ppm de 0-21 cm e HI (Hidromórfico), com 0,73 ppm de 0-10 cm e 0,24 ppm de 10-30 cm.

Quanto à reação dos silicatos no solo ( $SiO_3^{=}$ ) tem-se como forma geral  $xSiO_2 \cdot yH_2O$ , cujos sais são bem conhecidos e correspondem ao ácido ortossilícico ( $H_4SiO_4 = SiO_2 \cdot 2H_2O$ ) ou ácido metassilícico ( $H_2SiO_3 = SiO_2 \cdot H_2O$ ).

Somente os silicatos de metais alcalinos são solúveis em água, se hidrolizam em solução aquosa e apresentam reação alcalina:

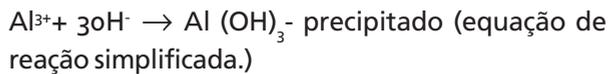
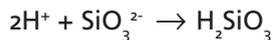
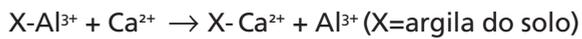


Seus equivalentes ao carbonato de cálcio (E  $\text{CaCO}_3$ ) são: silicato de cálcio ( $\text{CaSiO}_3$ ), com 58,08 g por equivalente-grama, isto é, 0,86; silicato de magnésio ( $\text{MgSiO}_3$ ), com 50,20/g, isto é, de 1,00. Então, as capacidades de neutralização são de 0,86 vez e 1,00 vez a do  $\text{CaCO}_3$ .

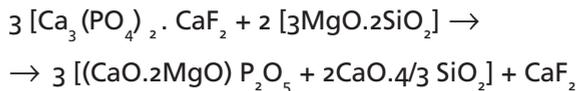
Suponha-se que se tenha 58,9% de  $\text{CaSiO}_3$  e 23,6% de  $\text{MgSiO}_3$ , então, o equivalente do  $\text{CaCO}_3$  é:  $(58,9 \times 0,86) + (23,6 \times 1,00) = 74,3\%$ .

Também a solubilidade do silicato de cálcio é baixa, equivalente a 0,095 g/L, a 17 °C.

Em solos ricos em  $\text{Al}^{3+}$  tem-se:



Para a obtenção do Yoorin, a equação da reação de formação é:



Esse produto possui 25% de  $\text{SiO}_2$ .

Quanto aos teores de silício (Si) em culturas, tem-se os seguintes dados de pesquisas:

- 1) Cana-de-açúcar (médias de 11 clones): para o bagaço, 0,41% e, para as folhas, 1,51% (% x 10 = g.kg<sup>-1</sup>).
- 2) Milho (17 cultivares e híbridos): folhas + colmos com 0,67%; palhas com 0,28%; sabugos com 0,14% e os grãos com traços.
- 3) Arroz (irrigado e com cinco cultivares): folhas + colmos, com 4,82%; cascas com 8,54% e grãos, com traços; (de sequeiro e com 10 cultivares): folhas + colmos, com 1,55%; cascas com 2,05% e grãos com traços.

- 4) Aveia (um cultivar), centeio (um cultivar) e trigo (seis cultivares): folhas + colmos, com 0,92%; cascas com 2,30% e grãos com traços.
- 5) Sorgo granífero (cinco), vassoura (três) e forrageiro (três cultivares): folhas + colmos com 0,94%; panículas com 0,75% e grãos com 0,47%.
- 6) Bambus (21 espécies): folhas, com 3,67% e colmos, com 0,34%.
- 7) Gramíneas forrageiras (oito espécies): média de 1,64% da matéria seca total.

Barbosa Filho *et al.* (1998), estudando a resposta do arroz de sequeiro à aplicação de silício, em condições de vaso, concluíram que houve resposta significativa do rendimento de grãos e teor de Si na palha e casca. O maior rendimento de grãos foi obtido com a aplicação de 3g/vaso de  $\text{SiO}_2$  (1t.ha<sup>-1</sup>), representando aumento de 22% de rendimento, em relação à testemunha (5,0 g/planta contra 4,1g). No experimento de campo, foi também observado o efeito do Si no aumento do pH, na disponibilidade de nutrientes no solo, no número de grãos cheios/panícula e na absorção de Si pelas plantas. Não houve resposta significativa na produção de grãos.

Korndörfer *et al.* (1999), avaliando o efeito do silicato de cálcio nos teores de Si, Ca e pH de quatro solos em condições de cerrado e no rendimento do arroz cultivado em vasos, concluíram que os teores de Si, Ca e os valores pH aumentaram, sendo que a produção relativa de arroz foi dada pela seguinte equação:  $Y = 142,37 - 164,31/X^{0,5}$ ;  $R^2 = 0,81^{**}$ .

Segundo Korndörfer *et al.* (1999), tanto os parâmetros do solo como os das plantas de arroz, foram significativamente afetados pelas fontes e doses de Si utilizadas (Tabela 6.1). Durante os estágios iniciais (três semanas), diferenças no hábito de crescimento (plantas mais eretas), altura da planta, produção de matéria verde e coloração das folhas do arroz, foram mais favoráveis nos tratamentos com silicato de Ca, Wollastonita e termofosfato, se comparados às demais fontes. Todas as fontes de Si "solúveis" aumentaram o pH do solo.

**Tabela 6.1** - Efeito de fontes de Si, nas características químicas do solo e na concentração de Si na planta de arroz.

Fontes	Dose Si Mg kg <sup>-1</sup>	Si Planta g.kg <sup>-1</sup>	Solo			
			pH	Si	P	Ca
			(H <sub>2</sub> O)	Mg kg <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	
Testemunha	0	11c	4,6c	5c	20d	1,8b
Tennessee Slag	500	14b	5,4b	53b	46b	4,4a
Wollastonita	500	22a	5,7ab	58b	34c	4,4a
Minas Liga	500	15b	5,8ab	8c	37c	2,1b
Silicato Mg	500	7d	4,8c	9c	37c	1,9b
Termo Yoorin	500	20a	6,2a	107a	345a	4,5a

Fonte: adaptado de Korndörfer e Gascho, 1999.

Na Figura 6.1, observa-se a representação esquemática da penetração de uma hifa na camada epidérmica foliar e a ação do Si, afetando a penetração e a colonização do fungo.

Os silicatos promovem nas plantas:

- maior absorção de Si;
- maior absorção de Ca e Mg;
- redistribuição do Mn na planta;
- maior resistência da parede celular;
- maior resistência ao acamamento;
- folhas mais eretas, com maior taxa fotossintética;
- maior resistência ao ataque de doenças (fungos principalmente);
- maior resistência ao ataque de pragas (sugadores e mastigadores);
- redução dos efeitos da geada;

- evapotranspiração regulada (menor perda de água);
- aumento da produtividade.

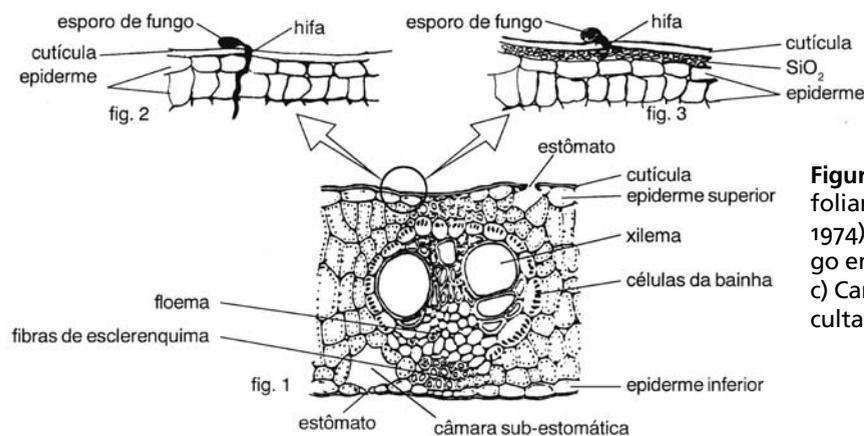
Os silicatos promovem nos solos:

- correção da acidez (aumento no pH);
- aumento dos teores de Ca e Mg;
- aumento da disponibilidade de fósforo (P);
- redução do efeito tóxico do ferro (Fe), manganês (Mn) e alumínio (Al);
- aumento do teor de Si (com efeito residual);
- aumento da saturação por bases.

## 7. Modo de ação do Yoorin

A maioria dos técnicos em agropecuária, ao sabermos que o Yoorin é insolúvel em água e solúvel em ácido fraco (cítrico, a 2%, na relação de extração 1: 100), pensava que seu efeito fosse semelhante a dos fosfatos naturais, incluindo os reativos (Marrocos, Argélia, Tunísia e Israel), mas, pelo contrário, o efeito inicial do Yoorin, na prática, é bem mais rápido que o de qualquer outro similar, pelas seguintes razões:

- 1º) As partículas coloidais do solo têm cargas eletronegativas em sua área superficial e ao redor delas ficam atraídos íons positivos como o Ca, Mg, K, Na, Al, Fe, H etc., formando a camada denominada de "dupla camada iônica", com a seguinte configuração esquemática (Figura 7.1).



**Figura 6.1** - a) Corte transversal do limbo foliar de monocotiledônea (Bidwel, RGS, 1974); b) Desenvolvimento de hifa de fungo em tecido foliar sem acúmulo de sílica; c) Camada de sílica abaixo da cutícula dificultando o desenvolvimento da hifa.

## COLÓIDE

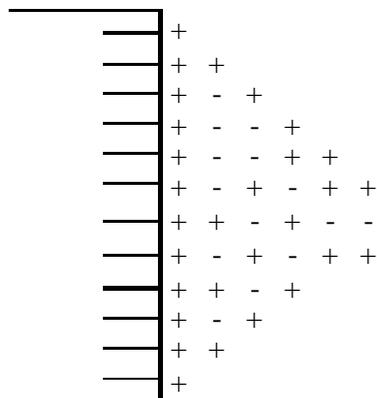


Figura 7.1 - Cargas eletronegativas de um colóide.

- 2º) O Yoorin possui uma textura de massa básica que não contém elementos cristalinos e sim uma estrutura vítrea composta por fósforo molecular simples, de 2 a 5 moléculas de sílica ligadas em forma de correntes de ligações iônicas, fracas de oxigênio (O), com Mg ou Ca.
- 3º) Quando se aplica Yoorin num solo com acidez elevada, o seu contato com o solo provoca o desprendimento do hidrogênio iônico do colóide, encontrado na superfície, para assim aderir com o Mg e o Ca, numa troca de posições (Figura 7.2).

Após essa troca, o fósforo remanescente despen- de-se do Yoorin junto com a sílica, tornando-se solúvel, ao entrar em contato com os ácidos fra-

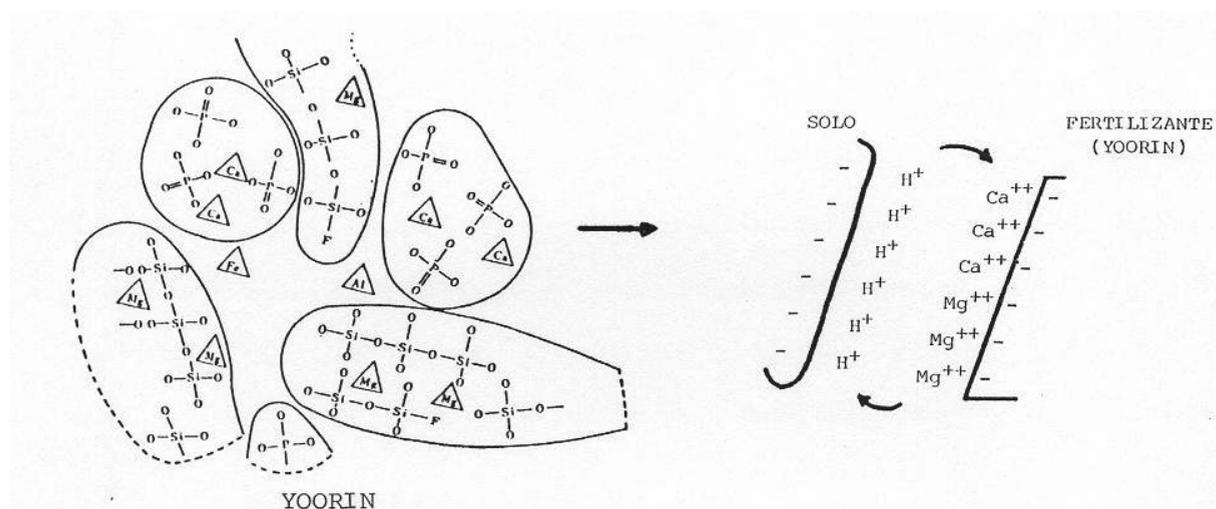


Figura 7.2 - Reação do Yoorin num solo com acidez elevada.

cos, tais como o ácido carbônico e outros ácidos orgânicos (ácido cítrico, maleico, oxálico, tartárico) e minerais diluídos, sendo absorvido pelas plantas.

Desta maneira, o fósforo liberado, num ambiente previamente condicionado, tem menos chances de ser imobilizado no solo, na presença do Fe e do Al.

A dissolução do Yoorin em contato com o sistema radicular das plantas é esquematizada na Figura 7.3.

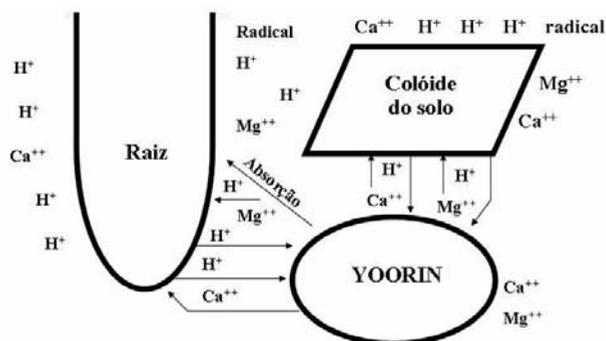


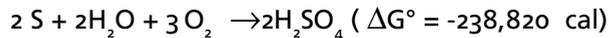
Figura 7.3: Dissolução do Yoorin no solo.

Isto ocorre porque as substâncias segregadas que se encontram na superfície das raízes e na sua proximidade estão com cargas eletropositivas, possibilitando que o Yoorin aja da mesma maneira, ao entrar em contato com o colóide do solo. Além disso, também ocorre a absorção direta pelas raízes das plantas.

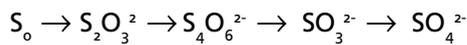
4º) Os íons Ca e Mg também agregam os colóides, facilitando a estruturação do solo e, com isso, a aeração da rizosfera, havendo também uma multiplicação dos microrganismos aeróbicos, que aceleram a decomposição da matéria orgânica.

Não se deve esquecer de mencionar que um solo melhor estruturado retém mais água e que, na decomposição da matéria orgânica, aparecem ácidos húmicos, os quais melhoram também a estrutura do solo e a sua retenção iônica.

Atualmente, existe no mercado, um tipo de Yoorin (Master S) com 6% de enxofre elementar. Este nutriente, por oxidação, potencializa o efeito do termofosfato, além de fornecer enxofre às culturas. De acordo com Malavolta (1949):



A equação de reação completa é:



Esse processo de oxidação é muito rápido, sendo realizado principalmente pelas bactérias do gênero *Thiobacillus*, sendo que o valor pH na água, em decorrência da formação do ácido sulfúrico, pode diminuir para menos de 5,0 (MALAVOLTA, 1976).

Albernaz (1999), testando os efeitos de doses de enxofre elementar e de períodos de incubação para a soja semeada em vasos, concluiu que o teor de enxofre no solo aumentou com a dose e com o período de incubação. Porém, a dose de 24 kg/ha de S, no período de 10 dias, já foi suficiente para fornecer sulfato no solo.

## 8. Uso do Yoorin por culturas

Na década de 60, o uso do Yoorin no Brasil era bastante conhecido pelos horticultores, em função dos excelentes resultados obtidos em outros países produtores e consumidores.

Já na década de 70, em virtude da abundância de recursos oferecidos pelo governo, com financiamentos de investimento, houve um incentivo aos agricultores para utilizarem o Yoorin como fosfatagem.

Atualmente, os cereais, como também a soja, são os que mais utilizam o Yoorin. Vale observar que outras culturas, como a da cana-de-açúcar, café, citros e pastagem, também estão participando significativamente no aumento do consumo, motivados pelos bons resultados agronômicos. O seu uso, neste caso, tem sido voltado para a adubação de manutenção e fosfatagem gradual.

Em ordem decrescente, as culturas que mais utilizaram Yoorin, em 2002, foram: soja > citros > cana > pastagem > café > batata > feijão > hortaliças.

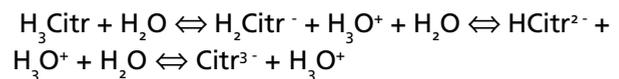
## 9. Extração do fósforo dos termofosfatos

Para o Brasil, ainda faltam mais estudos principalmente sobre os extratores utilizados para o P do solo.

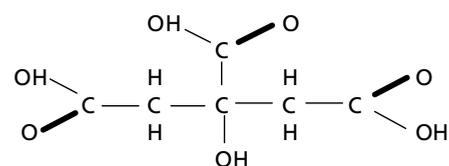
No estado de São Paulo, adota-se o método da resina e, em outros estados, extratores ácidos, como o Bray 1 ( $NH_4F$  0,03 N + HCl 0,025 N) e 2 ( $NH_4F$  0,03 N + HCl 0,10 N) e Melich ( $H_2SO_4$  0,025 N + HCl 0,05 N). Em alguns casos, a literatura cita o Bray-Kurtz modificado ( $NH_4F$  0,1 N + HCl 0,1 N).

Quando se aplica o termofosfato ao solo, acredita-se que se deva estudar melhor qual extrator é o mais adequado para as correlações com a produção; tudo indica que a resina não é a mais adequada. Como fertilizante, o fósforo é expresso como  $P_2O_5$  total e extraído em ácido cítrico, a 2%, na relação de 1:100, à temperatura de 25°C, agitando durante 30 minutos.

A ação do ácido cítrico como extrator do P do adubo é:



Esse ácido a 2% possui pH de 2,30 e é representado pela seguinte fórmula estrutural:



Ácido 2 hidróxi 1-2-3 propanotricarboxílico, o qual é incolor, fusível a 153°C, de sabor agradável, solúvel na água e no álcool. Devido aos ânions  $\text{Cit}^{3-}$  e  $\text{Hcit}^{2-}$ , também o Mg, Fe, Mn e Cu são complexados por esses.

## 10. Ação fertilizante do termofosfato

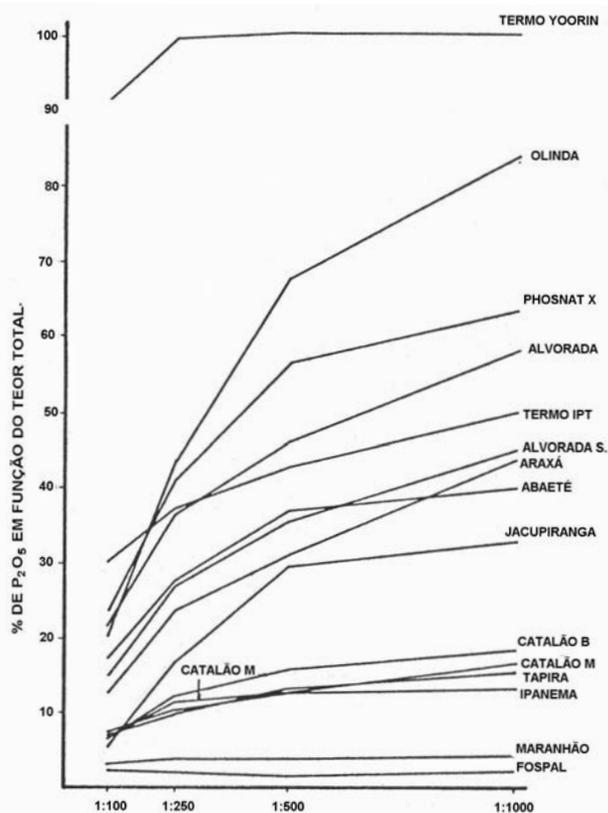
Para melhor entendimento deste capítulo, será adotada a divisão por culturas, em ordem alfabética, bem como serão discutidos, inicialmente, os estudos com os extratores empregados.

### 10.1. Extratores empregados

Apesar de a lei exigir a extração em ácido cítrico a 2% (1:100), Alcarde e Ponchio (1980) concluíram que o termofosfato Yoorin apresenta também solubilidade elevada na solução neutra de citrato de amônio. De um total de 17,7% de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , esse

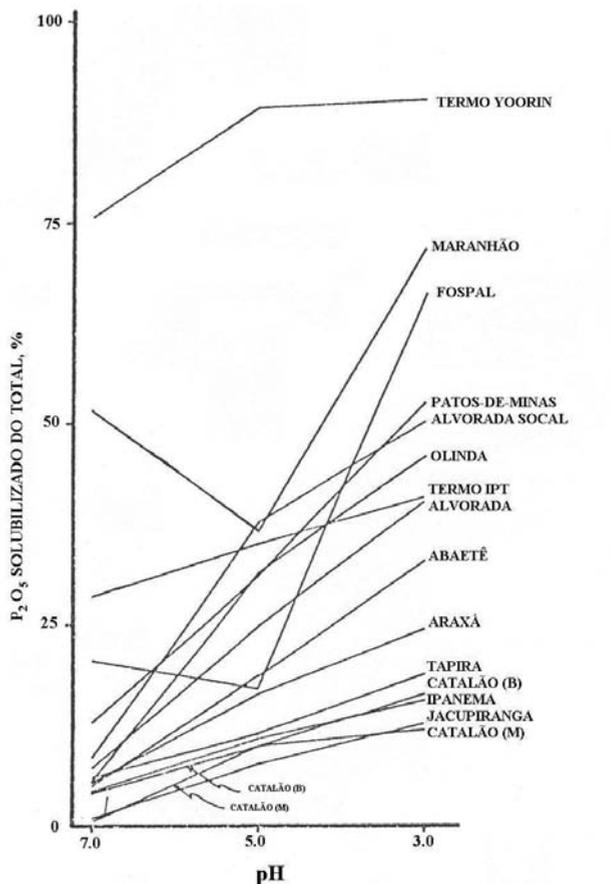
fertilizante apresentou 16,3% solúveis em ácido cítrico, a 2%; 11,3% em ácido fórmico, a 2%, e 13,4% em citrato de amônio neutro, quando a relação de extração era de 1:100. À medida que a relação aumentou para 1:1.000, o P extraído por citrato neutro de amônio passou de 13,4% para 16,6%. Esses dados vêm confirmar que a legislação necessitaria ser alterada em função de melhores e mais estudos sobre esses extratores (Figura 10.1).

Alcarde e Ponchio (1982), estudando a extração com soluções de citrato de amônio a diferentes valores de pH (3,0 - 5,0 e 7,0), concluíram que a solubilidade do termofosfato Yoorin aumentou com a diminuição do pH da solução. De um total de 17,7% de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , extraíram 13,4%, em pH 7,0; 15,8%, em pH 5,0 e 16,0%, em pH 3,0 (Figura 10.2 e Quadro 10.1).



Fonte: adaptado de Alcarde e Ponchio, 1982.

**Figura 10.1** - Solubilidade do fósforo, em porcentagem de  $\text{P}_2\text{O}_5$  calculado em função do teor total, dos materiais fosfatados na solução de ácido cítrico a 2%, em várias relações entre o peso do material e o volume da solução extratora.



Fonte: adaptado de Alcarde e Ponchio, 1982.

**Figura 10.2** - Variação da solubilidade do fósforo dos materiais fosfatados na solução de citrato de amônio de diferentes pH.

**Quadro 10.1** - Solubilidade do fósforo ( $P_2O_5$ ) dos materiais fosfatados na solução de citrato de amônio de diferentes pH na relação 1:100.

Fosfatos	Total	pH %		
		7,0	5,0	3,0
Olinda	25,3	1,3	8,0	11,5
Abaeté	23,9	1,1	4,4	7,8
Patos de Minas (Phosnat)	22,0	2,8	6,8	11,5
Alvorada	30,0	2,1	7,4	12,0
Alvorada (Socal)	36,5	3,0	13,7	18,3
Ipenama	39,9	1,7	4,2	6,2
Jacupiranga	33,3	0,3	2,5	4,2
Araxá	36,5	1,9	6,0	8,9
Catalão (Metago)	37,3	0,1	3,6	4,4
Catalão (Brasimet)	37,3	1,4	3,6	6,1
Tapira	37,1	2,2	4,1	6,0
Maranhão	30,0	15,5	10,9	21,5
Fospal (Rhodia)	32,4	6,6	5,4	21,4
Termofosfato IPT	27,8	7,9	9,7	11,3
Termofosfato Yoorin	17,7	13,4	15,8	16,0

Fonte: adaptado de Alcarde e Ponchio, 1982.

## 10.2. Correção na acidez do solo e teor de P

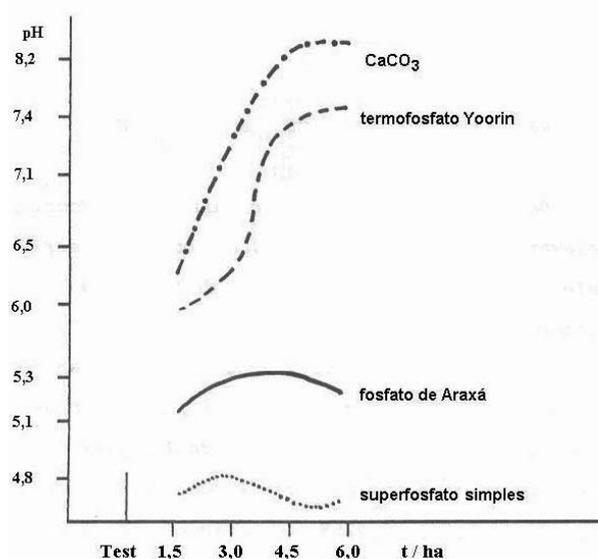
Devido à propriedade alcalinizante do Yoorin, seu efeito em elevar a saturação por bases, abaixando ou eliminando o  $Al^{3+}$  e elevando, conseqüentemente, o valor pH, é bastante citado na literatura.

Defelipo *et al.* (1978), incubando solo em Yoorin por 60 dias, determinaram que o teor de  $Ca^{2+}$  foi de 0,66 para 3,0 meq/100  $cm^3$ . Quando elevaram as doses de 1,5 para 6,0 t/ha; o  $Mg^{2+}$ , de 0,5 para 2,0 meq/100  $cm^3$ ; o P, de 38,4 para 200,8 ppm ( $HCl$  0,05N +  $H_2SO_4$  0,025N na relação de 1:10 solo: extrator) o  $Al^{3+}$  decresceu de 0,40 para 0,08 meq/100  $cm^3$ . Quanto aos valores pH, a Figura 10.3 representa o efeito do Yoorin, quando comparado com  $CaCO_3$ , fosfato de Araxá e superfosfato simples.

Embrapa (1976), aplicando 200 - 1000 e 2000 kg/ha de  $P_2O_5$  como Yoorin, num latossolo vermelho escuro, após 24 dias de incubação, elevou o pH do solo de 5,0 para 7,3.

Souza (1993) obteve a diminuição de  $Al^{3+}$  de 1,35 meq/100  $cm^3$  para 0,20, utilizando a dose de 1.380 kg/ha de  $P_2O_5$  como Yoorin; os teores de  $Ca^{2+} + Mg^{2+}$

elevaram-se de 1,0 meq/100  $cm^3$  para 4,5 meq e a saturação por Al (m%) decresceu de 70% para 3%.



**Figura 10.3** - Curva de resposta do pH x dose de tratamento de  $CaCO_3$ , superfosfato simples, fosfato de Araxá e termofosfato.

Arruda Neto (1993), em casa de vegetação e com milho, elevou o pH de 3,8 para 6,3; o teor de P, de 4 para 252 ppm (resina); Ca, de 0,30 para 4,23 meq; Mg, de 0,1 para 1,95 meq e V%, de 7% para 84%. Foram utilizados 200 ppm de P como Yoorin.

Yasuda (1989), incubando solos com fosfatos silicatados, na disponibilidade de fósforo em latossolo vermelho-escuro, álico (LEa), concluiu que Yoorin (maior teor de sílica) proporcionou maior valor de pH, seguido de Yoorin.

## 10.3. Interação entre silício e fósforo

Khan e Roy (1964) demonstraram que a presença do Si aumentou o aproveitamento do P aplicado ao solo, podendo, às vezes, exercer algumas funções do P, inclusive substituí-lo parcialmente.

Segundo Plucknett (1972), a aplicação de silicato aumenta a solubilidade do fósforo no solo, diminui a fixação de fertilizantes fosfatados, corrige as deficiências de Ca e Mg e aumenta o valor do pH do solo.

Baldeón (1998) cita que o uso de fosfatos silicatados, como o termofosfato magnésiano,

pode favorecer o aproveitamento do fósforo em solos ácidos, pois o ânion inorgânico silicato é adsorvido quimicamente pelos minerais do solo e pode, em princípio, competir com o fosfato pelos mesmos sítios de adsorção. Testou-se esse adubo em dois solos: TE e LR e aplicaram-se as seguintes doses de P: 0 - 50 - 100 e 200 ppm de P, nas formas de termofosfato, superfosfato triplo e superfosfato triplo mais corretivo da acidez ( $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ , na proporção de 4:1). Semeou-se o arroz, colhendo a parte aérea aos 75 dias. Pelos dados obtidos, determinou-se que o coeficiente de correlação entre produção de matéria seca e o silício acumulado foi significativo para dose de 50 mg/kg de P, tanto para TE (0,90\*\*) quanto para LR (0,63\*). Também o P acumulado se correlacionou positivamente com o Si acumulado (TE = 0,87\*\*, para a dose de 50mg e LR= 0,78\*\*, 0,75\*\* e 0,79\*\*, para as doses respectivas de 50 - 100 e 200 mg/kg de P).

#### 10.4. Efeitos em culturas

Em função do exposto anteriormente sobre o processo de obtenção dos diversos tipos de termofosfato passam a referir-se a sua eficiência agrônômica e às respostas quali-quantitativas de 12 culturas à sua aplicação.

##### 10.4.1. Alface e alho

Nakagawa *et al.* (1983), avaliando o efeito do termofosfato na fertilidade do solo, com a aplicação de 100 e 200 ppm de P, em um solo arenoso (LVA) e outro argiloso (LR), utilizando-se de seis períodos de incubação, os quais variaram até 105 dias, e tendo como planta-teste a alface, concluíram que o termofosfato atua como controlador da acidez nociva do solo causada pelo alumínio trocável, elevando, com isso, o pH. O termofosfato diminuiu ainda o uso do calcário e elevou a saturação por bases em 2 vezes, no LVA, e em 4,5 vezes, no LR, bem como aumentou a produção de matéria seca.

Yasuda (1989), estudando em condições de vaso o efeito dos fosfatos silicatados na disponibilida-

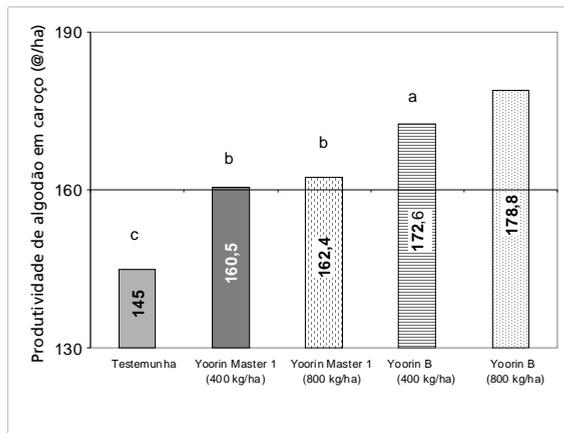
de do fósforo em um latossolo vermelho-escuro, álico, localizado em Botucatu, SP, e tendo como planta-teste a alface, concluiu que o adubo fosfatado com maior teor de sílica (Yoosirin) apresentou os maiores teores de fósforo disponível no solo e proporcionou maiores valores pH que o Yoorin e o superfosfato triplo. Para a produção de matéria seca, o Yoosirin proporcionou maior produção que o Yoorin e este suplantou o superfosfato triplo. O melhor efeito dessas duas fontes de silício (Yoosirin e Yoorin) deve-se ao fato de que estes aumentaram o aproveitamento do fósforo pela elevação do valor pH e pela competição do silicato com fosfato pelos mesmos sítios de adsorção, segundo é referido na literatura.

Souza *et al.* (1993), estudando as respostas do tomateiro e da alface à aplicação de quatro misturas NPK minerais e organo-minerais, sendo que duas continham termofosfato em pó e granular, concluíram que as produções de matéria seca das partes aéreas e das raízes aumentaram. Porém, não houve diferença entre essas duas granulometrias do termofosfato. O teor de P do solo elevou de 1 para 25 ppm, para o pó, e para 6 ppm, para o granular.

Büll *et al.* (1997), estudando o efeito de tipos de termofosfatos Yoorin na cultura da alface e em vasos, pela aplicação constante de 200 mg/dm<sup>3</sup> (200 ppm), concluíram que o magnesiano em pó proporcionou maior acúmulo de P na parte aérea das plantas e que, na neutralização da acidez do solo, os termofosfatos na forma de pó foram mais eficientes que os granulares.

##### 10.4.2. Algodão, alho, amendoim e arroz

Reis (2001), avaliando dois tipos de Yoorin, verificou que a produtividade de algodão em caroço foi influenciada pela aplicação de Yoorin Master 1 e Yoorin B. A Figura 10.4 ilustra o aumento de produtividade com a aplicação dos tratamentos. Nota-se que a dose de 400 kg/ha apresentou resposta estatisticamente igual à dose de 800 kg/ha e que o Yoorin B apresentou maior produtividade que o Yoorin Master 1.



**Figura 10.4** - Produção de algodão em função de fontes de Yoorin.

Raij (1986), em um estudo sobre as condições mínimas para que os fosfatos alternativos possam, economicamente, competir com o superfosfato, analisou dados sobre as culturas do algodão, arroz, cana-de-açúcar, feijão, milho e soja e os preços de  $P_2O_5$ , expressos em termos de produtos. Concluiu que, no primeiro ensaio de cana-de-açúcar, apenas o termofosfato superou, em eficiência, o superfosfato.

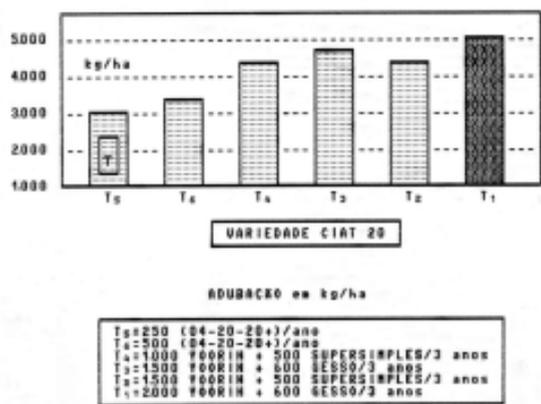
Maciel (1983a), estudando adubação fosfatada com fontes solúveis, para a cultura de alho, em duas doses (200 e 400 kg/ha de  $P_2O_5$ ), verificou que a dose de 400 kg/ha proporcionou maior produção, sendo favorável ao Yoorin e ao superfosfato simples, que produziram 12.254 kg/ha e 11.255 kg/ha, respectivamente.

Büll e Nakagawa (1987a), estudando o efeito residual do termofosfato Yoorin em amendoim, cultivar Tatu Vermelho, concluíram que as diferentes fontes desse adubo tiveram efeitos semelhantes para a produção de grãos (kg/ha), bem como para outros fatores fenológicos estudados e que essas fontes não tiveram efeito residual em função do ensaio anteriormente conduzido com trigo.

Nakagawa *et al.* (1993), estudando o efeito do fósforo e da calagem em amendoim, com o cultivar Tatu e em quatro experimentos, concluíram que, no ano de 1987/88, o termofosfato Yoorin proporcionou as maiores produções de vagens e de

sementes e que, em 1988/89, não foram constatados efeitos dos adubos.

Seguy e Bouzinac (1993), em ensaio de adubação convencional *versus* termofosfato Yoorin, na cultura de arroz de sequeiro em latossolo vermelho-amarelo da região de Lucas do Rio Verde – MT, observaram maior produtividade quando foram aplicados 2.000 kg de Yoorin Master mais 600 kg/ha de gesso para três anos, chegando a produtividade do CIAT-20 a 5.000 kg/ha (Figura 10.5).



**Figura 10.5** - Produtividade do arroz de sequeiro em função do nível de correção química do perfil cultural – Cooperlucas – Lucas do Rio Verde/MT – 1992/93.

Bertoni *et al.* (1998) estudaram o efeito do termofosfato Yoorin Master 1 e do superfosfato simples nos componentes de crescimento e de produção do arroz irrigado, fornecendo 200 mg de P por kg de solo. Concluíram que a testemunha (sem P) apresentou as menores produções de todos os componentes avaliados. As plantas que receberam termofosfato apresentaram uma maior produção de grãos cheios (22,89g) e totais (48,65g) que aquelas que receberam superfosfato simples.

### 10.4.3. Batata

Maciel (1986b), estudando diferentes fontes de fósforo para a cultura de batata e em duas doses (50 e 100 kg/ha de  $P_2O_5$ ), obteve a maior produção para a dose de 100 kg/ha. Nessa dose, o Yoorin produziu 44.250 kg/ha, o superfosfato simples 33.833 kg/ha e o fosfato natural, 16.042 kg/ha.

Bertani *et al.* (1998), avaliando a eficiência agrônômica de fosfatos na cultura da batata, testando três fontes (superfosfato triplo, termofosfato Yoorin Master 1 e um fosfato organo-mineral), em três doses (100 - 200 e 300 kg/ha de  $P_2O_5$ ), concluíram que o triplo e o termofosfato, na dose de 300 kg/ha, propiciaram aumento no crescimento e na produtividade, especialmente por elevarem a superfície fotossintética. Os índices de eficiência agrônômica (IEA), para essas duas fontes, equivaleram-se até a dose de 200 kg/ha.

#### 10.4.4. Cana-de-açúcar

Alvarez *et al.* (1965), estudando o efeito de diversos fosfatos na cultura da cana-de-açúcar, em solos terra roxa misturada, Massapé-Salmourão e Arenito de Bauru, nas doses de 50-100 e 150 kg/ha de  $P_2O_5$ , concluíram que a produção de cana-planta foi 49% maior pelo uso do termofosfato Yoorin, para o superfosfato simples foi de 35% e para o fosfato de Araxá, de 20% (Figura 10.6).

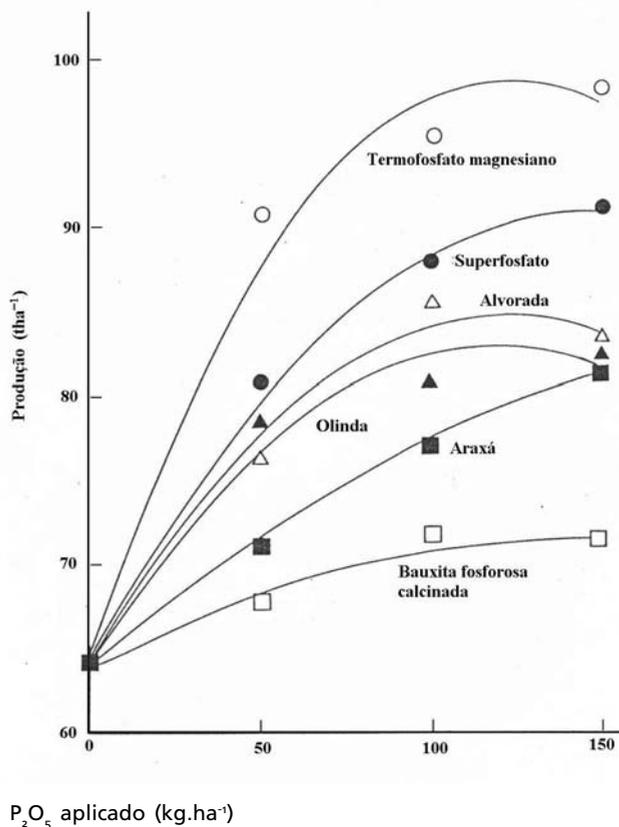


Figura 10.6 - Respostas da cana-de-açúcar a fosfatos aplicados no sulco em cinco ensaios.

#### 10.4.5. Citros

Jamami (1996) estudou durante dois anos (1994/5 e 1995/6) o efeito de adubos fosfatados aplicados em pré-florescimento na laranjeira 'Pêra Rio', enxertada em limoeiro Cravo e plantada em fevereiro de 1986. Testou-se a dose de 320g/planta de  $P_2O_5$ , nos dois anos agrícolas, com os seguintes fertilizantes: termofosfato Yoorin BZ pó, Yoorin Master-1 pó e granular, Yoorin MG pó e granular e superfosfatos triplo e simples, granulados. Pelos dados obtidos, observou-se que no primeiro ano, apesar de não haver diferenças estatísticas entre as partes, o Yoorin MG granular produziu 4,51 caixas-peso por planta (40,8 kg), o equivalente a 0,67 caixa-peso a mais que o segundo resultado (Yoorin Master-1 pó). No segundo ano não houve diferenças entre as fontes. Nos dois anos, o Yoorin MG pó foi o que mais elevou a saturação por bases; o Ca e o Mg na folha e no solo não aumentaram com as fontes testadas.

Delgado *et al.* (1998), estudando a adubação fosfatada na formação de pomar de citrus, var. Pêra, testaram três fontes de adubos fosfatados (termofosfato - T e superfosfatos simples - SS e triplo - ST), bem como a mistura de 1/3 T + 1/3 SS + 1/3 ST, concluindo que apesar de não haver diferença estatística, o termofosfato isoladamente proporcionou maior diâmetro do caule aos seis meses (2,47 cm) e a maior altura das plantas (8,30 cm).

Coleti (1983), numa pesquisa sobre fontes de fósforo para a cana-de-açúcar, apesar de somente haver diferença estatística com a testemunha, o termofosfato produziu 137 t/ha, o superfosfato triplo, 124 t/ha e o simples, 130 t/ha.

Cesar *et al.* (1987), testando em cana-de-açúcar o superfosfato triplo e o termofosfato Yoorin, na dose equivalente a 400 kg/ha de  $P_2O_5$ , após a análise dos dados, constataram a superioridade do tratamento com Yoorin sobre os demais tratamentos em elevar o teor de fósforo no caldo.

Morelli *et al.* (1991), estudando o efeito do termofosfato Yoorin BZ na produtividade da cana-de-açúcar, nas doses de 0-200-400 kg/ha de  $P_2O_5$ , aplicados a lanço, e de 0 - 100 - 200 - 300 kg/ha

de  $P_2O_5$ , aplicados no sulco de plantio, concluíram que a produtividade, tanto na cana-planta como na cana-soca, para doses similares, foi maior com a aplicação a lanço, porém o tratamento mais econômico para a produção foi o de 200 kg/ha de  $P_2O_5$  a lanço mais 100 no sulco. Também, o termofosfato aumentou os teores de Ca, Mg e a saturação por bases nas camadas de 0-20 e 20-40 cm.

Coleti *et al.* (1992) estudaram o efeito da torta de filtro sobre os teores de fósforo no caldo, utilizando, como fonte de fósforo, na adubação da cana-de-açúcar, o termofosfato Yoorin, além do adubo fluído com aquamônia, ácido fosfórico e cloreto de potássio.

#### 10.4.6. Eucalipto

Guerrini *et al.* (1993), estudando o efeito de fontes de fósforo sobre o desenvolvimento inicial de eucalipto, tendo como fontes o superfosfato triplo e os termofosfatos Yoorin Master 1 – pó, Master 1 – granular e o MG (magnesiano), concluíram que: (i) os termofosfatos na forma de pó (Master 1 e MG) elevaram os valores pH do solo tanto quanto a calagem, exceção feita para o Master 1 – granular; (ii) aos 7 dias após o plantio, já foram determinados os maiores valores de pH; (iii) o Master 1 – granular apresentou maior valor residual para o pH; (iv) os termofosfatos elevaram os teores de Ca e Mg nas folhas; (v) para o peso de matéria seca, o melhor tratamento foi o MG-Yoorin, seguido do Master 1 – pó; (vi) os maiores valores de diâmetros foram obtidos com o Yoorin Master 1 e o MG. As comparações dos termofosfatos foram feitas com o superfosfato triplo mais micronutrientes mais calagem.

#### 10.4.7. Feijão

Matos e Ribeiro (1987) estudaram fontes de fósforo, na presença e na ausência de calagem, na cultura do feijoeiro. Pelos resultados obtidos e nas condições do experimento, concluíram que, na ausência da calagem, a melhor fonte fosfatada foi o termofosfato, contra o superfosfato triplo e o fosfato de Araxá, sendo que a produção de matéria seca por vaso, sem calagem foi: para o

termofosfato, de 8,06 g/vaso; com o triplo, de 5,96 g e com Araxá, de 3,38 g; a testemunha produziu 0,98 g. Quanto ao fósforo absorvido e acumulado na parte aérea (mg/vaso), obtiveram, para os tratamentos sem calagem: 15,45 mg para o termofosfato; 10,25 mg, para o triplo; 6,68 mg, para o Araxá e 1,21 mg, para a testemunha.

Stefanutti (1991), estudando o efeito da granulometria de um termofosfato magnesiano no aproveitamento do fósforo para as culturas do feijão, milho e trigo, sendo o primeiro cultivo de feijão, com 20 dias de idade, os segundo, terceiro, quinto e sexto com milho cv. Piranão, colhendo-se aos 56 dias após a semeadura, e o quarto e o sétimo cultivos, com trigo, durante um período total de 760 dias após a aplicação das fontes fosfatadas, concluiu que o termofosfato na forma pó apresentou efeito residual semelhante ao do superfosfato simples; a eficiência inicial do termofosfato de granulometria mais grosseira foi menor, e a extração por resina mostrou ser mais adequada para avaliar e estimar o fósforo disponível para as plantas.

#### 10.4.8. Milho

Miranda *et al.* (1970), em ensaios com vários fosfatos na cultura do milho, em diferentes localidades do estado de São Paulo, em solos latossolo roxo, latossolo vermelho-amarelo e aluvião (de baixada), usando 60 e 120 kg/ha de  $P_2O_5$ , observaram aumentos de 13 e 18%. Em média das duas doses, os aumentos devidos ao superfosfato simples corresponderam a 683 kg/ha de grãos, e, dando o valor 100 a este aumento, o índice do termofosfato foi 127 e dos outros, abaixo de 76%.

Embrapa (1976) apresenta dados obtidos com o uso de diferentes fontes de fósforo, incluindo o termofosfato Yoorin, para as culturas do trigo, milho, feijão, capins Braquiária e Angola. Para o trigo, com a dose de 800 kg/ha de  $P_2O_5$ , o valor relativo do Yoorin foi de 104, tendo o triplo como valor relativo de 100%.

Coutinho *et al.* (1991) estudaram os efeitos de doses e fontes de P no solo, na planta e na produção

de grãos de milho, combinando-se quatro fontes de fósforo (superfosfato triplo, termofosfato magnésiano, fosfato natural de Gafsa granulado e fosfato de Patos de Minas), em duas doses (100 e 200 kg/ha de  $P_2O_5$ ) mais uma testemunha. A eficiência das fontes obedeceu a seguinte ordem decrescente: superfosfato triplo = termofosfato magnésiano > fosfato de Gafsa > fosfato de Patos de Minas.

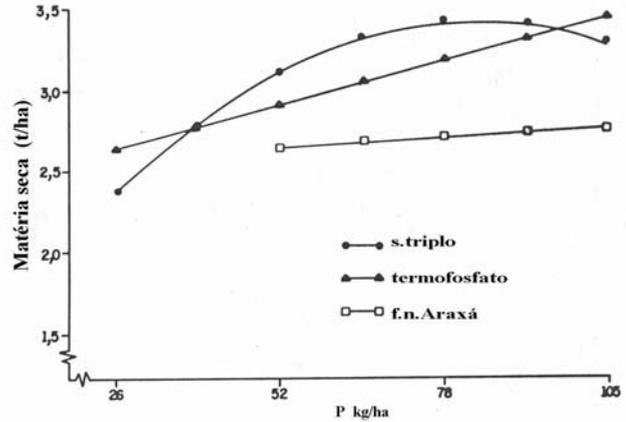
Arruda Neto (1993), estudando os efeitos de fontes de termofosfato na cultura do milho e em ensaio com vasos, concluiu que, na correção de acidez do solo, o melhor efeito foi para a dose de 200 ppm de P, a qual elevou a saturação por bases de 7 para 50,75%. A maior produção de matéria seca foi obtida com a dose de 200 ppm de P, tendo como fonte o Yoorin Master 1.

Nunes (1993), estudando a eficiência agrônômica de cinco fosfatos aplicados a lanço e no sulco de semeadura do milho, em solo de cerrado, concluiu que a fonte que mais se destacou durante os quatro anos foi o termofosfato, tanto no sulco de plantio quanto a lanço, com IEA de 140 (sulco) e 116 (lanço).

#### 10.4.9. Pastagens

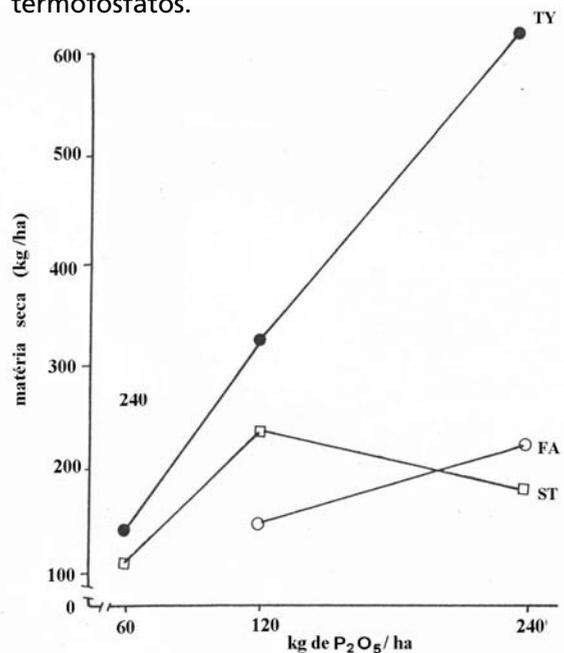
Embrapa (1986), estudando o efeito do calcário e de fontes e modos de aplicação de fósforo em pastagens (*Andropogon gayanus* e *Stylosanthes capitata*), nas doses de 0-30 e 60 kg/ha/ano de  $P_2O_5$ , concluiu que as maiores produções de matéria seca foram obtidas com o uso do termofosfato, principalmente no primeiro e segundo anos. Esse adubo não aumentou o teor de P na planta, mas elevou muito o de Mg. A Figura 10.7 representa os dados de matéria seca.

Embrapa (1980), estudando três fosfatos (superfosfato triplo, fosfato de Araxá e termofosfato Yoorin), em solo argiloso e plantado com *Andropogon gayanus* e *Stylosanthes capitata*, concluiu que a produção máxima de matéria seca foi obtida na dose de 240 kg/ha de  $P_2O_5$  com o termofosfato Yoorin. Na Figura 10.8, vê-se esses dados.



**Figura 10.7** - Produção de matéria seca de *A. gayanus* e *S. capitata*, em função de níveis e fontes de P aplicados na presença de 1,6 t/ha de calcário (produção de testemunha: 1.330 kg/ha).

Goedert e Lobato (1984), avaliando agronomicamente diversos fosfatos em solo de cerrado, tendo como culturas, em seqüência, o trigo, soja (dois anos), arroz, sorgo e capim *Andropogon* (três anos), concluíram que a melhor eficiência foi obtida com o termofosfato magnésiano Yoorin, quando comparado com outros fosfatos naturais e termofosfatos.



Fonte: CPAC, 1978-1979.

**Figura 10.8** - Resposta de uma pastagem consorciada de *Andropogon* e *Stylosanthes* a níveis de fósforo com os fosfatos superfosfatos triplo (ST), Araxá (FA) e termofosfato Yoorin (TY), em LVA argiloso.

Oliveira *et al.* (1993) apresentaram resultados de pesquisa com o termofosfato Yoorin aplicado na dose de 500 kg/ha, tanto no sulco quanto a lanço, concluindo que sempre as aplicações a lanço e na linha proporcionaram produções superiores de grãos de arroz, quando comparados com a testemunha (1.033 kg/ha), sendo que a aplicação a lanço produziu 2.258 kg/ha de grãos e na linha, 2.764 kg/ha.

#### 10.4.10. Soja

Gargantini e Santos (1971), estudando a competição de fertilizantes fosfatados em soja, em solos Plm de Pindorama, em LVA-fase arenosa de Itirapina e em casa de vegetação, os quais receberam 3,0 g de  $P_2O_5$ /vaso com 6 kg de terra, sendo que o de Itirapina também recebeu calagem, concluíram que, dos fertilizantes fosfatados, o termofosfato apresentou, nas três séries de ensaios, as maiores reações, influenciando, sobremaneira, na produção de grãos.

Braga *et al.* (1980), estudando os efeitos de fosfatos sobre o crescimento e produção de soja, em latossolo vermelho escuro, textura média, aplicados nas doses de 100-200 e 400 kg/ha, concluíram que o termofosfato magnésiano Yoorin e o superfosfato triplo apresentaram melhor desempenho que os demais.

Fernandes (1981), comparando fontes e doses de adubos fosfatados na cultura da soja em solo de cerrado, aplicou 145-290-435 e 580 kg/ha de  $P_2O_5$ , nas formas de superfosfato triplo, termofosfato Yoorin e fosfato de Araxá, em solo LVE, textura argilosa, álico e em condições de campo. Concluiu que o valor "X" calculado para a adubação corretiva proporcionou a máxima eficiência econômica (MEE) para o termofosfato no segundo cultivo (ano agrícola 1979/80). Do ponto de vista técnico, o termofosfato apresentou comportamento semelhante ao superfosfato triplo no primeiro cultivo (ano agrícola 1978/79), quando usado em adubação corretiva, e foi superior ao triplo quanto aos efeitos residuais.

Ramos (1982), analisando oito fosfatos em trigo e soja em sucessão, nos anos de 1973-74 e 75, em

latossolo vermelho-escuro argiloso, concluiu que os fosfatos de fusão, escória de Thomas e termofosfato Yoorin se equivaleram aos superfosfatos, destacando-se sempre entre os fosfatos mais eficientes, para ambas as culturas.

Boaretto *et al.* (1983), estudando a competição entre adubos fosfatados nas culturas de soja e trigo em rotação, cultivadas em vasos, e utilizando-se de dois termofosfatos, com 16% (pó) e 10% de  $P_2O_5$  (granular), misturado ou não ao superfosfato triplo, em presença e em ausência de calcário, concluíram que os termofosfatos substituíram o calcário como fonte de Ca e Mg para as plantas, mas não corrigiram os teores de Ca, Mg e Al do solo.

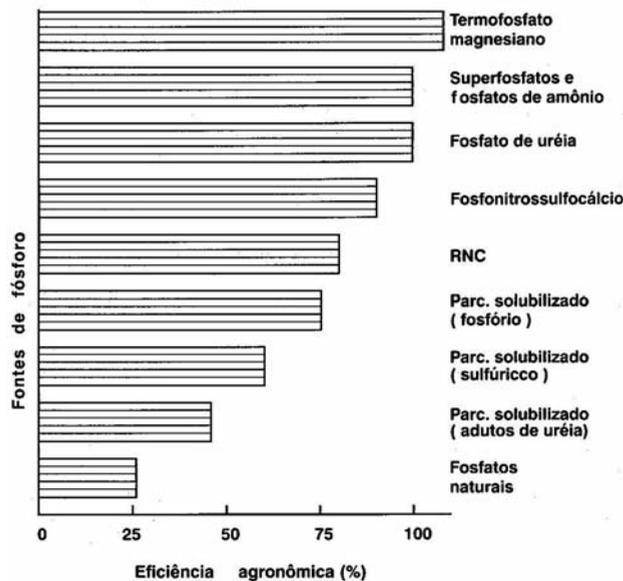
Sfredo *et al.* (1982), estudando o efeito da intensidade de moagem do termofosfato Yoorin sobre a disponibilidade de P para a soja e aplicando as doses de 0 – 80 – 160 – 320 e 640 kg/ha de  $P_2O_5$ , concluíram que tanto o Yoorin comercial como o produto com partículas mais grosseiras foram capazes de elevar os teores de Ca e de Mg do solo, eliminando, concomitantemente, a acidez nociva causada pelo Al trocável e que as produções de matéria seca foram as mesmas para as duas granulometrias.

Tanaka *et al.* (1982), em artigo sobre nutrição mineral, calagem e adubação da soja, concluíram, em ensaios entre os anos agrícolas de 1977/81, que o termofosfato Yoorin teve maior eficiência nestes quatro anos em relação aos fosfatos naturais. As doses aplicadas no primeiro ano (1977/78) e a lanço foram equivalentes a 0-500 e 1.000 kg/ha de  $P_2O_5$  e as produções médias de grãos de, respectivamente, 881-1.779 e 2.052 kg/ha.

Machado *et al.* (1983), estudando o calcário e fontes e doses de fósforo em soja, em um Alfissolo, localizado em Pelotas, RS, durante as safras de 1973/74, 74/75, 75/76 e 76/77, encontraram aumentos, principalmente com o uso do termofosfato Yoorin, no pH e nos teores de Ca e Mg trocáveis. Para o rendimento de grãos, os melhores resultados foram obtidos com o Yoorin e com escória de Thomas, podendo, ambos, dispensar a calagem.

Goedert e Lobato (1984), em estudo de avaliação agrônômica de 11 fontes de fósforo, durante oito anos em experimento de campo, conduzido em latossolo vermelho-escuro, com a seqüência de cultivos trigo, soja (dois anos), arroz, sorgo e capim Andropogon (três anos), concluíram que, em ordem decrescente de eficiência, tendo o superfosfato triplo como referência, estiveram o termofosfato magnésiano Yoorin, o fosfato da Flórida, do Tennessee, de Pirocaua, o termofosfato IPT, de Patos de Minas, de Araxá (MG), de Abaeté (MG) e de Catalão (GO). Após oito anos de cultivo, todas as fontes ainda apresentavam efeito residual.

Goedert *et al.* (1986), em trabalho de revisão sobre a eficiência agrônômica de fertilizantes fosfatados não tradicionais, envolvendo diferentes culturas anuais, solos e adubos, apresentaram, um resumo geral aproximado de eficiência para culturas anuais. Na Figura 10.9 vê-se que o termofosfato Yoorin, como média geral, foi sempre superior.



**Figura 10.9** - Resumo aproximado da eficiência agrônômica de fontes de fósforo para culturas anuais.

Goedert *et al.* (1990), estudando por quatro anos 18 fontes de P, com a cultura de soja, concluíram que a eficiência agrônômica dos termofosfatos foi similar à do superfosfato triplo e que o extrator Bray-1 ( $\text{NH}_4\text{F } 0,03\text{N} + \text{HCl } 0,025\text{N}$ ) mostrou-se útil na avaliação da eficiência agrônômica, independen-

te do fosfato. O extrator Mehlich-1 ( $\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ } 0,025\text{N} + \text{HCl } 0,05\text{n}$ ) superestimou a disponibilidade de P dos tratamentos com fosfatos naturais ou parcialmente acidulados.

Büll e Nakagawa (1987b), estudando duas fontes de Yoorin (Si e Mg) e de diferentes doses de P, na cultura da soja, concluíram que houve somente influência das doses na produção de grãos: entre a menor (330 kg/ha) e a maior (2.000 kg/ha). No contexto geral, o Yoorin-MG apresentou maior produção de grãos que o Yoorin-Si.

Grothge-Lima *et al.* (1998) concluíram que o silício pode aumentar a resistência da soja ao cancro da haste, pois o Si transloca das raízes para as folhas. Além da barreira física, o Si age no tecido hospedeiro afetando os sinais entre o hospedeiro e o patógeno, resultando em uma ativação mais rápida e extensiva dos mecanismos de defesa da planta. A cultivar testada foi a Garimpo comum, que é suscetível a essa doença.

#### 10.4.11. Sorgo

Vasconcelos *et al.* (1986) estudaram o efeito de fosfatos na cultura do sorgo granífero, em latossolo vermelho-escuro, distrófico, fase cerrado. Para o termofosfato Yoorin, aplicaram 100-400 e 800 kg/ha de  $\text{P}_2\text{O}_5$  e, pelos dados obtidos, concluíram que o fósforo solúvel em ácido cítrico a 2% é um parâmetro adequado para avaliar a eficiência do fertilizante fosfatado, somente quando na presença de 100 kg/ha de  $\text{P}_2\text{O}_5$  total e quando associado aos parâmetros porcentagem de  $\text{P}_2\text{O}_5$  total e granulometria.

Defelipo *et al.* (1978), estudando o efeito dos adubos fosfatados na correção da acidez do solo, aplicaram o superfosfato simples, o termofosfato Yoorin e o fosfato de Araxá, em comparação ao carbonato de cálcio. Fizeram a incubação por dois meses e semearam o sorgo após esse período, em casa de vegetação, colhendo a parte aérea 30 dias após. Pelos dados obtidos, concluíram que o carbonato de cálcio e o Yoorin elevaram o pH do solo, neutralizando, conseqüentemente, o Al trocável. O Yoorin elevou também o teor de Mg do solo e o P absorvido.

Silva (1987), estudando o efeito do superfosfato triplo e do termofosfato sobre a produção e qualidade nutritiva do sorgo sacarino, em latossolo vermelho-escuro distrófico, aplicando 60 e 120 kg/ha de  $P_2O_5$ , concluiu que a fonte foi indiferente, quando se visa à produção de matéria seca e à qualidade nutritiva de sua composição mineral para a nutrição animal. Também não houve diferenças entre o termofosfato acabado (fino), semi-acabado e o grosso, nessas avaliações.

#### 10.4.12. Trigo

Büll e Kakagawa (1987c), estudando o efeito de diferentes fontes de termofosfato Yoorin (Yoorin-MG – Yoorin Si, Yoorin Si B e Yoorin Si Zn) na produção do trigo, na dose constante de 1.000 kg/ha do produto, concluíram que essas diferentes fontes tinham comportamento semelhantes na produção de grãos.

Korndörfer (1978), comparando fontes e doses de fósforo, em ensaios conduzidos em casa de vegetação, concluiu que os fosfatos naturais brasileiros foram ineficientes para a cultura do trigo. A eficiência do termofosfato Yoorin foi semelhante ao superfosfato triplo nos dois solos: Podzólico Vermelho-Amarelo e Latossolo Bruno Distrófico.

### 11. Considerações técnicas de campo

Sabe-se que os adubos fosfatados solúveis em citrato neutro de amônio mais água (CNA +  $H_2O$ ) são prontamente absorvidos pelas plantas, porém, são também altamente fixados, demorando cerca de 10 minutos para que 90% estejam indisponíveis (não lábil).

Em função disto, a combinação de fontes prontamente solúveis em ácido cítrico, (de ação mais duradoura), como os termofosfatos, além de diminuir custos, fornece à planta o fósforo imediato e também a médio e longo prazos.

Uma das técnicas que está ganhando área ano após ano, é o plantio direto. Em função dessa nova tecnologia, deve-se preparar uma nova situação antes de se iniciar essa prática, pois tem-se notado que alguns agricultores começam o plantio direto sem se preocupar com a fertilidade do solo até os 30 ou 40 cm de profundidade. O uso dos termofosfatos é de fundamental importância, pois sua incorporação ocorre até 30 cm de profundidade, reconstruindo a fertilidade do solo. O termofosfato fornece, além do P, Ca, Mg, Si e, conforme o produto, S e micronutrientes.

Para esses cálculos, deve-se considerar que para elevar o teor de fósforo no solo entre 0-20 cm de profundidade, em 17 ppm de P (17 mg.dm<sup>-3</sup>), necessita-se de 75 kg/ha de  $P_2O_5$ . Se for o Yoorin, deve-se aplicar cerca de 400 kg/ha do adubo.

Se houver condições econômicas ou de financiamentos, o método é o seguinte: aplica-se 400 kg/ha, ara-se com aivéca, passa-se a grade pesada meia-trava, aplica-se novamente 400 kg/ha e passa-se uma grade leve. Ter-se-á, por esse processo, um fornecimento gradual, constante e por vários anos de P (construção do solo através de fosfatagem).

Para culturas perenes no plantio, como citros, frutíferas em geral, café, pimenta, etc., de acordo com a análise de solo e recomendações, pode-se aplicar somente termofosfato mais S e micronutrientes associando com a matéria orgânica.

Excelentes respostas estão sendo obtidas no campo, para solos de média fertilidade, com a aplicação de mistura do fósforo na forma de termofosfato com solubilidade em citrato neutro mais água, no sulco de plantio para cereais. Essa mistura fornece P imediato, P mais duradouro, Ca, Mg, S, e micronutrientes, corrigindo a acidez do solo subsuperficialmente. Essa prática é denominada fosfatagem gradual, baseada em sucessivas adubações de manutenção.

## Literatura citada

- ALBERNAZ, L. S. A. *Efeitos do enxofre elementar no solo e na parte aérea de plantas de soja*. Jaboticabal, FCAV/UNESP, 1999. 31 p.
- ALCARDE, J. C. e PONCHIO, C. O. Caracterização das solubilidades das rochas fosfatadas brasileiras e termofosfatos em diferentes extratores químicos. *R.Bras. Ci.Solo*, Campinas, v.4, n.3, p. 196-200, 1980.
- ALCARDE, J. C. e PONCHIO, C. O. Solubilidade de fosfatos naturais brasileiros e termofosfatos em soluções de citrato de amônio de diferentes valores de pH. *R. Bras. Ci.Solo*, Campinas, v.6, n.1, p.63-65, 1982.
- ALVAREZ, R. et al. Adubação da cana-de-açúcar. XI – Experiências com diversos fosfatos (1961 e 1963). *Bragantia*, Campinas, v.24, n.9, p. 1-8, 1965.
- ARRUDA NETO, G. R. *Efeito de termofosfato em plantas de milho cultivadas em latossolo vermelho-escuro e em casa de vegetação*. Jaboticabal, FCAV/UNESP, 1993. 32 p.
- BALDEÓN, J. R. M. Efeito do silício sobre o aproveitamento de fósforo em solos ácidos. In: REUNIÃO BRAS. DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 23, 1998, Caxambu. *Resumos...* p.748.1998.
- BARBOSA FILHO, M. P. et al. Resposta do arroz de sequeiro à aplicação de silício. In: REUNIÃO BRAS. DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 23, 1998, Caxambu. *Resumos...* p.57.1998.
- BERTANI, R. M. A. et al. Eficiência agronômica de fosfatos na cultura da batata (*Solanum tuberosum ssp.tuberosum*). In: REUNIÃO BRAS. DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 23, 1998, Caxambu. *Resumos...* p.135.1998.
- BERTONI, J. C.; CARVALHO, J. G. e MIRANDA, J. R. P. Efeito do termofosfato e do superfosfato simples nos componentes de crescimento e de produção do arroz irrigado. In: REUNIÃO BRAS. DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 23, 1998, Caxambu. *Resumos...* p. 725.1998.
- BOARETTO, A. E.; ROSOLEM, C. A. e CHITOLINA, J. C. Competição entre adubos fosfatados nas culturas de soja e trigo em rotação. *Científica*, São Paulo, v.11, n.1, p.9-14,1983.
- BÜLL, L. T. e NAKAGAWA, J. Efeito residual de diferentes fontes (termofosfato Yoorin) de fósforo na produção de amendoim (*Arachis hipogaea L.*). Botucatu, FCA/UNESP, 1987a. 7p.
- BÜLL, L. T.; NAKAGAWA, J. Influência de duas fontes (Si-Yoorin e Yoorin-MG) e diferentes doses de fósforo na cultura da soja. (*Glycine max*) (L.) Merrill. Botucatu, FCA/UNESP. 1987b. 8p.
- BÜLL, L. T. e NAKAGAWA, J. Efeito de diferentes fontes (termofosfato Yoorin) de fósforo na produção de trigo (*Triticum aestivum*). Botucatu, FCA/UNESP. 1987c. 9p. (Relatório de pesquisa).
- BÜLL, L. T.; LACERDAS, S. e NAKAGAWA, J. Termofosfatos: alterações em propriedades químicas em um latossolo vermelho-escuro e eficiência agronômica. *Bragantia*, Campinas, v. 56, n.1, p.169-179, 1997.
- CESAR, M. A. A. et al. Capacidade de fosfatos naturais e artificiais em elevar o teor de fósforo no caldo de cana-de-açúcar (cana-planta), visando o processo industrial. *STAB*, Piracicaba, v.6, v.2, p.32-38, 1987.
- COLETI, J. T. Uso de torta de filtro e bagaço humificado na cultura da cana-de-açúcar. Macatuba, Açucareira Zillo Lorenzetti S/A., 1983. 18 p. (mimeo).
- COLETI, J. T. et al. Influência de torta de filtro, adicionada no sulco de plantio da cana-de-açúcar, sobre os teores de P O no caldo. *STAB*, Piracicaba, v.11, n.2, p.20-24, 1992.
- COUTINHO, E. L. M. et al. Avaliação da eficiência agronômica de fertilizantes fosfatados para a cultura do milho. *Científica*, São Paulo, v.19, n.2, p.93-104, 1991.
- DEFELIPO, S. V.; BORGES, R. E. e MENDONÇA, B. M. Adubos fosfatados na correção de acidez do solo. *SEIVA*, Viçosa, v.38, n.86, p 41-50, 1978.

- DELGADO, M. D. P. *et al.* Adubação fosfatada na formação de pomar de citrus (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) var. Pêra. In: REUNIÃO BRAS. DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 23, 1998, Caxambu. *Resumos...* p. 505-1998.
- EMBRAPA. *Relatório Técnico Anual*. CPAC, Planaltina, p.59-65, 1976. 150 p.
- EMBRAPA. *Relatório Técnico Anual*. CPAC, Planaltina, p.39-40, 1980, 170 p.
- EMBRAPA. Efeito do calcário e de fontes e modos de aplicação de fósforo na produção de pastagem. EMBRAPA/CPAC, Planaltina, 1986, p. 242-245 (Relatório anual).
- FERNANDES, F. M. Comparação de fontes e doses de adubos fosfatados na cultura da soja (*Glycine max* L. Merrill), em solo de cerrado. Piracicaba, ESALQ/USP, 1981. 80 p. (Dissertação de Mestrado).
- GARGANTINI, H.; SANTOS, D. Competição de fertilizantes fosfatados em soja. *Bragantia*, Campinas, v.30, n.12, p.117-124, 1971.
- GOEDERT, W.J. e LOBATO, E. Avaliação agrônômica de fosfatos em solo de cerrado. *Rev. Bras. Ci. Solo*, Campinas, v.8, n.1, p.97-102, 1984.
- GOEDERT, W. J.; REIN, T. A. e SOUZA, D. M. G. *Eficiência agrônômica de fertilizantes fosfatados não tradicionais*. Planaltina, EMBRAPA/CPAC, 1986. 21p.
- GOEDERT, W. J.; REIN, T. A. e SOUZA, D. M. G. Eficiência agrônômica de fosfatos naturais, fosfatos parcialmente aciduladas e termofosfatos em solo de cerrado. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v. 25, n.4, p.521-530, 1990.
- GROTHGE-LIMA, M. T.; LIMA FILHO, O. F. e TSAI, S. M. Silício pode aumentar resistência da soja ao cancro da haste. In: REUNIÃO BRAS. DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 23, 1998, Caxambu. *Resumos...* p. 206-1998.
- GUARDANI, R. Termofosfato magnésiano fundido, novos desenvolvimentos na tecnologia de produção. *Fertilizantes*, São Paulo, v.9, p.9-13, 1987.
- GUERRINI, I. A.; VILAS-BOAS, R.L. e KORMAN, V. Efeito de fontes de fósforo sobre o desenvolvimento inicial de *Eucalyptus grandis*. FCA-UNESP, Botucatu, 1993. 21 p. (Relatório técnico).
- JAMAMI, N. Efeito de adubos fosfatados aplicados em pré-florescimento da laranjeira "Pêra Rio" (*Citrus sinensis* L. Osbeck). Jaboticabal: FCAV-UNESP, 1996. 67 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia).
- KHAN, D. H. e ROY, A. C. Growth, uptake and fibre all dimensions of jute plant as affected by silicate treatment. *Plant Soil*, Dordrecht, v.20, p.331-336, 1964.
- KORNDÖRFER, G. H. Capacidade de fosfatos naturais e artificiais fornecerem fósforo para plantas de trigo. Porto Alegre, Faculdade de Agronomia, UFRGS, 1978. 62 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia).
- KORNDÖRFER, G. H. *et al.* Efeito do silicato de cálcio no teor de silício no solo e na produção de grãos de arroz de sequeiro. *R.Bras.Ci.Solo*, Viçosa, v.23, n.3, p.635-641, 1999.
- KORNDÖRFER, G.H. & GASCHO, G.J. Avaliação de fontes de silício para o arroz. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 1., Pelotas, 1999. Anais. Pelotas, Embrapa, 1999. p.313-316.
- MACHADO, M. O.; VIANNA, A. C. T. e CASALINHO, H. D. Calcário e fontes e doses de fósforo: influência no rendimento da soja e na química do solo Pelotas (Alfissolo). *Pesq. Agropec.bras.*, Brasília, v.18, n.7, p.721-727, 1983.
- MACIEL, C. A. C. *Adubação fosfatada na produção de alho*. Machado, MG, Escola Superior de Agricultura e Ciências, 1986a. 8p.
- MACIEL, C. A. C. *Efeito de diferentes fontes de fósforo na produção de batata*. Machado, MG, Escola Superior de Agricultura e Ciências, 1986b. 7p.
- MALAVOLTA, A. Sulfatos e sulfatação em terra roxa. *Revista da Agricultura*, Piracicaba, v. 24, n. 9-10, p.261-273, 1949.

- MALAVOLTA, E. *Manual de química agrícola*. São Paulo, Agronômica CERES, 1976. p. 391.
- MATOS, A. C. M. e RIBEIRO, A. C. Resposta do feijoeiro a fertilizantes fosfatados na presença e ausência da calagem. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.22, n.11/12, p.1133-1136, 1987.
- MIRANDA, L. T. *et al.* Adubação do milho. XXVII – Ensaio com diversos fosfatos (10ª série). *Bragantia*, Campinas, v.29, n.8, p.301-8, 1970.
- MORELLI, J. L. *et al.* Termofosfato na produtividade da cana-de-açúcar e nas propriedades químicas de um solo arenoso de baixa fertilidade. *Rev. Bras. Ci. Solo*, Campinas, v. 15, n.1, p.57-61, 1991.
- NAKAGAWA, J. *et al.* Avaliação do efeito do termofosfato na fertilidade dos solos através do uso de métodos químico e biológico. *Rev. Agric.*, Piracicaba, v.58, n.3, p.125-39, 1983.
- NAKAGAWA, J. *et al.* Efeitos de fontes de fósforo e da calagem na produção de amendoim. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.28, n.4, p.421-431, 1993.
- NUNES, M. R. Eficiência agrônômica de cinco fosfatos aplicados a lanço e no sulco de plantio, em solo de cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24, 1993, Goiânia. *Resumos*. v.3, p.213-214.
- OLIVEIRA, I. P.; KLUTHCOOSKI, J. E. P. e DUTRA, L. G. Sistema barreira. Efeitos da aplicação de fosfatos a lanço e em sulco, no consórcio de arroz “Guarani” e Brachiário. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24, Goiânia, 1993, *Anais...* v.3, p.223-224.
- PLUCKNETT, D. L. The use soluble silicate in Hawalich agriculture. *Univ. Queesl. Pap.*, Queensland, v.1, n.6, p.203-223, 1972.
- RAIJ, B. van. Condições mínimas de eficiência para fosfatos alternativos ao superfosfato. *Rev. Bras. Ci. Solo*, Campinas. v. 10, n.3, p.235-239, 1986.
- RAMOS, M. G. Avaliação da eficiência de oito fosfatos para as culturas de trigo e soja em um latossolo vermelho-escuro argiloso. *Rev. Bras. Ci. Solo*, Campinas. v.6, n.1 p.38-42, 1982.
- REIS, R. A. *Produtividade de algodão em função da aplicação de Yoorin Master e Yoorin B*. Fundação de Apoio à Pesquisa Agropecuária de Chapadão, Chapadão do Sul, MS, 2001. 3p.
- SANTOS, J. R. e BICUDO, S. J. *Modificações nas características químicas de três solos do estado de São Paulo incubados com termofosfato magnesiano*. Botucatu: FCA-UNESP, 1998. 10 p.
- SEGUY, L. e BOUZINAC, S. *Os sistemas de culturas para a região do Médio Norte do Mato Grosso-Lucas do Rio Verde*, CIRAD-CA/COOPERLUCAS. 1993. 58p.
- SFREDO, G. J. *et al.* Efeito da intensidade de moagem do termofosfato Yoorin sobre a disponibilidade de fósforo para a soja. Londrina, EMBRAPA/CNPES. 1982. 10 p. (Relatório de pesquisa).
- SILVA, N. M. A. *Efeito relativo do superfosfato triplo e do termofosfato sobre a produção e qualidade nutritiva do sorgo sacarino (Sorghum bicolor (L.) Moench)*. Piracicaba, ESALQ-USP, 1987. 116 p. Dissertação (Mestrado em agronomia).
- SOUZA, E. C. A. *Estudos sobre doses e períodos de incubação do termofosfato Yoorin em propriedades químicas de latossolos*. Jaboticabal, FCAV/UNESP, 1993. 6p.
- SOUZA, E. C. A. *et al.* Respostas do tomateiro ‘Petomech’ e da alface ‘Baba’ à aplicação de misturas NPK minerais e organo-minerais. *Ciência Agrônômica*, Jaboticabal, v.8, n.1, p.51-57, 1993.
- STEFANUTI, R. *Efeito da granulometria de um termofosfato magnesiano no aproveitamento de fósforo*. Piracicaba, CENA, ESALQ, 1991, 74 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia).

- TANAKA R. T. *et al.* Nutrição mineral, calagem e adubação da soja. *Inf. Agropec.*, Belo Horizonte, v.8, n.94, p.13-18, 1982.
- VASCONCELOS, C. A. *et al.* Eficiência agrônômica de fosfatos naturais para a cultura de sorgo-granífero. I. Fósforo total e solúvel em ácido cítrico e granulometria. *Rev. Bras. Ci. Solo*, Campinas, v.10, n. 2, p.117-121, 1986.
- VOLKWEISS, S. J. e RAIJ, B. van. Retenção e disponibilidade de fósforo em solos. In: SIMPÓSIO SOBRE OS CERRADOS, 4, 1976, Brasília. *Anais...* p.317-332. 1977.
- YASUDA, M. *Comportamento de fosfatos silicata-dos em solo de cerrado*, Piracicaba: ESALQ-USP, 1989. 62 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia).

## Notas

- \* Este trabalho, originalmente publicado sob o título "O uso agrônômico do termofosfato no Brasil", em edição da empresa Mitsui Fertilizantes, foi ligeiramente modificado (nota dos editores).
  - <sup>1</sup> Solubilidade determinada em água ou citrato neutro de amônio mais água (CNA + água).
  - <sup>2</sup> Carbonatito: rocha de filiação ígnea com mais 50% de carbonatos.
- Fosforito: rocha sedimentar composta principalmente por minerais fosfáticos (nota dos editores).

# Capítulo 22 - Fabricação de um fertilizante organo-fosfatado

## O autor

**Carlos Alberto Ikeda Oba**

Geólogo, D.Sc. EP-USP/Instituto Nacional Politécnico de Toulouse - Multigeo.

E-mail: carlosoba@multigeo.com.br

## 1. Introdução

No Brasil, o modelo de fabricação de fertilizantes baseou-se nas indústrias existentes nos países de clima temperado, atendendo às condições de matérias-primas, climas e solos daqueles países. Ou seja, importou-se um modelo estrangeiro sem uma reflexão mais detida sobre a sua aplicabilidade à realidade brasileira, em que predomina o clima tropical a subtropical.

Desta forma, os fertilizantes de alta solubilidade, provenientes do tratamento químico dos concentrados de apatita por ácido sulfúrico ou fosfórico, são predominantes, com pequena produção de termofosfato.

O fato de no Brasil predominarem os depósitos magmáticos de rochas fosfáticas, cujas viabilidades econômicas são mais difíceis que aquelas de depósitos sedimentares, aliado ao fato de os concentrados apatíticos demandarem teores de 36-37% de  $P_2O_5$  e baixos teores de contaminantes, inviabilizam a exploração mineira de muitos depósitos de rochas fosfáticas, além de resultar em grandes perdas de fósforo durante o beneficiamento.

Atualmente, além da perda de parcela importante de elemento útil (P), na forma de materiais estéreis, minérios marginais e rejeitos do beneficiamento, existe o elevado custo ambiental de armazenar adequadamente estes materiais. Muitas vezes, barragens são construídas provocando danos

ambientais elevados à sociedade, além de apresentarem elevado custo de manutenção e prevenção de acidentes, que estes empreendimentos demandam.

Países em que a aplicação de fertilizantes de alta solubilidade é realizada de maneira sistemática vêm sofrendo com a crescente poluição das águas pelo fósforo. Mesmo no Brasil acredita-se que a agricultura seja, hoje, a atividade econômica mais poluente e a mais agressiva às águas de superfície e subterrânea, provocando a eutrofia e o consequente aumento exagerado de plantas aquáticas. Em alguns países, cogita-se a criação de sanções aos agricultores que causarem problemas ambientais decorrentes da utilização de fertilizantes (OBA, 2000).

O processo Humifert, desenvolvido pelos pesquisadores F. Sternicha (1988) e A. Bernard, propõe a elaboração de um novo fertilizante organo-fosfatado por meio de técnicas simples, a partir de fosfatos naturais brutos (ricos ou pobres em  $P_2O_5$ ) e de matérias orgânicas umidificadas, tais como as turfas, bagaços, palhas etc.

Foram estudadas onze amostras de fosfatos de três grandes depósitos brasileiros para produção de fertilizantes organo-fosfatado: uma associada ao complexo alcalino-carbonatítico de Jacupiranga/SP, sete amostras associadas ao complexo alcalino-carbonatítico de Catalão/GO e três amostras associadas ao depósito sedimentar de Patos de Mi-

nas/MG. Com exceção de uma amostra de Catalão, usada na alimentação da usina de flotação na data da amostragem, as demais amostras são minérios marginais, rejeitos da lavra, rejeitos da usina de concentração e minérios complexos impróprios para beneficiamento.

As amostras, com exceção daquela de Jacupiranga, foram submetidas à caracterização tecnológica, com realização de análises granulométricas, separações minerais (em líquido denso e magnética), análises químicas e difratométricas. A matéria orgânica utilizada foi uma turfa da região do baixo Ribeira de Iguape e uma turfa comercial francesa.

## 2. Caracterização das matérias-primas

As localizações dos depósitos de Jacupiranga/SP, Catalão/GO e Patos de Minas/MG são apresentadas na Figura 2.1.



Fonte: baseado em Gomes *et al.*, 1990.

**Figura 2.1** - Localização dos depósitos estudados.

A Tabela 2.1 apresenta a relação de amostras de cada depósito estudado.

**Tabela 2.1** – Relação de amostras estudadas.

Depósito	Histórico	Nome Amostra
Jacupiranga	Jacupiranga	JACUPIRANGA
Catalão	Composição de rejeitos da mina	CRMINA
	Alimentação da usina	AUSINA
	Sílico-carbonatada pobre	SCPOBRE
	Sílico-carbonatada rica	SCRICA
	Rejeito da flotação de grossos	RFG
	Rejeito da flotação de finos	RFF
	Rejeito da flotação de ultrafinos	RFULTRF
Patos de Minas	Concentrado gravítico	PM-CG
	Concentrado de flotação	PM-CF
	Minério da mina	PM-MIN

As Tabelas 2.1, 2.2 e 2.3 enumeram, respectivamente, as composições química e mineralógica das amostras de fosfatos.

As amostras de Catalão apresentam grande variação química, refletindo as variações dos diferentes tipos de amostras. Diversos autores apresentaram contribuições para o entendimento da geologia deste complexo alcalino-carbonatítico (DYER, 1969; CARVALHO, 1974; CARVALHO e BRESSAN, 1989 e LENHARO, 1994). Destacam-se três diferentes grupos de amostras:

- A amostra que representa a composição dos rejeitos da mina (CRMINA), embora ainda possua cerca de 8% de  $P_2O_5$ , apresenta elevados teores de  $Fe_2O_3$  (47%),  $SiO_2$  (21%), além de  $Al_2O_3$  (2,3%),  $TiO_2$  (5%) e  $BaO$  (1,8%). A relação entre os teores de  $CaO$  e  $P_2O_5$  indica a presença de outros fosfatos não-cálcicos.

- As amostras sílico-carbonatadas, que se caracterizam pela proximidade à rocha carbonatítica, apresentam baixos teores de  $P_2O_5$  (4/6%) e  $Al_2O_3$  (1%). Devido à presença de carbonatos, estas amostras apresentam elevados teores de CaO (24/26%), MgO (14/15%) e Perda ao Fogo (24%).
- Quando da realização da amostragem, a usina de flotação estava sendo alimentada com minério de teor de  $P_2O_5$  entre 12 e 15%. Este minério (AUSINA) apresenta elevados teores de  $Fe_2O_3$  (30/32%) e  $SiO_2$  (23/26%). Os rejeitos

das etapas de concentração (RFG, RFF e RFULTRF) apresentam teores residuais de  $P_2O_5$  entre 7 e 9%, que são crescentes rumo aos rejeitos mais finos. Estes rejeitos, embora sejam submetidos a etapas prévias de separação magnética para remoção da magnetita, ainda apresentam elevados teores de  $Fe_2O_3$  (27/32%). Estas amostras apresentam, também, elevados teores de  $SiO_2$  (28/39%),  $Al_2O_3$  (2/4%),  $TiO_2$  (4/8%) e BaO (1/2,5%).

As amostras de Catalão apresentam baixos teores de terras-raras, principalmente o Cério.

**Tabela 2.2** – Composição química das amostras estudadas.

Amostras	Teores									
	$P_2O_5$ (%)	CaO (%)	$Al_2O_3$ (%)	$SiO_2$ (%)	$Fe_2O_3$ (%)	F (%)	MgO (%)	$SO_3$ (%)	$K_2O$ (%)	P.F. (%)
[1] Jacupiranga	14,8	-	-	3,09	2,56	-	6,34	0,56	0,64	-
[2] Jacupiranga	14,3	44,8	0,98	4,78	1,75	0,55	7,35	0,22	0,65	23,3
[1] Composição de rejeitos da mina (CRMINA)	7,76	3,33	2,25	20,7	46,6	-	0,22	0,04	0,04	7,42
[1] Alimentação da usina (AUSINA)	14,7	14,9	1,72	23,4	29,6	1,00	2,28	0,35	0,10	4,33
[2] Alimentação da usina (AUSINA)	12,4	15,7	1,80	26,3	31,6	-	1,97	-	0,14	3,92
[1] Sílico-carbonatada pobre (SCPOBRE)	4,39	26,1	1,24	16,5	15,8	0,60	14,0	0,09	0,81	23,8
[1] Sílico-carbonatada rica (SCRICA)	6,43	24,4	0,99	15,0	10,7	0,70	14,6	0,02	0,18	23,8
[1] Rejeito de flotação de grossos (RFG)	6,95	5,74	1,64	39,3	28,9	0,55	2,00	0,16	0,16	3,35
[1] Rejeito de flotação de finos (RFF)	7,97	6,22	2,39	37,1	26,5	-	3,23	0,20	0,21	4,94
[1] Rejeito de flotação de ultrafinos (RFULTRF)	9,21	6,37	3,11	28,2	30,0	0,63	4,99	0,30	0,22	7,41
[2] Rejeito de flotação de ultrafinos (RFULTRF)	7,93	7,37	3,69	33,0	32,3	-	4,02	-	0,32	6,85
[1] Concentrado gravítico (PM-CG) [3]	27,1	32,7	4,93	25,6	2,12	1,90	0,60	0,18	0,96	3,04
[1] Concentrado de flotação (PM-CF)	34,6	40,4	2,56	14,7	1,31	2,85	0,53	0,02	0,47	1,67
[2] Concentrado de flotação (PM-CF)	32,7	44,8	2,16	16,1	1,43	-	0,29	-	0,50	1,34
[1] Minério da Mina (PM-MIN)	20,9	24,5	8,86	31,6	4,24	-	0,85	0,03	2,05	5,27

Amostras	Teores									
	$TiO_2$ (%)	MnO (%)	ZnO (%)	SrO (%)	BaO (%)	$Nb_2O_5$ (%)	$Ce_2O_3$ (%)	$Nd_2O_5$ (%)	$ZrO_2$ (%)	CuO (%)
[2] Jacupiranga	0,24	0,09	-	-	-	-	-	-	-	-
[1] Composição de rejeitos da mina (CRMINA)	5,09	0,44	-	0,33	1,76	0,44	-	0,47	0,49	-
[1] Alimentação da usina (AUSINA)	-	0,47	0,03	0,41	1,07	0,28	0,44	-	-	-
[2] Alimentação da usina (AUSINA)	4,00	0,49	-	-	-	-	-	-	-	-
[1] Sílico-carbonatada pobre (SCPOBRE)	-	0,28	-	0,33	0,25	0,09	-	-	0,17	-
[1] Sílico-carbonatada rica (SCRICA)	1,91	0,2	-	0,58	-	-	0,14	-	-	-
[1] Rejeito de flotação de grossos (RFG)	8,05	0,67	-	0,22	1,04	0,42	-	-	0,37	-
[1] Rejeito de flotação de finos (RFF)	6,23	0,76	0,04	0,28	1,65	0,38	0,53	0,19	0,28	0,08
[1] Rejeito de flotação de ultrafinos (RFULTRF)	4,23	0,60	0,05	0,34	2,51	0,43	-	-	-	0,05
[2] Rejeito de flotação de ultrafinos (RFULTRF)	4,60	0,70	-	-	-	-	-	-	-	-
[1] Concentrado gravítico (PM-CG) [3]	0,23	-	0,01	0,35	-	-	-	-	-	-
[1] Concentrado de flotação (PM-CF)	0,18	-	0,01	0,41	-	-	-	-	-	-
[2] Concentrado de flotação (PM-CF)	0,19	0,04	-	-	-	-	-	-	-	-
[1] Minério da Mina (PM-MIN)	0,55	-	0,06	0,26	-	-	-	-	-	-

[1] Laboratório de Caracterização Tecnológica – USP.

[2] Centre National de La Recherche Scientifique – CRPG/SARM.

[3] Fração –200#.

**Tabela 2.3** – Estimativa da composição mineralógica das amostras estudadas (% peso).

Amostra	Fluorapatita	Gorceixita	Quartzo	Ox/Hidróxidos			Outros [4]
				Silicatos [1]	de ferro [2]	Carbonatos [3]	
Jacupiranga	34	-	4	3	2	57	Tr
Composição de rejeitos da mina (CRMINA)	8	7	19	3	55	Tr	8
Alimentação da usina (AUSINA)	26	5	26	2	35	Tr	6
Sílico-carbonatada pobre (SCPOBRE)	8	2	15	6	16	51	2
Sílico-carbonatada rica (SCRICA)	12	2	16	3	12	52	2
Rejeito de flotação de grossos (RFG)	10	6	41	2	33	Tr	9
Rejeito de flotação de finos (RFF)	14	8	37	3	32	Tr	6
Rejeito de flotação de ultrafinos (RFULTRF)	14	10	31	3	37	Tr	4
Minério da Mina (PM-MIN)	47	-	24	24	4	-	Tr
Concentrado gravítico (PM-CG)	62	-	24	12	2	-	Tr
Concentrado de flotação (PM-CF)	79	-	13	7	1	-	Tr

[1] Principalmente Vermiculita, Muscovita e Caulinita.

[2] Principalmente Goethita, Hematita, Magnetita e Ilmenita.

[3] Principalmente Calcita e Dolomita.

[4] Principalmente Anatasio, Rutilo e Monazita.

Tr – Traços.

As amostras de Patos de Minas (PM-MIN/CG/CF) apresentam elevados teores de  $P_2O_5$ . Partindo-se de um minério com cerca de 21%, atinge-se um concentrado flotado com 33/35%. No entanto, as análises químicas mostram a grande dificuldade na redução dos teores de  $SiO_2$  (15/16%) e  $Al_2O_3$  (2/3%) no concentrado de flotação. Segundo Damasceno (1989) e Marciano Neto *et al.* (1990), a jazida de Patos de Minas apresenta idade pré-cambriana ou eo-cambriana tendo sido submetida a metamorfismo de baixo grau.

A amostra de Jacupiranga é composta, basicamente, por carbonato e fluorapatita, respectivamente com 57 e 34% em peso da amostra. Os carbonatos presentes nesta amostra são a calcita e dolomita. A fluorapatita é a única forma de fosfato observada pelas análises por difração de raios-X (DRX). O complexo alcalino-carbonatítico de Jacupiranga foi estudado por diversos autores (MELCHER, 1954, 1965 e 1966; HIRANO *et al.*, 1987; GASPARELLI e WYLLIE, 1987; BORN, 1989; RUBERTI *et al.*, 1991 e LENHARO, 1994).

Durante a amostragem, a usina de flotação de Catalão era alimentada com minério (AUSINA) com cerca de 26% de fluorapatita. A amostra apresentava expressivos teores de ganga férrica (35%) e

ganga silicática (28%), formada, principalmente, por quartzo. Parcela do fósforo estava na forma de gorceixita (fosfato hidratado de alumínio e bário), perfazendo cerca de 7% em peso da amostra, e o restante na forma de monazita (fosfato de terras-raras).

Os rejeitos da mina de Catalão, estudados neste trabalho, apresentam dois tipos distintos:

- O primeiro tipo de rejeito (CRMINA) apresentava elevado teor em óxidos de ferro (55%) e quartzo (19%), estando praticamente isento de carbonatos. O fósforo estava na forma de fluorapatita (8%), gorceixita (7%) e monazita.
- O segundo tipo de material rejeitado na mina (SCPOBRE e SCRICA) provinha das proximidades da rocha fresca, apresentando menor grau de alteração e menor teor em óxidos de ferro (16% e 12%). No entanto, os teores de carbonatos eram bastante elevados, alcançando 52/51% em peso da amostra e os de apatita similares aos dos rejeitos ricos em ferro, porém a presença de gorceixita era bastante restrita nestas amostras.

Os rejeitos da usina de flotação de apatita de Catalão (RFG, RFF e RFULTRF) apresentavam teo-

res elevados de quartzo, entre 31 e 41%, e de óxidos de ferro, entre 32 a 37%, em peso. Os teores de apatita e gorceixita mostravam tendência a aumentar rumo aos rejeitos mais finos, alcançando, respectivamente, cerca de 14 e 10% no rejeito ultrafino (RFULTRF).

As amostras de fosfatos apresentavam variações nas composições química e mineralógica, além de problemas tecnológicos específicos para cada amostra, frente ao processo convencional de concentração da apatita por flotação.

A amostra do complexo alcalino-carbonatítico de Jacupiranga era um produto intermediário de flotação, de granulação fina e rico em carbonatos, apresentando dificuldades na separação da apatita dos carbonatos, principalmente da dolomita. As amostras do complexo alcalino-carbonatítico de Catalão eram rejeitos da mina e da usina de flotação. Algumas apresentavam uma granulação muito fina, mas as principais características destas amostras eram os baixos graus de liberação da apatita da ganga silicática e da ganga férrica, além de recobrimentos da apatita por óxidos/hidróxidos de ferro. As amostras de Patos de Minas apresentavam uma íntima associação da apatita com o quartzo e silicatos, não ocorrendo uma boa liberação mesmo em granulações muito finas.

Foram utilizadas duas amostras de turfa como fonte de matéria orgânica para produção do fertilizante organo-fosfatado:

- uma, francesa, denominada “Tourbe Brune”, era comercializada para fins de jardinagem, com a característica de apresentar uma umidade de 14%.
- a outra amostra era da região do Baixo Ribeira de Iguape, litoral sul do estado de São Paulo.

Conforme trabalho realizado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT (IPT, 1981), as turfeiras desta região apresentam predomínio de restos de troncos, por vezes pouco decompostos, indicando uma contribuição arbórea na sua origem.

A Tabela 2.4 apresenta as principais características da turfa brasileira.

**Tabela 2.4** – Principais características da turfa brasileira.

Umidade	81,14%
Matérias Voláteis	68,77%
Cinzas	5,83%
Carbono Fixo	25,40%
Poder Calorífico Superior	5.200 kcal/kg
Densidade de Empilhamento	650,6 kg/m <sup>3</sup>

A amostra utilizada para os ensaios foi seca ao sol até atingir uma umidade de 10%.

### 3. Fertilizante organo-fosfatado

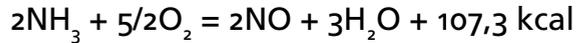
O processo Humifert, desenvolvido pelos pesquisadores franceses F. Sternicha e A. Bernard (STERNICHA, 1988), propõe um novo fertilizante organo-fosfatado fabricado por meio de técnicas simples, a partir de fosfatos naturais brutos (ricos ou pobres em  $P_2O_5$ ) e de matérias orgânicas umidificadas, tais como as turfas, bagaços, palhas etc.

O princípio deste novo processo é tratar uma mistura de fosfato e matéria orgânica por óxidos de nitrogênio. Os óxidos de nitrogênio se transformam em ácido nítrico, em contato com a umidade da mistura. O ácido nítrico ataca a apatita e também a matéria orgânica, formando ácidos húmicos. Estes ácidos orgânicos também atuam na dissolução da apatita, sendo necessária uma quantidade estequiometricamente inferior de reativo ácido para tornar solúvel o  $P_2O_5$  do mineral. O produto final leva para as culturas um fosfato parcialmente solúvel, matérias orgânicas pré-humificadas e nitratos.

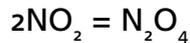
As etapas químicas determinantes do processo são três. Trata-se da combustão da amônia, que resulta na formação dos óxidos nitrosos, seguida da transformação oxidativa destes óxidos em óxidos nítricos e finalmente do ataque dos fosfatos.

A combustão da amônia é realizada pela oxidação de ar em excesso sobre um catalisador constituído de telas metálicas de platina. Esta reação é exotérmica e muito rápida, com um rendimento

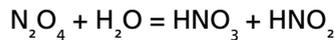
químico acima de 98%. Ela conduz à formação de monóxido de nitrogênio e água:



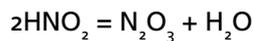
Os óxidos nitrosos vão sofrer oxidação pelo oxigênio do ar em excesso, transformando-se em óxidos nítricos:



O óxido nítrico produzido reage com a água da mistura, gerando ácido nítrico e ácido nitroso:



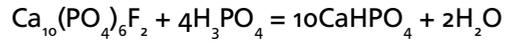
Enquanto o ácido nítrico reage de diferentes maneiras com os compostos da mistura, o ácido nitroso sofrerá novas transformações, conduzindo aos óxidos nitrosos iniciais:



A reação do ácido nítrico com o fosfato é variável. Podem-se esquematizar três diferentes níveis de ataque à apatita:

- um ataque total:  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2 + 18\text{HNO}_3 = 6\text{H}_3\text{PO}_4 + 9\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{CaF}_2$
- um ataque intermediário:  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2 + 12\text{HNO}_3 = 3\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + 6\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{CaF}_2$
- um ataque parcial:  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2 + 6\text{HNO}_3 = 6\text{CaHPO}_4 + 3\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{CaF}_2$

Desta forma, um ataque total produziria o ácido fosfórico, um ataque intermediário produziria um fosfato monocalcico (solúvel em água) e um ataque parcial produziria um fosfato bicalcico (solúvel em ácido cítrico a 2%). Na realidade, é impossível orientar a reação para formação de um ou outro composto. O resultado final é uma mistura de sais, ácido fosfórico e apatita não atacada. O ácido fosfórico produzido pode reagir com a apatita ou com o fosfato bicalcico, mesmo durante a fase de maturação do produto:



O produto final, após a etapa de maturação, pode ser granulado por extrusão, secado e ensacado.

#### 4. Produção de fertilizantes

Os ensaios foram realizados em equipamento micropiloto (Figura 4.1), disponível no Laboratório de Físico-Química dos Sólidos da Escola Nacional Superior de Química de Toulouse. O equipamento tem capacidade de produção de algumas centenas de gramas de fertilizante.

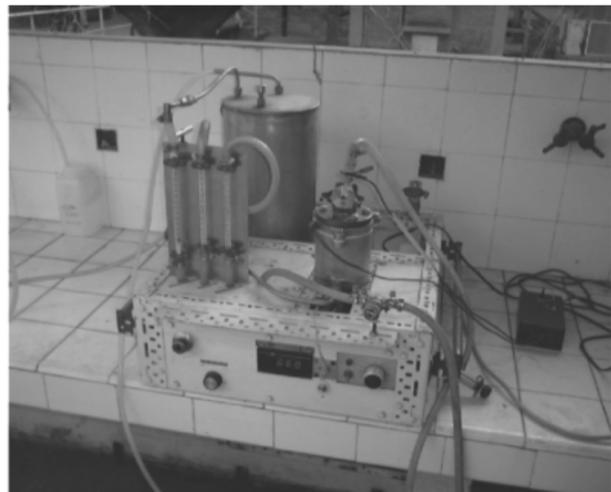


Figura 4.1 - Vista do pequeno forno e do recipiente oxidante do micropiloto.

Os ensaios exploratórios mostraram a importância da umidade para a obtenção de bons resultados (Figura 4.2). Desta forma, optou-se pela adoção de uma umidade de 30% na produção de fertilizantes para os ensaios agrônômicos.

Visto que a turfa brasileira não aceita, operacionalmente, uma umidade de 30%, devido às características pastosas geradas, optou-se pela mistura com a turfa francesa. A relação da mistura entre as turfas foi de 75% de turfa brasileira e 25% de turfa francesa.

Em função dos resultados, utilizou-se uma relação de duas partes de matéria orgânica para uma parte de fosfato.

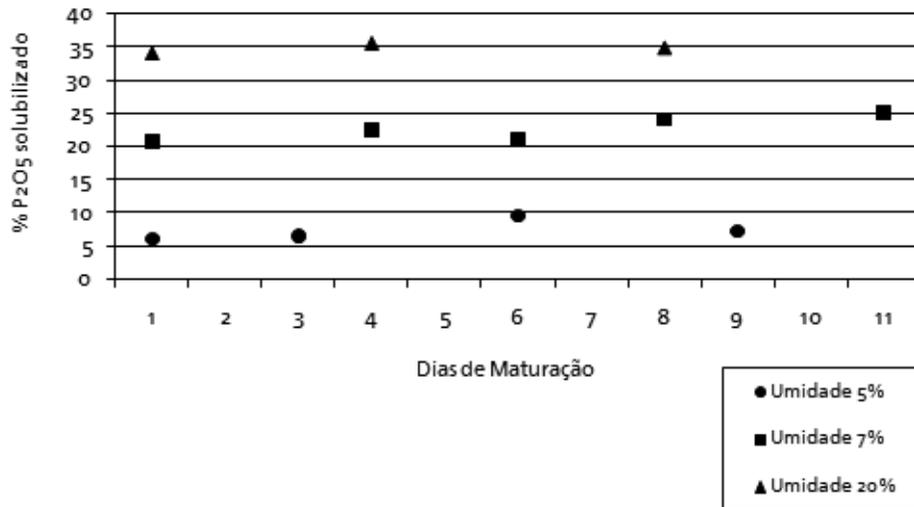


Figura 4.2 - Solubilização do  $P_2O_5$  (50% Turfa Bras. / 50% Fosf. Jacupiranga).

Visando uma eficiência máxima na produção dos óxidos de nitrogênio, o equipamento micropiloto trabalhou em uma faixa de temperatura entre 750 e 800°C. Devido à maior quantidade de massa da mistura, trabalhou-se com a coluna de 7,5 cm de diâmetro. Os tempos dos ensaios foram ao redor de 8 horas e o tempo de maturação do produto foi de cerca de 7 dias, mesmo que os ensaios exploratórios tenham indicado que, após o quarto dia, a curva de solubilidade do fósforo começou a se estabilizar, havendo pequeno aumento na solubilidade.

## 5. Resultados agronômicos

Os fertilizantes produzidos foram submetidos a ensaios agronômicos em salas climatizadas (*Phytotron*). Utilizou-se uma grama italiana (*Lolium italicum*) como planta-padrão, para medir a assimilação do fósforo dos fertilizantes. Também foram realizados, em paralelo, dois ensaios testemunhos: o primeiro com ausência total de fósforo e o segundo com o nutriente em abundância na forma de solução, facilmente assimilável pela planta. Como substrato utilizou-se uma areia silicosa com ausência total de fósforo.

Nos ensaios com os novos fertilizantes organofosfatados, foram adicionados aos vasos de vege-

tação, conforme técnica descrita por Stanford e De Ment (1957), um teor de 14,5mg de P por kg de substrato, no décimo dia de cultivo. Para a amostra testemunho com abundância de nutriente, o teor foi de 43,5mg de P por kg de substrato, distribuídos desde o quarto dia até final do cultivo, na forma de solução nutritiva, conforme descrito por Hoagland e Snyder (1933).

Foram realizados três cortes das partes aéreas das plantas, o primeiro no 30º dia de cultivo, o segundo no 57º dia e o terceiro no 80º e último dia de cultivo. Ao final, foi feita a separação das raízes do substrato. Todas as matérias vegetais foram secas, pesadas e analisadas quimicamente para determinação dos teores de fósforo.

A Figura 5.1 ilustra os resultados agronômicos obtidos e a Figura 5.2 quantifica a produção de matéria seca obtida nos ensaios agronômicos.

Os resultados mostram uma boa produção de matéria seca no primeiro corte, com redução para o segundo e terceiro cortes, quando comparados com o ensaio com abundância na adição de fósforo. Os resultados demonstram que, mesmo após um período prolongado, mais de 60 dias no solo, o fertilizante continua a liberar o nutriente (P) para as plantas.



Figura 5.1 – Vigésimo sétimo dia de cultivo. Vasos com utilização de fertilizante produzido com fosfato de Catalão (5A) e com abundância de P na forma de solução (2D).

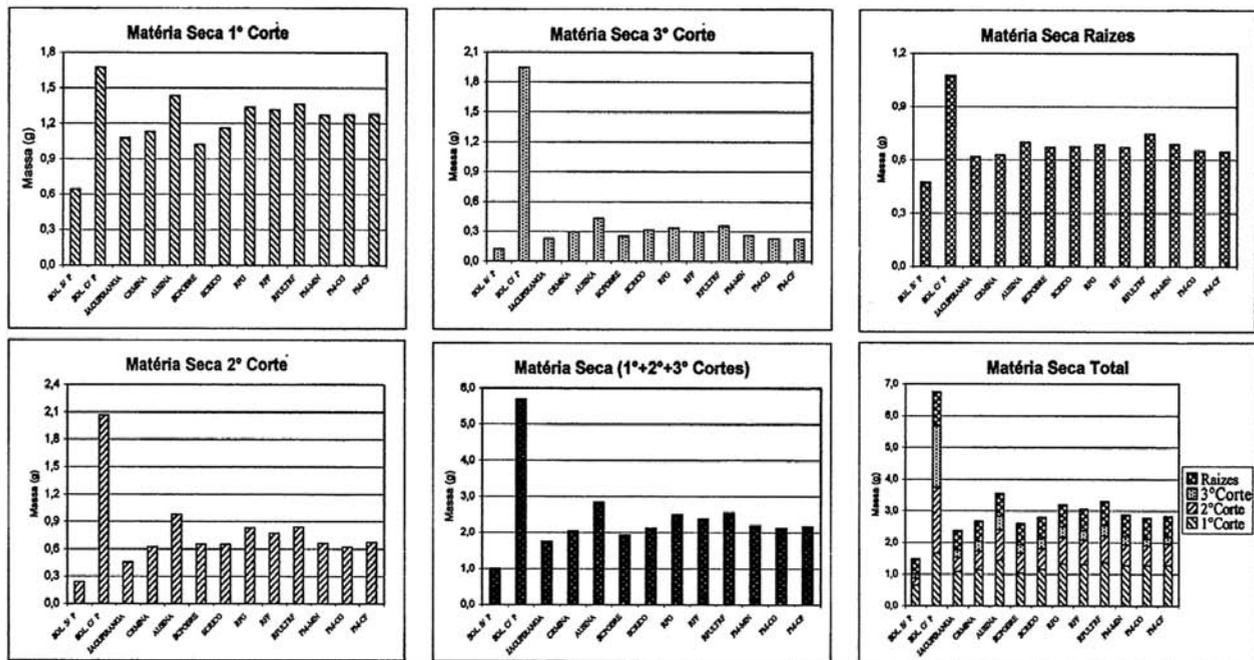


Figura 5.2 – Produção de matéria vegetal seca nos vasos de vegetação.

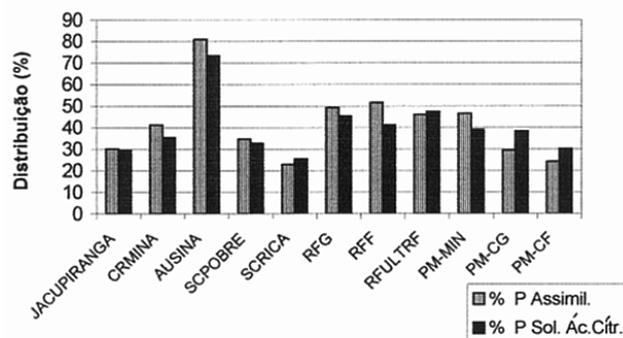


Figura 5.3 – P assimilado x P sol ácido cítrico.

A Figura 5.3 apresenta a assimilação do fósforo pela planta sobre o total adicionado na forma de fertilizantes. Na mesma figura, são apresentados os teores de P solúveis em ácido cítrico a 2% (análise padrão em fertilizantes).

Os resultados mostram uma assimilação igual ou maior àquelas indicadas pelas análises em ácido cítrico a 2%, podendo indicar a presença de fases fosfatadas nos fertilizantes, que não são solubilizadas durante a análise.

## 6. Conclusões

O modelo de fertilização implantado no Brasil é baseado em produtos de alta solubilidade, como aqueles adotados em países de clima temperado. Este modelo importado não atende às peculiaridades de nossos solos, gerando um desperdício desta preciosa ferramenta de aumento de produtividade agrícola e, pior ainda, problemas ambientais que se tornam cada vez mais graves e evidentes. Nos solos de climas tropicais, existe uma grande carência de matéria orgânica, importante para a manutenção das suas propriedades físicas e nutricionais.

As dificuldades de obtenção de concentrados ricos em apatita para a produção de fertilizantes fosfatados de alta solubilidade, ou mesmo a impossibilidade de obtenção destes concentrados, inviabilizam, tecnológica e economicamente, muitas reservas de minerais fosfatados frente ao processo de beneficiamento por flotação.

O processo estudado oferece uma alternativa para o aproveitamento destes materiais marginalizados, com resultados comprovados, aproveitando:

- tipos de minérios inadequados às condições usuais da usina de beneficiamento;
- rejeitos com teores baixos de  $P_2O_5$  (rejeitos/estéreis das frentes de lavra e rejeitos das usinas de beneficiamento);
- minérios tecnologicamente complexos ou inviáveis à obtenção de concentrados que atendam às especificações de mercado;
- depósitos pequenos, ricos ou pobres em  $P_2O_5$  que não interessam às grandes mineradoras, mas que são capazes de suprir localmente a demanda por fertilizantes.

Os ensaios agrônômicos mostraram que os fertilizantes experimentados apresentaram bons rendimentos na produção de matéria seca, comparáveis com aqueles obtidos com a utilização de solução nutritiva rica em P, para o primeiro corte. As plantas continuaram a assimilar o fósforo do fertilizante por longo período, mesmo tendo-se passado mais de 50 dias de sua colocação nos vasos.

Os resultados indicam que a assimilação do fósforo pelas plantas pode ser superior à solubilidade em ácido cítrico (2%) medida nos fertilizantes. Este fato pode indicar uma transformação suplementar de apatita em fosfatos solúveis ou a transformação de fosfatos parcialmente solúveis em fases mais solúveis, após a colocação do fertilizante nos vasos. A hipótese de haver nos fertilizantes algumas formas de recobrimento dos fosfatos solúveis, provavelmente pela matéria orgânica, dificultando a solubilização pelo ácido cítrico, poderia explicar estes resultados. A hipótese é indicada pelos estudos ao microscópio eletrônico de varredura. A longo prazo, a reação ou decomposição desta matéria orgânica ocasionaria a liberação gradual do fósforo no solo.

O novo processo de fabricação de fertilizante organo-fosfatado apresentou as seguintes vantagens:

- o produto final contém, simultaneamente, fósforo, nitrogênio (nitratos) e matérias orgânicas pré-humificadas;
- a formação de complexos entre os fosfatos e a matéria orgânica, com o recobrimento do fosfato pela matéria orgânica, possibilita ao fósforo ficar disponível por um prazo relativamente longo, evitando sua rápida retrogradação;
- do ponto de vista econômico, o processo pode ser interessante, pois utiliza matérias-primas de baixo custo, pode ser instalado em pequenas unidades, próximo aos locais de produção de fosfato e é técnica e operacionalmente simples. No entanto, existem as necessidades da coleta da matéria orgânica disponível na região e o transporte da amônia;
- do ponto de vista agrônômico, o novo fertilizante apresenta teores menores que os de alta solubilidade, no entanto seu efeito de liberação prolongado o torna mais assimilável;
- do ponto de vista ambiental, o processo é pouco poluente, pois os óxidos de nitrogênio formados são totalmente adsorvidos pela mistura, o que permite valorizar matérias orgânicas que são geralmente inutilizadas. Além disso, promove a incorporação ao solo de toda a matéria fosfatada marginal, evitando geração de depósitos e/ou bacias de rejeitos/materiais marginais.

## Referências bibliográficas

- BORN, H. (1989). The Jacupiranga apatite deposit, São Paulo, Brazil. In: NOTHOLT, A.J.G.; SHELDON, R.P.; DAVIDSON, D.F., eds. Phosphate deposits of the world. London, Cambridge, University Press. V.2, cap. 19, p. 116-9.
- CARVALHO, W.T. (1974). Aspectos geológicos e petrográficos do Complexo Ultramáfico-Alcalino de Catalão I, Goiás. CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28, Porto Alegre. Anais. s.l., SBG. v. 5, 1974. p.107-24.
- CARVALHO, W.T.; BRESSAN, S.R. The phosphate deposit of Catalão I ultramafic alkaline complex, Goiás, Brazil. In: NOTHOLT, A.J.G.; SHELDON, R.P.; DAVIDSON, D.F., eds. Phosphate deposits of the world. London, Cambridge, University Press, 1989. V.2, cap. 17, 1989. p. 104-10.
- DAMASCENO, E.C. (1989). Patos de Minas phosphate deposit, Minas Gerais, Brazil. In: NOTHOLT, A.J.G.; SHELDON, R.P.; DAVIDSON, D.F., eds. Phosphate deposits of the world. London, Cambridge, University Press, 1989. V.2, cap. 19. p. 100-3.
- DYER, R.C. (1969). Os domos ultrabásicos-alcalinos dos arredores de Catalão, geologia regional. Revista da Escola de Minas de Ouro Preto, v. 27, n. 4. p. 170-6.
- GASPAR, J.C.; WYLLIE, P.J. (1987). The phlogopites from Jacupiranga carbonatite intrusions. Contributions to Mineralogy and Petrology. V. 26. p. 121-134.
- GOMES, C.B.; RUBERTI, E.; MORBIDELLI, L. (1990). Carbonatite complex from Brazil: a review. Journal of South American Earth Sciences, v. 3, n. 1, p. 51-63.
- HIRANO, H.; KAMITANI, M.; DAITX, E.C. (1987). Jacupiranga carbonatites in the São Paulo State, Brazil: their mode of occurrence. ITIT Project 8316, Report of International Research and Development Cooperation. Japan. p. 74-95.
- HOAGLAND, D.R.; SNYDER, W.C. (1933). Nutrition of strawberry plant under controlled conditions. Proc. Am. Soc. Hort. Sci., 30. p.288-302.
- IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. (1981). Prospecção Regional de turfa no Estado de São Paulo. São Paulo, IPT, Relatório 15.318.
- LENHARO, S.L.R. (1994). Caracterização mineralógica/tecnológica das apatitas de alguns depósitos brasileiros de fosfato. Dissertação de mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 196p.

- MARCIANO NETO, A.; RODRIGUES, A.J.; ARAUJO, A.C. (1990). Caracterização tecnológica do fosfato de Patos de Minas. In: Simpósio EPUSP de Caracterização Tecnológica na Engenharia e Indústria Mineral. Anais, São Paulo, EPUSP. p.281-300.
- MELCHER, G.C. (1954). Nota sobre o distrito alcalino de Jacupiranga, São Paulo. Rio de Janeiro, DNPM. (Notas preliminares e estudos. Divisão de Geologia e Mineralogia, 84).
- MELCHER, G.C. (1965). O Carbonatito de Jacupiranga. Boletim da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras da Universidade de São Paulo. V. 282, p. 5-73. (Série Geologia, 21).
- MELCHER, G.C. (1966). The carbonatites of Jacupiranga, São Paulo, Brazil. In: TUTTLE, O.F.; GITTINS, J., eds. Carbonatites. New York, Interscience, p. 165-81.
- OBA, C.A.I. (2000). Aproveitamento de materiais fosfáticos marginais para a produção de fertilizantes organo-fosfatados. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade, 175p.
- RUBERTI, E.; MARGUTI, R.L.; GOMES, C.B. (1991). O complexo carbonatítico de Jacupiranga, SP: informações gerais. Congresso Brasileiro de Geoquímica, 3, São Paulo, 1991. Guia de excursões, São Paulo, IG-USP, p.1-20.
- STANFORD, G.; DE MENT J.D. (1957). A method for measuring short-term nutrient absorption by plants: 1 phosphorus. Soil Sci. Soc. Am. J, 21. p.612-617.
- STERNICHA, F. (1988). Matière organique accroissant la proportion de phosphore assimilable dans les engrais chimiques classiques et dans les phosphates naturels. Brevet n°87 13177.

# Capítulo 23 - Lixiviação clorídrica de rochas fosfáticas com recuperação de terras-raras: estudo de caso – Angico dos Dias

## Os autores

### Fernando Pereira

D.Sc., Responsável P&D Lyon II Chemical Company. E-mail: fernando.pereira658@orange.fr

### Essaid Bilal

D.Sc., Diretor do Instituto Heliópolis de Tecnologia e Gestão de Inovação, École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Étienne (ENSMSE). E-mail: bilal@emse.fr

### Veronique Bourgiert

D.Sc. École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Étienne (ENSMSE). E-mail: bourgier@emse.fr

### F. E. Lapido-Loureiro

Engenheiro Geólogo, D.Sc., Pesquisador Emérito do CETEM/MCT. E-mail: flapido@cetem.gov.br

### Diego Alejandro Grassi

Engenheiro Shimadzu Argentina (Jenck). E-mail: diegoalejandrogassi@hotmail.com

## I. Lixiviação clorídrica de rochas fosfáticas

### 1. Generalidades

A indústria de fertilizantes fosfatados é uma indústria poluidora e, em escala mundial, as preocupações e as leis ambientais estão impondo, cada vez mais, restrições, tanto em termos de qualidade dos produtos finais, como dos enormes volumes de rejeitos gerados durante a produção de ácido fosfórico pela via sulfúrica. Convém, portanto, pesquisar caminhos e metodologias alternativas, técnica e economicamente viáveis, que atendam a parâmetros socioeconômico-ambientais.

A rota sulfúrica para produção de ácido fosfórico destinado à indústria dos fertilizantes apresenta inconvenientes, como o de não permitir a recuperação de subprodutos de bom valor comercial, como é o caso das terras-raras, e gerar grandes volumes de rejeito/subproduto, o fosfogesso, que podem causar problemas ambientais. O fosfogesso é, até hoje, pouco aproveitado mundialmente. Daí a vantagem de se estudarem rotas e metodologias alternativas, na produção de ácido fosfórico, para que se possa optar pela mais vantajosa sob o ponto de vista social, econômico e ambiental.

No Brasil, já se aproveita cerca de 50% do volume de fosfogesso gerado, principalmente como fertilizante e moderador de solos na agricultura mas também na indústria do cimento.

As rotas nítrica e clorídrica, embora apresentem, a priori, custos mais elevados e maior dificuldade de manuseio dos ácidos, podem mostrar-se como alternativas interessantes, já que geram subprodutos de bom valor comercial, tais como terras-raras, cloreto e nitrato de cálcio, que podem dar lugar a cloretos e nitratos de cálcio-amônia.

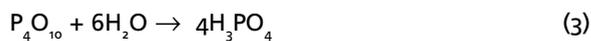
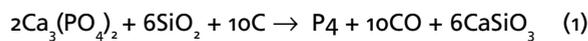
Acentua-se, por outro lado, que o Brasil:

- apresenta grande capacidade ociosa e até produção de excedentes de ácido clorídrico, provenientes da indústria da soda, e que não são aproveitados por falta de mercado;
- não tem depósitos econômicos de enxofre, matéria-prima necessária para a produção de ácido sulfúrico (LAPIDO-LOUREIRO, 1997).

O ácido fosfórico, ou mais corretamente ácido ortofosfórico ( $H_3PO_4$ ), é um importante composto químico na indústria dos fertilizantes. É um produto intermediário entre os minérios fosfatados e os principais produtos utilizados na agricultura, tais como fosfato de amônio, superfosfato triplo,

nutrientes líquidos mistos, nutrientes sólidos mistos de alta pureza e vários tipos de fosfatos nítricos. Industrialmente, o ácido fosfórico é produzido por via úmida e por processo térmico, a partir de minérios fosfatados. O processo via úmido é, sem dúvida, o mais difundido.

Na via térmica, obtém-se ácido fosfórico de grande grau de pureza, destinado à fabricação de fosfatos de qualidade alimentar ou "técnica". O fósforo é obtido por redução de fosfato natural, em presença de coque e de sílica, num forno elétrico a 2000°C. É, então, oxidado sob a forma de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e hidratado para se obter o ácido.



Na reação (1), obtém-se fósforo branco (P<sub>4</sub>), que é uma das formas alotrópicas do fósforo, embora à temperatura de reação, a dissociação em P<sub>2</sub> já seja efetiva. Os vapores de fósforo são condensados (arrefecimento por água), e o produto final da reação é a molécula P<sub>4</sub>, pouco estável, porque os ângulos de valência do tetraedro correspondem a "tensões internas".

A reação (2) efetua-se por combustão do fósforo branco, líquido, a 60°C, numa corrente de ar seco (30°C), em excesso (30 a 35%), a fim de evitar a formação de anidrido fosforoso P<sub>4</sub>O<sub>6</sub>. A reação é fortemente exotérmica, e a temperatura alcança 1300°C. O ácido obtido durante a reação (3) representa de 5 a 10% da produção total de ácido fosfórico no mundo.

Essa via, que dá origem a um ácido de grande pureza, tem sido pouco a pouco abandonada, por razões econômicas. Vem sendo substituída pela via úmida, seguida de purificação por extração líquido-líquido.

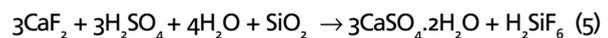
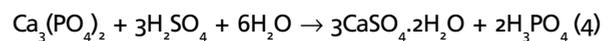
A via úmida é um caminho conhecido há muito. É o mais utilizado para produção de ácido fosfórico. Consiste no ataque de fosfatos naturais por um ácido forte, em geral, o ácido sulfúrico.

Os ácidos clorídrico e nítrico também podem ser utilizados (SLACK, 1968; WAGGAMAN, 1969). Embora de custo mais alto que o do ácido sulfúrico, apresentam a vantagem de solubilizarem, além do P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> contido na rocha, o urânio e os lantanídeos eventualmente presentes (HABASHI e AWADALLA, 1986). Assim, o aumento de custo pode ser compensado pela produção adicional de subprodutos de alto valor comercial, tais como é o caso das terras-raras.

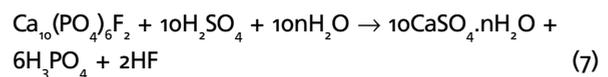
### 1.1. Rota Sulfúrica

O ácido fosfórico é, geralmente, produzido pelo ataque sulfúrico de rochas naturais constituídas principalmente por fluorfosfatos de cálcio, de ferro e de alumínio. Podemos dizer que H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> é o mais importante dos derivados do ácido sulfúrico.

As reações principais, todas exotérmicas, de produção de ácido fosfórico são as seguintes:



ou, mais corretamente:



sendo *n* o grau de hidratação do sulfato de cálcio.

De acordo com as condições operacionais (temperatura, concentração do ácido etc.), pode-se ter:

*n* = 0 : formação de anidrita [CaSO<sub>4</sub>] ⇒ 50-55% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a 120-130°C;

*n* = 0,5 : formação de hemihidrato [CaSO<sub>4</sub>·0,5H<sub>2</sub>O] ⇒ (42-45% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a 20-100°C);

*n* = 2 : formação de dihidrato [CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O] ⇒ (30-32% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a 68-78°C).

Os outros elementos inicialmente presentes no minério passam à solução na forma de sais e precipitam parcialmente com o sulfato de cálcio, cujo grau de hidratação depende da concentração em ácido utilizada e da temperatura (WITKAMP e VAN

ROSMALLEN, 1986), que pode aumentar durante o transporte e a armazenagem (RUTHERFORD, 1994).

O processo dihidrato conduz a um ácido com teor de  $P_2O_5$  que pode variar de 28 a 32%. Quando é concentrado, dá origem a ácidos com teores entre 46 e 54% de  $P_2O_5$ .

A produção de ácido fosfórico por meio deste processo inclui seis fases sucessivas: (i) moagem do fosfato, (ii) ataque sulfúrico, (iii) filtração para separação das duas fases, a líquida (ácido fosfórico) e a sólida (fosfogesso), (iv) concentração do ácido, (v) recuperação de  $H_2SiF_6$  e (vi) purificação do ácido.

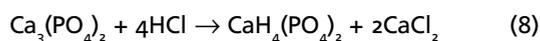
O processo hemihidrato (HH) está relativamente espalhado na Europa, no Japão e na África. É um processo difícil de controlar porque a forma hemihidratada do sulfato de cálcio tem tendência a reidratar-se. O fenômeno da "presa" ("tomada") do gesso torna a sua produção mais difícil. O ácido obtido apresenta mais de 40% de  $P_2O_5$ . A taxa de impurezas do fosfogesso permanece bastante elevada.

De acordo com a equação (7), constata-se que se obtêm duas fases principais: uma líquida (solução de  $H_3PO_4$ ) e a outra sólida (fosfogesso). O ácido fosfórico assim produzido apresenta concentrações que podem variar entre 28 e 54% de  $P_2O_5$  (de 38 a 75% em  $H_3PO_4$ ). Uma vez cristalizado, o fosfogesso é separado da fase líquida por filtração, lavado e finalmente colocado em pilhas na proximidade do núcleo produtor de ácido fosfórico. A água ácida de lavagem deve ser neutralizada antes de ser rejeitada na natureza. O fosfogesso (sulfato de cálcio) é considerado um rejeito com utilização restrita na maioria dos países.

## 1.2. Rota clorídrica

A decomposição de concentrados fosfatados, pelo ácido clorídrico (HCl), pode ser esquematizada pelas reações (8) ou (9) segundo as quantidades em ácido utilizadas.

— mistura de fosfato monocálcico e de cloreto de cálcio.



— mistura de ácido fosfórico e de cloreto de cálcio.

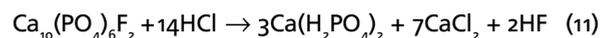


Evaporando-se a solução encontrada em (8), obtém-se um produto pegajoso e denso, impróprio para ser utilizado como fertilizante, devido às propriedades higroscópicas do cloreto de cálcio contido. Por isso, a separação do cloreto de cálcio só é possível tratando a solução com cal, calcário ou álcalis, o que vai dar origem à precipitação do fosfato dicálcico, como se indica em (10), o qual deve ser lavado e filtrado.



Embora o  $P_2O_5$  contido no fosfato dicálcico seja considerado disponível, não é solúvel em água e deve ser acidificado para poder ser utilizado como fertilizante. A necessidade destes procedimentos e o preço do HCl podem tornar o processo menos competitivo em relação à clássica rota sulfúrica.

A rota clorídrica para produção industrial de ácido fosfórico, por dissolução da rocha fosfatada e extração líquido-líquido, inclui três fases: (i) extração, (ii) purificação e lavagem, (iii) concentração do ácido. Pode ser esquematizada pelas reações (11) e (12).

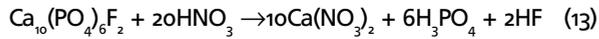


O ácido clorídrico sempre foi dirigido a outras indústrias (têxtil, plástico etc.). Segundo Habashi (1985), terá sido esta uma das razões de nunca ter sido seriamente considerada a sua utilização na acidificação dos concentrados fosfatados.

## 1.3. Rota nítrica

A produção comercial de fertilizantes por ataque nítrico de rochas fosfatadas começou em 1930. Atualmente, existem menos de 80 unidades industriais (capacidade instalada de 4Mt de  $P_2O_5$ ) recorrendo ao processo nítrico na acidificação de concentrados fosfatados. A retomada do interesse pelo ácido nítrico e clorídrico atende, especialmente, ao fato de reduzirem danos ambientais causa-

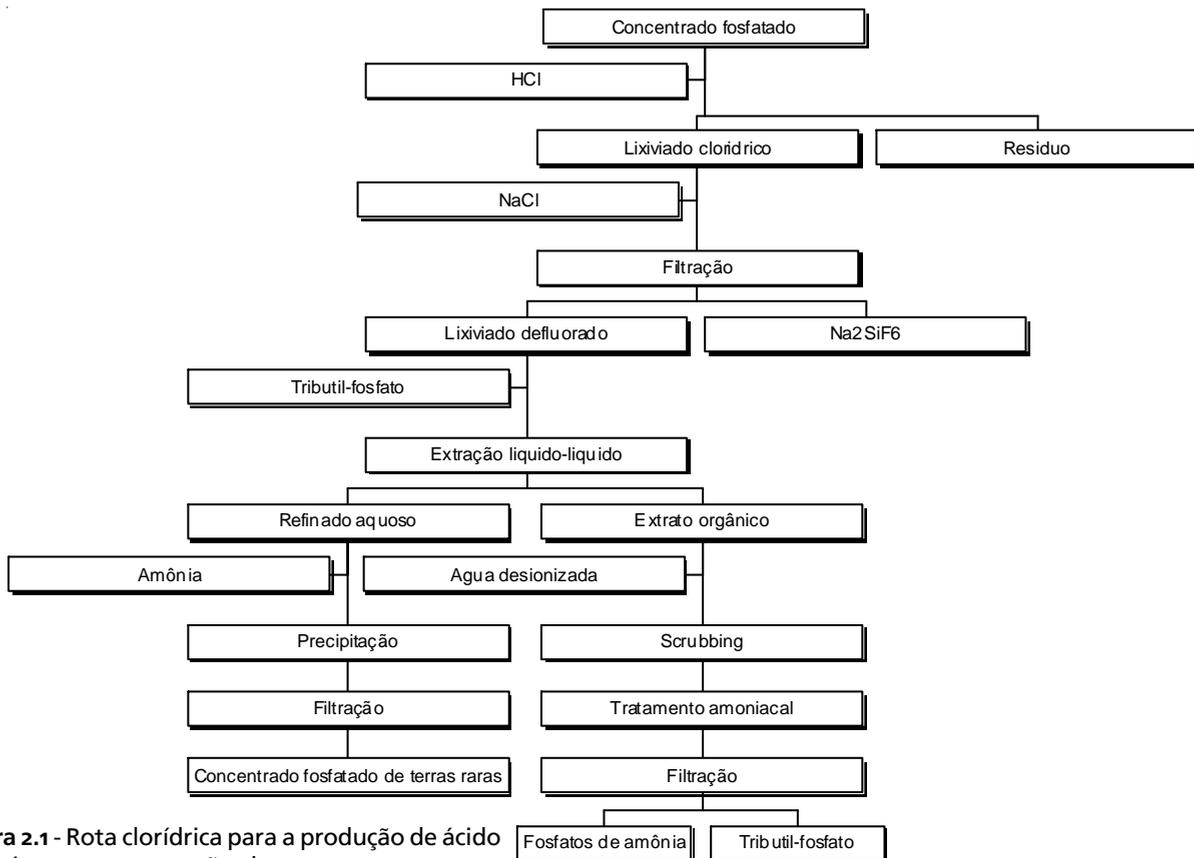
dos pelas enormes pilhas de fosfogesso, durante o tratamento sulfúrico das rochas fosfatadas. A rota nítrica para a produção industrial de fertilizantes fosfatados pode ser esquematizada pela reação (13).



O lixiviado pode ser tratado de diferentes modos, segundo o processo nítrico desenvolvido por Norsk Hydro. O licor contém a maior parte do urânio, dos lantanídeos e do rádio que podem ser recuperados. Assim, na Finlândia, as terras-raras foram recuperadas, comercialmente, pela indústria Kemira Oy, de 1965 a 1972. A produção de nitrato de cálcio  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ , no norte da Europa, de clima úmido e frio, utilizado em solos ácidos como fertilizante, permanece difícil, essencialmente, devido à sua natureza higroscópica.

Os ácidos clorídricos e nítricos, embora sejam de custo relativamente mais alto que o do ácido sulfúrico e de manuseamento mais difícil, oferecem, em contrapartida, numerosas vantagens:

- recuperação de subprodutos de alto valor comercial;
- redução drástica dos enormes volumes de rejeitos poluentes gerados na rota sulfúrica (fosfogessos);
- produção de fosfato monocalcico, de alto grau de pureza (isento de metais pesados), que é um excelente complemento nutritivo em pecuária;
- possibilidade de recuperação de mais de 95% do flúor das apatitas, que tratadas por uma solução de nitrato de amônio, conduzem à formação de fluoreto de alumínio, matéria-prima para produção de criolita artificial;
- obtenção, a partir de nitrato de cálcio, após tratamento pelo amônio e anidrido carbônico, de nitrato de cálcio amônio (importante fertilizante nitrogenado);
- utilização dos excessos em ácido clorídrico das indústrias brasileiras.



**Figura 2.1** - Rota clorídrica para a produção de ácido fosfórico e a recuperação das terras-raras.

## 2. Obtenção de lixiviado fosfórico por ataque clorídrico<sup>1</sup>

Estudou-se, em amostras de concentrado e de minério, o comportamento da lixiviação clorídrica (Figura 2.1), à temperatura ambiente, considerando-se as variáveis concentração do ácido, razão sólido/líquido, tempo de reação, velocidade de agitação e temperatura, para definição das melhores condições de dissolução das fluoapatitas e das terras-raras (PEREIRA, 2003).

Os primeiros ensaios de lixiviação foram conduzidos com agitação mecânica, à temperatura ambiente e em atmosfera oxidante, em amostra de concentrado. Um volume de ácido clorídrico definido (HCl Merck,  $d = 1,19$ ) foi adicionado a uma quantidade, previamente pesada de concentrado e de minério. Três séries de testes foram conduzidas: com uma razão sólido/líquido inicial de 12,5% (25g de rocha fosfatada, a qual se adicionou 200ml de HCl), com uma razão sólido/líquido inicial de 40% (40g de rocha fosfatada a qual se adicionou 100ml de HCl) e, finalmente, nas condições estequiométricas (quantidades variáveis segundo as concentrações em ácido clorídrico), segundo a reação (14).



Depois dos ensaios preliminares foram utilizados dois tipos de amostras: um representativo do concentrado obtido por separação magnética, a seco, e o outro do minério formado por enriquecimento supergênico.

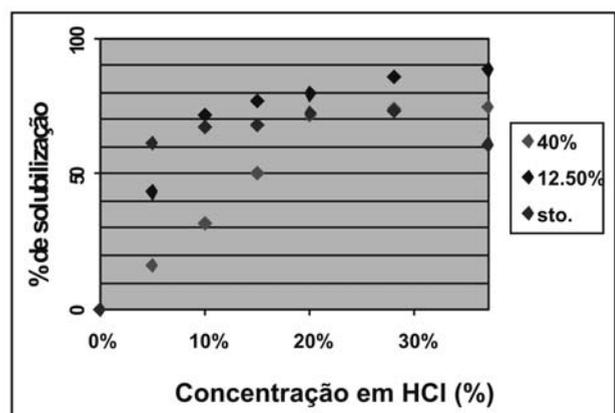
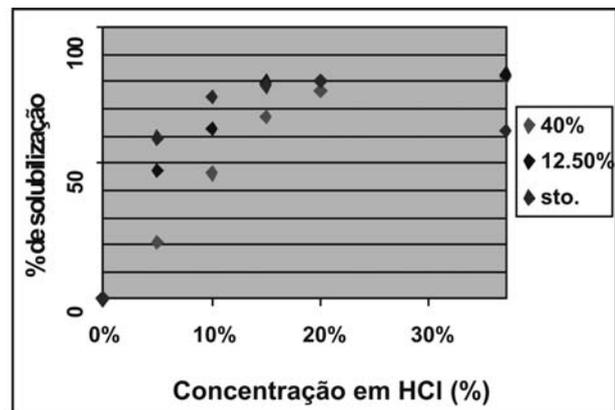
### 2.1. Concentrado

Os testes iniciais foram conduzidos com ácido clorídrico em várias concentrações. Nos primeiros testes, conduzidos com o *shaker*, a duração de reação foi de 5h, e as concentrações em ácido clorídrico, respectivamente, de 37, 20, 15, 10 e 5%. Todas as meias horas, eram retirados 2ml de mistura reativa e filtrados para remover toda a matéria em suspensão antes de ser analisada por ICP/AES para os elementos Ca, P e ETR (elementos de terras-raras). No final da reação, a mistura reativa foi submetida

à centrifugação durante 30min. O líquido obtido foi submetido a uma análise ICP/AES, e o resíduo, lavado com uma quantidade mínima de água desionizada (aproximadamente 5ml), antes de ser secado a 60°C (um dia), moído e analisado por fluorescência e difração de raios X e microscopia eletrônica de varredura MEV/EDS.

#### 2.1.1. Influência da concentração de ácido

As Figuras 2.2 e 2.3 apresentam a evolução da percentagem de solubilização do concentrado fosfatado de Angico dos Dias, em função do tempo de reação escolhido (5 horas), para razões sólido/líquido de 40%, estequiométrica e de 12,50%, com *shaker* (Figura 2.2) e com agitação mecânica (Figura 2.3).



Figuras 2.2 e 2.3 - Influência da razão sólido/líquido e da concentração em ácido clorídrico sobre o processo de dissolução do concentrado fosfatado de Angico dos Dias (1 - shaker, 2 - agitação mecânica). Análises por fluorescência de raios-X.

Ressalta-se, para as razões sólido/líquido de 40% e 12,5% (Figuras 2.2 e 2.3), que (PEREIRA, 2003):

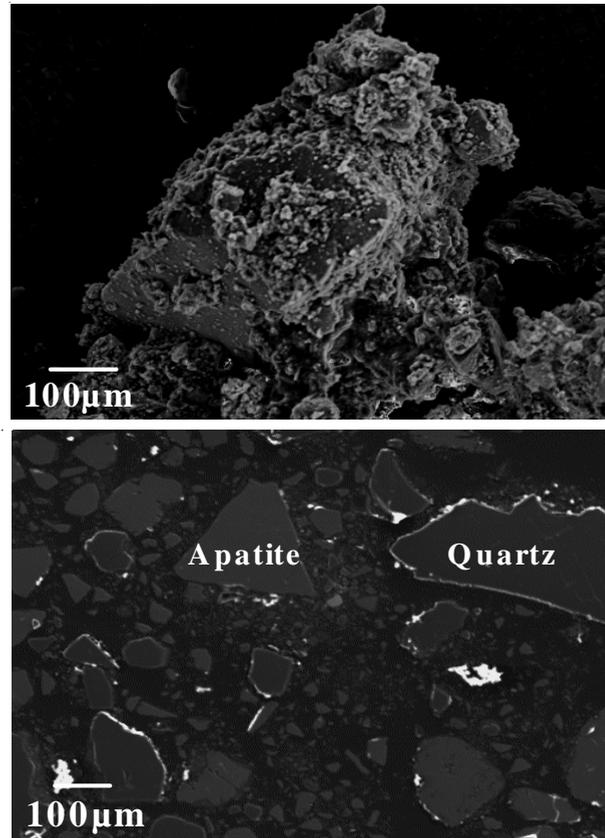
- as duas curvas apresentam sensivelmente o mesmo perfil;
- o processo de dissolução pode ser decomposto em duas fases distintas: (i) uma primeira fase, em que a solubilização aumenta de maneira regular (concentrações baixas de ácido); (ii) uma segunda, em que a solubilização teria tendência a estabilizar-se (concentrações em ácido clorídrico de 20 e de 37%);
- com baixas concentrações de HCl (5 a 10%), a solubilização do concentrado é bem melhor, quando o processo de lixiviação é conduzido nas condições estequiométricas;
- com concentrações em ácido elevadas (20 a 37%), a solubilização do concentrado é melhor para uma razão sólido/líquido inicial de 12,5%;
- quanto mais elevada for a concentração ácida, maior é a solubilização do concentrado;
- quando a lixiviação é conduzida com uma concentração em ácido clorídrico de 37%, a percentagem de solubilização do concentrado é superior a 80%.

Relativamente aos testes realizados em condições estequiométricas, observa-se que as percentagens de solubilização diminuem para concentrações de ácido elevadas (37%). Verifica-se um bloqueio de ataque, devido à capa que se forma na superfície dos grãos (Figuras 2.4 e 2.5) não permitir a infiltração do ácido clorídrico, tornando, assim, a dissolução do concentrado menos efetiva.

Na Figura 2.4, pode-se observar, nos cristais de apatita e de quartzo (cor cinza-escuro), uma bordadura cinza clara a branca, que corresponde ao sal duplo ( $\text{CaClH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ).

Quando a lixiviação é conduzida com ácido clorídrico a 37%, a solubilização de CaO e  $\text{P}_2\text{O}_5$  é inferior àquela que se obtém com HCl menos concentrado. A percolação de HCl a nível de grãos é dificultada pela formação de fosfato dicálcico, o que

torna o material compacto. Verificou-se haver um ligeiro desalinhamento entre as curvas de solubilização de CaO e de  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Há mais CaO que  $\text{P}_2\text{O}_5$  solubilizado, o que sugere cristalização de uma fase fosfatada durante a lixiviação com ácido forte (HCl a 37%). As análises de difração de raios X e MEV parecem comprová-lo.



**Figuras 2.4 e 2.5** - Visão geral das seções de resíduos da lixiviação clorídrica do concentrado fosfatado de Angico dos Dias: Figura 2.4 (não-polida, razão sólido/líquido de 40%, HCl 5%, *shaker*); Figura 2.5 (polida, razão sólido/líquido de 12,5%, HCl 15%, agitação mecânica).

Com uma concentração em ácido clorídrico de 37%, além da presença de quartzo e de fluorapatita, foi detectada a presença predominante de um sal duplo  $\text{CaClH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  (com igual número de íons  $\text{Ca}^{2+}$  quanto de íons  $\text{PO}_4^{3-}$ ), enquanto na fluorapatita, a proporção é de  $10\text{Ca}^{2+}$  para  $6\text{PO}_4^{3-}$ , com a conseqüente menor solubilização de  $\text{PO}_4^{3-}$ , comparada à de CaO. Assim se explica o desalinhamento entre as duas curvas. Com concentrações de HCl inferiores, um sal duplo também está presente, mas

apenas como traço e o desalinamento entre as curvas de solubilização de CaO e de  $P_2O_5$  é menos acentuada.

Em termos de solubilização do concentrado, os ensaios efetuados com o motor de agitação (agitação mecânica) diferem pouco daqueles obtidos com o *shaker*, mas são, de uma forma geral, maiores no primeiro caso.

A razão CaO/ $P_2O_5$  mantém-se constante ao longo da lixiviação. Para um razão sólido/líquido de 40% e com HCl a 15%, obtiveram-se taxas de recuperação próximas de 98%.

### 2.1.2. Influência do tempo de lixiviação

As Figuras 2.6, 2.7, 2.8 e 2.9 permitem avaliar a influência do tempo no processo de lixiviação clorídrica.

A maior parte da apatita é solubilizada na primeira hora (cerca de 88%). Na quarta hora atingem-se

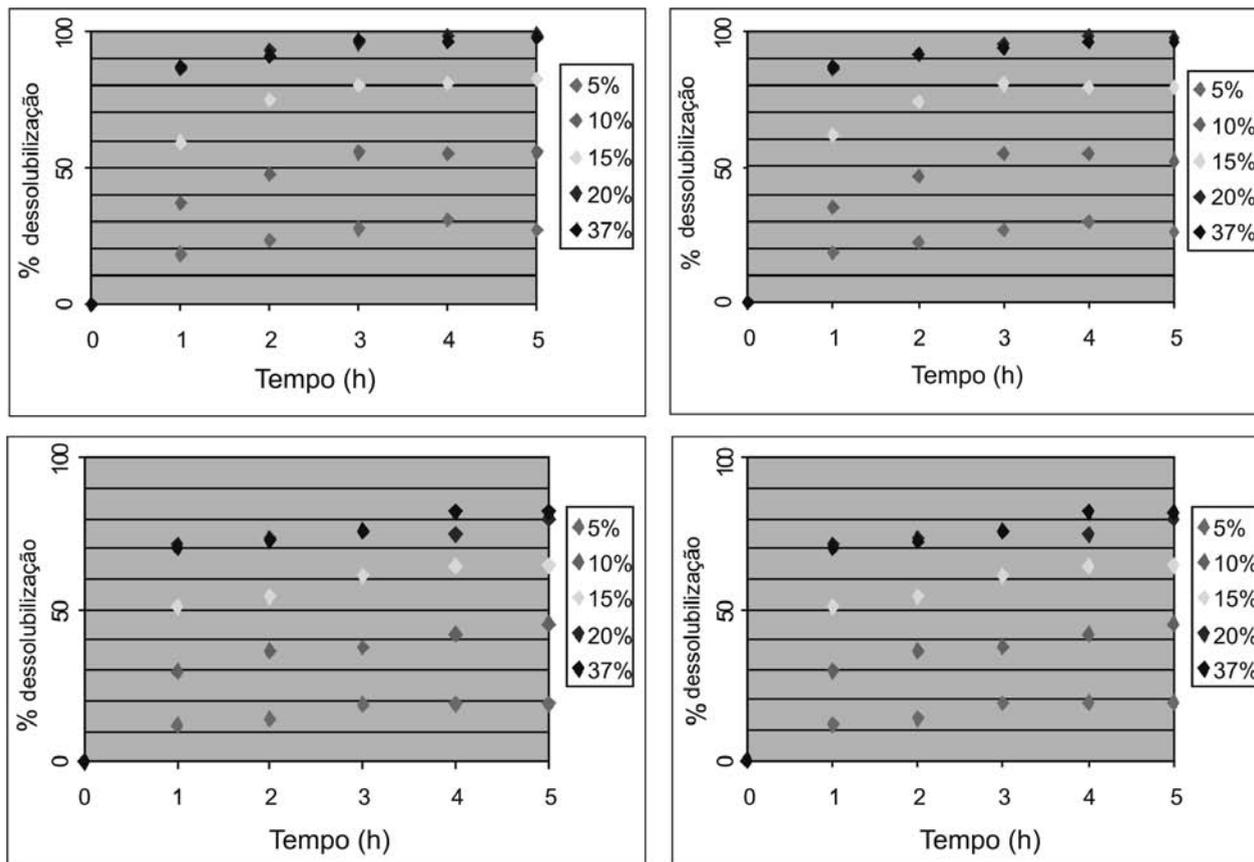
taxas de solubilização superiores a 95%. Os melhores resultados foram obtidos com concentrações de ácido de 20% e 37% (Figuras 2.7 e 2.8).

O perfil das curvas é sensivelmente o mesmo, qualquer que seja a concentração do ácido. Verifica-se um aumento progressivo da solubilização na primeira hora, tendendo a estabilizar-se posteriormente.

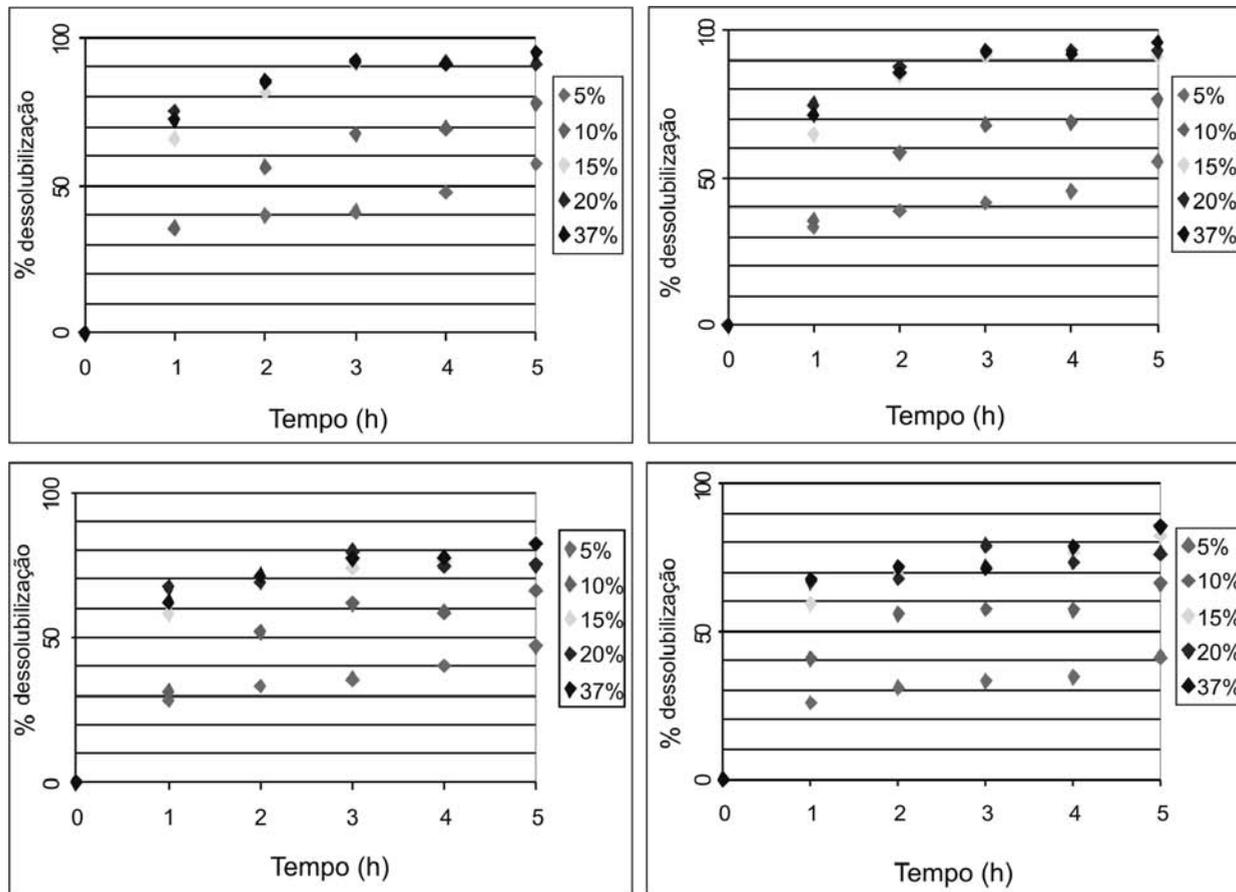
O comportamento da fluorapatita e das terras-raras é semelhante com qualquer concentração: maior intensidade na primeira hora (Figuras 2.8, 2.9, 2.10 e 2.11).

As taxas de solubilização, tanto para a fluorapatita como para as terras-raras, são, geralmente, um pouco mais elevadas para uma razão sólido/líquido de 40%.

Para uma razão sólido/líquido de 12,5%, a lixiviação é mais eficaz quando é conduzida com uma concentração de ácido clorídrico de 15% (Figuras 2.10, 2.11, 2.12 e 2.13).



Figuras 2.6, 2.7, 2.8 e 2.9 - Evolução da percentagem de solubilização de CaO,  $P_2O_5$ ,  $La_2O_3$  e  $Ce_2O_3$  em função do tempo de lixiviação, para uma razão sólido/líquido de 40% (análises ICP/AES, *shaker*).



Figuras 2.10, 2.11, 2.12 e 2.13 - Evolução da porcentagem de solubilização de CaO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub> em função do tempo de lixiviação para uma razão sólido/líquido de 12,5% (análises ICP/AES, *shaker*).

Os óxidos de terras-raras estudados (Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) mostraram comportamento semelhante, embora com taxas de solubilização cerca de 20% menores: máxima, da ordem de 82-83%.

### 2.1.3. Influência da velocidade de agitação

Os ensaios anteriores mostraram que as melhores condições (rendimento versus economia) estavam associadas a uma concentração de HCl de 20% e a uma razão sólido/líquido de 40%.

A agitação desempenha um papel primordial. Sem ela a lixiviação do concentrado mostrou-se inferior a 20%. Dada sua importância, os testes foram desenvolvidos seqüencialmente.

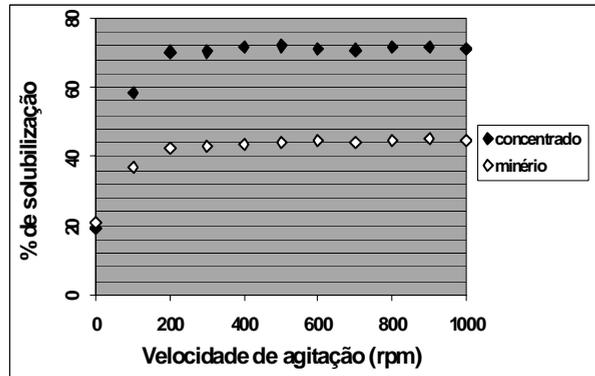
Cem milímetros de ácido clorídrico (HCl Merck, d = 1.19) a 20% foram adicionados a uma quantidade

de concentrado. A mistura foi submetida à agitação mecânica durante 2h.

Foram realizadas onze séries de testes fazendo variar a velocidade de agitação de 0 a 1000rpm, com passos de 100rpm. Todas as meias horas, 2ml de mistura reativa eram retirados e filtrados, para remover toda a matéria residual em suspensão, antes de serem analisados por ICP/AES, com prioridade para os elementos Ca, P e ETR. No final da reação, a mistura reativa foi submetida a uma centrifugação durante 30 minutos. O líquido final foi submetido a análises ICP/AES, e o resíduo foi lavado com uma quantidade mínima de água desionizada (5ml) antes de ser secado a 60°C (1 dia), triturado e analisado por fluorescência e difração de raios-X.

Duas fases aparecem claramente (Figura 2.14):

- uma primeira fase (de 0 a 200rpm), em que a solubilização aumenta de maneira regular;
- uma segunda fase (de 200 a 1000rpm), em que a solubilização do concentrado tende a estabilizar-se.



**Figura 2.14** - Influência da velocidade de agitação no processo de dissolução do concentrado e do minério fosfatado de Angico dos Dias (análises de fluorescência de raios X)

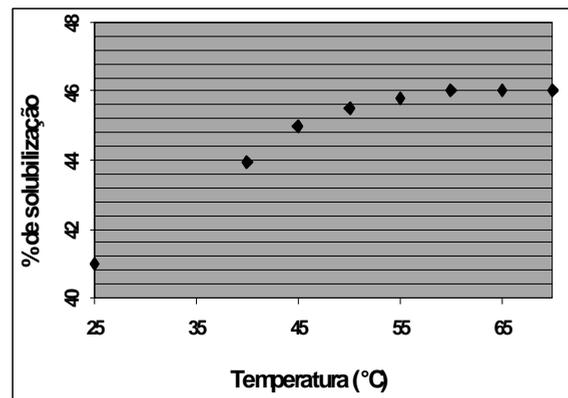
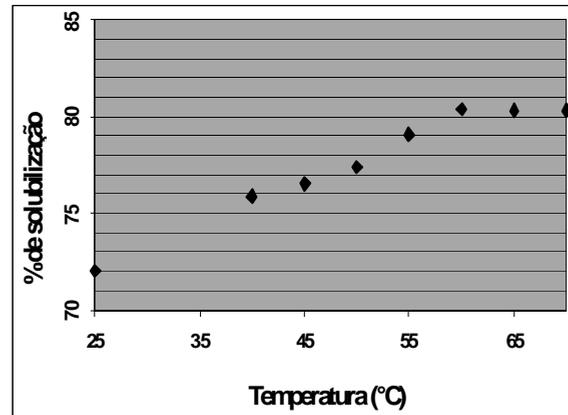
Concluiu-se, assim, que a melhor velocidade de agitação era de 200rpm.

#### 2.1.4. Influência da temperatura

Pelos ensaios desenvolvidos anteriormente, verificou-se que as melhores condições foram as que atenderam a: HCl a 20%, razão sólido/líquido 40% e velocidade de agitação 200rpm, durante duas horas.

Para estudo da influência da temperatura, o conjunto foi colocado numa placa de aquecimento em circuito aberto. Oito séries de testes foram conduzidas: a 25°C, 40°C, 45°C, 50°C, 55°C, 60°C, 65°C e 70°C, com uma duração total de 2 horas (Figuras 2.15 e 2.16). Todas as meias horas, 2ml de mistura eram retirados e filtrados para remover toda matéria em suspensão residual, antes de serem analisados por ICP/AES, prioritariamente para os elementos Ca, P e REE. No final da reação, a mistura reativa era submetida à centrifugação de meia hora. O líquido obtido foi analisado (ICP/AES), e o resíduo lavado com uma quantidade mínima de água desionizada antes de ser secado a 60°C (1

dia), triturado e analisado por fluorescência e difração de raios X.



**Figuras 2.15 e 2.16** - Influência da temperatura no processo de dissolução do concentrado e do minério fosfatado de Angico dos Dias (análises de fluorescência de raios X).

O processo de dissolução do concentrado e do minério pode ser decomposto em duas fases distintas:

- uma primeira fase, de 25°C a 60°C, em que a solubilização aumenta de maneira regular;
- uma segunda fase, além de 60°C, em que a solubilização tem tendência a estabilizar-se.

Se, em escala industrial, o aquecimento não levantasse problemas, principalmente os de corrosão que se associam ao ácido clorídrico, a temperatura ideal de trabalho seria de 60°C.

Os resultados das análises por difração de raios X dos resíduos de lixiviação clorídrica mostraram, no concentrado (Tabela 2.1), uma predominância de quartzo a todas as temperaturas. À temperatura

ambiente, traços de sal duplo ( $\text{CaClH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), de fluorapatita e de zircão foram igualmente detectados. A partir de  $40^\circ\text{C}$ , os traços de zircão desaparecem. A fluorapatita e o sal duplo estão presentes como acessórios. A partir de  $60^\circ\text{C}$ , apenas o quartzo permanece nos resíduos, o que confirma todas as análises efetuadas.

**Tabela 2.1** - Análises dos resíduos de lixiviação clorídrica do concentrado fosfatado de Angico dos Dias a temperaturas diferentes, por difração de raios X (em vermelho, compostos cristalinos predominantes).

Temperatura ( $^\circ\text{C}$ )	Concentrado
25	$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$ , $\text{SiO}_2$ , $\text{ZrO}_2$ , $\text{CaClH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
40	$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$ , $\text{SiO}_2$ , $\text{CaClH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
45	$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$ , $\text{SiO}_2$ , $\text{CaClH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
50	$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$ , $\text{SiO}_2$ , $\text{CaClH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
55	$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$ , $\text{SiO}_2$ , $\text{CaClH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
60	$\text{SiO}_2$
65	$\text{SiO}_2$
70	$\text{SiO}_2$

No caso do minério, à temperatura ambiente, as análises de difração de raios X dos resíduos de lixiviação mostraram, além da predominância de quartzo, a presença como componentes secundários, de zircão, de fluorapatita, de um sal duplo ( $\text{CaClH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) e de clorofosfato de cálcio com terras-raras. Este último composto, com o aumento da temperatura, desaparece totalmente. A partir de  $60^\circ\text{C}$ , praticamente só o quartzo permanece nos resíduos. O sal duplo é apenas acessório.

## 2.2. Minério

Foram repetidos, para o minério, os ensaios feitos com o concentrado. Optou-se por repeti-los, porque o minério apatítico de Angico dos Dias, formado por enriquecimento supergênico, apresenta percentagem muito baixa de carbonatos, portanto, boas condições de lixiviação direta.

Querendo-se produzir ácido fosfórico em Angico dos Dias, um produto mais nobre do que o concentrado atualmente produzido, deve ser estudada a hipótese de lixiviação direta em pilhas ou tan-

ques. Seria talvez a solução mais econômica. Dada a escassez de água na região, os custos e dificuldades da flotação e a grande perda de minério na separação magnética a seco, esse caminho deverá ser considerado com toda a atenção.

Reproduzindo-se as mesmas condições que foram seguidas no estudo do concentrado, verificou-se que, no caso do minério, as taxas de solubilização eram, em média, 20% menores em relação ao concentrado, devido à maior presença de compostos insolúveis, principalmente quartzo.

Os ensaios realizados com minério mostraram que as taxas de solubilização mais elevadas foram obtidas com HCl a 37%. No entanto, não diferem muito quando se recorre ao ácido a 20 ou 28% e uma razão sólido/líquido de 12,5%.

Note-se, contudo, que esta razão, embora permita a melhor recuperação em relação ao minério como um todo, o mesmo não se pode dizer em relação a alguns de seus constituintes como  $\text{CaO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  e  $\text{TR}_2\text{O}_3$ . Neste caso a melhor solubilidade verifica-se quando a razão sólido/líquido é de 40% associada a concentrações de HCl iguais ou superiores a 20%. Assim se atingem taxas de solubilização de 85% para  $\text{P}_2\text{O}_5$  e de 70% para  $\text{TR}_2\text{O}_3$ .

Quanto à agitação mecânica, verificou-se que a mais efetiva era a de 200rpm, a mesma do concentrado.

**Tabela 2.2** - Análises dos resíduos de lixiviação clorídrica do minério fosfatado de Angico dos Dias a diferentes temperaturas, por difração de raios-X.

Temperatura	Minério (Brasil)
$25^\circ\text{C}$	$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$ , $\text{SiO}_2$ , $\text{ZrO}_2$ , $\text{CaClH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , $(\text{REE})_2\text{PCL}$
$40^\circ\text{C}$	$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$ , $\text{SiO}_2$ , $\text{CaClH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
$45^\circ\text{C}$	$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$ , $\text{SiO}_2$ , $\text{CaClH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
$50^\circ\text{C}$	$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$ , $\text{SiO}_2$ , $\text{CaClH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
$55^\circ\text{C}$	$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$ , $\text{SiO}_2$ , $\text{CaClH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
$60^\circ\text{C}$	$\text{SiO}_2$ , $\text{CaClH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
$65^\circ\text{C}$	$\text{SiO}_2$ , $\text{CaClH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
$70^\circ\text{C}$	$\text{SiO}_2$ , $\text{CaClH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$

Em relação ao fator temperatura, chegou-se à conclusão que a taxa de solubilização do minério era apenas 5% menor, quando se operava à temperatura ambiente, do que a temperaturas de 60°C ou mais.

Quanto à solubilização dos seus constituintes, pode-se repetir o mesmo que foi dito para o concentrado.

### 3. Considerações finais

Ressalta-se do estudo desenvolvido que o ataque clorídrico de uma rocha fosfatada apatítica, qualquer que seja sua origem, é rápida e quase total.

Em relação ao concentrado de Angico dos Dias, concluiu-se que a dissolução é máxima quando resulta de uma lixiviação que atenda aos seguintes parâmetros/condições:

- concentração de ácido clorídrico: 20%;
- razão sólido/líquido: 40%;
- velocidade de agitação 200rpm;
- temperatura: 40°C;
- tempo: 2 horas.

No caso do concentrado de Angico dos Dias atingiu-se, nas condições referidas, taxas de solubilização superiores a 95% para CaO e  $P_2O_5$  e de cerca de 80% para  $TR_2O_3$ . Análises de difração de raios X do resíduo apenas detectaram traços do sal duplo  $CaClH_2PO_4 \cdot H_2O$ .

No caso do minério, nas mesmas condições, as taxas de solubilização foram, em média, 20% inferiores.

A composição química do lixiviado resultante do ataque clorídrico do concentrado, em g/l, é a seguinte:  $P_2O_5 \Rightarrow 116$ ; CaO  $\Rightarrow 151,5$ ;  $TR_2O_3 \Rightarrow 2,95$ ; F  $\Rightarrow 8,8$ .

A maior parte dos compostos fluorados (exatamente 67,3%) inicialmente presentes na rocha fosfática (cerca de 6,69% no concentrado) permanecem, principalmente, no resíduo insolúvel, ou se volatilizam, durante a reação, sob a forma HF e de  $SiF_4$ . Os restantes 32,7% ficam no lixiviado clorídrico.

Logo na primeira hora de lixiviação, e com HCl a 20%, conseguem-se taxas de solubilização elevadas.

## II. Extração do ácido fosfórico e recuperação das terras-raras

A rota clorídrica pode apresentar-se como uma alternativa interessante à tradicional rota sulfúrica, graças à recuperação de subprodutos de bom valor comercial como, por exemplo, as terras-raras.

Aborda-se a recuperação das terras-raras no contexto da produção de ácido fosfórico a partir do minério fosfático de Angico dos Dias, utilizando como agente lixiviante o ácido clorídrico.

Existem vários processos de purificação do ácido fosfórico. O mais seguido é o que recorre à extração líquido-líquido.

Os principais componentes do lixiviado, que incluem o ácido fosfórico bruto, apresentam o seguinte comportamento qualitativo em relação ao extratante orgânico:

- extraídos facilmente -  $H_3PO_4$ ,  $H_3AsO_3$ ;
- extraídos com maior ou menor dificuldade (considerando-se a natureza do solvente utilizado) -  $H_2SO_4$ , HF,  $H_2SiF_6$ ;
- extraídos muito fracamente -  $Al^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $UO_2^{2+}$  etc.

No processo industrial de purificação por extração líquido-líquido, em função da sua miscibilidade com a água, distinguem-se duas classes de solventes moleculares:

- solventes relativamente miscíveis com a água: álcoois ligeiros, tais como butanol, isobutanol e isopropanol;
- solventes cuja solubilidade na água é muita reduzida, por exemplo, tributílofosfato TBP ( $C_4H_9O_3$ )<sub>2</sub>PO, que se utilizou no processo.

Os lixiviados foram obtidos à temperatura ambiente. Os outros parâmetros operacionais foram: C (concentração) = 20%; R (razão sólido/líquido) = 40%; t (tempo) = 2h; V (velocidade de agitação) = 200rpm.

Os testes de extração líquido-líquido, conduzidos com tributilfosfato, após desfluorização do lixiviado, permitiram uma boa separação  $\text{CaCl}_2 - \text{H}_3\text{PO}_4$ , permanecendo os lantanídeos essencialmente na fase aquosa. Quando a extração é feita com três andares, a maior parte dos fosfatos fica no extrato orgânico, enquanto mais de 90% do cloreto de cálcio fica no refinado.

Os testes de purificação do ácido fosfórico foram realizados em lixiviados resultantes do ataque clorídrico do concentrado. A composição do lixiviado nos seus constituintes maiores, Ca, P e F, é apresentada na Tabela 1.1.

**Tabela 1.1** – Composição química do lixiviado resultante do ataque clorídrico do concentrado fosfático de Angico dos Dias.

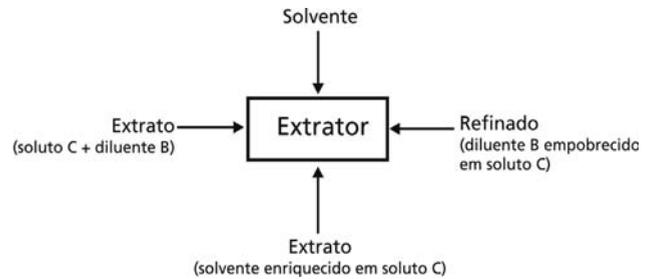
Componentes	Composição (g/l)
$\text{P}_2\text{O}_5$	116
CaO	151,5
$\text{TR}_2\text{O}_3$	2,95
F	8,8

A maior parte dos compostos fluorados presentes na rocha fosfatada (67,3%) e no concentrado (6,69%) ou ficam no resíduo insolúvel ou volatilizam-se durante a reação, na forma de HF e de  $\text{SiF}_4$ . Os 32,7% restantes encontram-se no lixiviado clorídrico.

Após o ataque da rocha fosfatada por um ácido forte, a solução de ácido fosfórico industrial contém impurezas (fluoretos, radionuclídeos, terras raras, metais pesados etc.) que devem ser eliminadas para se obter ácido fosfórico com grau de pureza elevado. Existem muitos processos de purificação do ácido fosfórico. O mais seguido é o que recorre à extração líquido-líquido.

## 1. Características gerais da extração líquido-líquido

A extração líquido-líquido consiste em fazer passar um corpo de uma fase líquida (em geral, aquosa) a uma outra fase (denominada solvente) geralmente pouco miscível com a primeira (Figura 1.1).



**Figura 1.1** - Princípio da extração líquido-líquido (C - constituinte a extrair dissolvido no diluente; B - solvente inicial do soluto).

Geralmente, põe-se em contato a solução de alimentação, contendo os constituintes a serem separados (solutos), com um solvente, que extrai preferencialmente um ou vários solutos. O solvente, que contém o(s) soluto(s), é designado por extrato orgânico; a solução de alimentação, tendo perdido a maior parte destes mesmos constituintes, é denominada refinado. O solvente de alimentação é o líquido que permite extrair o soluto da solução. Por isso, o solvente não deve ser miscível (ou pouco) em relação ao diluente e de massa/volume diferente, para permitir uma decantação rápida. O refinado é a fase aquosa empobrecida, que corresponde à solução residual da extração, isto é, àquela que contém a maior quantidade de diluente (refinado = fase empobrecida em soluto). O extrato é a fase líquida que contém o soluto extraído pelo solvente (extrato = fase enriquecida em soluto).

A extração líquido-líquido desenrola-se em três fases:

- a extração, propriamente, é alcançada pelo contato entre o solvente e a solução a extrair em misturadores (por exemplo, funil de decantação, misturador rotativo), colunas (de enchimento, de pratos agitados ou pulsados) ou decantadores centrífugos. Durante esta operação, o contato deve ser suficientemente prolongado, de forma que o soluto possa atravessar a interface e passar do diluente ao solvente até a obtenção da concentração de equilíbrio;
- a separação é alcançada por decantação das duas fases em decantadores gravimétricos ou

centrífugas (para ativar a separação). A decantação é muito mais rápida quando as fases não são miscíveis e de densidades diferentes. Esta separação pode ser influenciada pela temperatura;

- a recuperação do soluto do solvente de extração se dá por operações, tais como evaporação, destilação ou ainda cristalização.

Embora o princípio da extração líquido-líquido pareça simples, a sua implementação permanece bastante complexa. É necessário escolher sucessivamente o soluto, o sistema líquido-líquido, o processo e finalmente o aparelho que dará os melhores resultados.

### 1.1. Tipos de extração e balanço de massa

Vários tipos de extração podem ser usados de acordo com a natureza das espécies em presença e a finalidade da operação. Estes métodos podem ser postos em prática, tanto em modo contínuo como descontínuo.

#### 1.1.1. Extração em um andar

Uma operação de extração consiste numa mistura de solvente e de solução de alimentação, seguida por uma decantação, a fim de assegurar a separação da dispersão em fases discretas. Tal operação é chamada extração em um andar. É o método de extração mais simples e é, sobretudo, utilizado em modo descontínuo em laboratório (funil de decantação) e, muito mais raramente, na indústria. Em prática, a extração líquido-líquido é ordinariamente conduzida sobre vários andares (extração sobre vários andares).

#### 1.1.2. Extração contínua em vários andares

Toda extração de soluto com um andar só é realmente eficiente quando se usa enormes quantidades de solvente. É por isso que uma extração contínua com vários andares é geralmente a mais comum. Esta última pode ser realizada por uma extração à co-corrente (as soluções de alimentação aquosas e orgânicas flutuam na mesma direção) ou à contracorrente (as soluções de alimentação

aquosas e orgânicas flutuam nas direções opostas). Em metalurgia, por exemplo, só a extração a contracorrente é industrialmente usada. Ela permite uma recuperação total do soluto e utiliza, simultaneamente, o extratante de forma eficaz.

Durante uma extração em contracorrente, o balanço de massa é o seguinte:

$$Oy_2 + Ax_0 = Oy_1 + Ax_1 \quad (1) \quad (\text{para o primeiro andar}).$$

$$Oy_{n+1} + Ax_{n-1} = Oy_n + Ax_n \quad (2) \quad (\text{para os } n \text{ andares seguintes}).$$

Os volumes de fluxos aquosos e orgânicos são designados, respectivamente, por A e O; as concentrações em espécies extraíveis são, respectivamente, x e y para as fases aquosas e orgânicas (Figura 1.2).

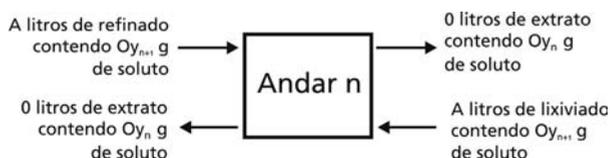


Figura 1.2 - Fluxos de entradas e de saídas de um circuito de extração em contracorrente com  $n$  andares.

O balanço de massa para os  $n$  andares é:

$$Ax_0 + Oy_{n+1} = Ax_n + Oy_1 \quad (3)$$

ou seja:

$$y_{n+1} = (A/O)(x_n - x_0) + y_1 \quad (4)$$

Na Equação 4, equação de uma reta, pode-se notar que a composição do fluxo orgânico que entra nos  $n$  andares é uma função linear da composição do fluxo aquoso que deixa estes mesmos  $n$  andares. A reta representada pela Equação 4 é chamada 'Reta de Operação', no diagrama de Mac Cabe e Thiele.

### 1.2. Extração líquido-líquido na indústria

A extração industrial é acompanhada, freqüentemente, de uma das seguintes operações: uma operação seletiva ou uma separação das matérias-primas diluídas. A necessidade econômica de uma boa eficiência conduz a só se considerar os sistemas contínuos.

### 1.2.1. Escolha de um sistema de extração líquido-líquido

A extração líquido-líquido pode dividir-se em duas fases:

- extração do solvente com um solvente contendo o agente ativo da separação;
- recuperação dos constituintes do extrato (solvente e soluto puros), que pode ser feita por uma nova extração líquido-líquido, por cristalização, precipitação ou complexação química.

Para um bom processo industrial, necessita-se de uma instalação econômica, segura, compacta e eficiente que possa assegurar a separação com excelente seletividade e cinética rápida a temperaturas e pressões vizinhas das condições ambientais.

A escolha do solvente é primordial e muito complexa. Realmente, ele tem que satisfazer condições diferentes: ter capacidade de extração forte, seletividade grande, características físico-químicas permitindo uma recuperação fácil do soluto e do solvente, solubilidade desprezível no refinado e ser quimicamente estável. Um solvente dissolve bem um composto que se assemelha a ele. Os solventes polares e dissociantes, como a água, dissolvem os compostos iônicos e/ou polares hidrófilos. Os solventes apolares e pouco dissociantes dissolvem as moléculas e os compostos hidrofóbicos (hidrocarbonetos). Os solventes que apresentam um momento dipolar permanente são definidos por solventes dipolares por oposição aos solventes apolares, que não possuem momentos elétricos. O caráter hidrófilo ou hidrofóbico se sobrepõe bastante bem à polaridade. Os solventes mais polares também são os mais hidrófilos.

De acordo com as interações específicas com o soluto, pode-se também classificar os solventes em:

- solventes protícos: água, amônio, álcoois, fenóis, ácidos;
- solventes aprotícos dipolares: cetonas, derivados nitrados, nitrilos;

- solventes aprotícos apolares: hidrocarbonetos e derivados halogenados.

Estas classificações não são rigorosas. A natureza do soluto também intervém muito. Assim, o ácido stearico apresenta não só um caráter polar mas também um caráter apolar.

### 1.2.2. Definição do processo

Sendo escolhidos o soluto e seu sistema líquido-líquido, a realização de uma instalação requer a determinação de um diagrama de processo. Este aqui define as condições operativas: fluxos de entrada e de saída, como também os débitos de composição (equilíbrio de massa). Ele é estabelecido a partir dos dados seguintes:

- número de andares necessários às separações para cada etapa do processo;
- razão das fases em cada contator;
- as performances das separações caracterizadas: pelo teor em soluto do refinado, pelo teor em soluto do extrato antes e após lavagem eventual a refluxo e pelos coeficientes de separação dos solutos (notavelmente, das impurezas do principal composto a tratar).

### 1.2.3. Classificação de extratores líquido-líquido

Distinguem-se três classes de aparelhos de extração líquido-líquido:

- misturadores decantadores, constituídos de uma câmara de mistura, seguida de uma câmara de decantação. As principais vantagens são eficiência elevada, extrapolação segura e flexibilidade grande. As inconveniências principais são o custo por andar, tempo de permanência e tamanho da instalação;
- extratores de colunas nos quais a circulação resulta da diferença de densidade entre a fase pesada (introduzida no alto de coluna) e a fase baixa (introduzida abaixo de coluna);
- extratores centrífugos que podem ser dois tipos: i) de andares (misturador e decantador são reagrupados); ii) diferenciais contínuos (as

fases circulam em sentido inverso em enchi-mentos variados).

#### 1.2.4. Escolha de um extrator líquido-líquido

A determinação do agente de contato ótimo é um problema complexo. Realmente, esta escolha tem que levar em conta:

- os constrangimentos ligados às propriedades físicas do sistema: massa volúmica, viscosidade, tensão interfacial etc.;
- os constrangimentos ligados à termodinâmica de transferência: débito e concentração das fases;
- os constrangimentos ligados à cinética de transferência: tempo de permanência das fases, áreas interfaciais de contato;
- os constrangimentos industriais: de concepção (fiabilidade de extrapolação), de construção (viabilidade dos aparelhos), econômicos (custo de imobilização, de exploração e de manutenção), de operação (facilidade de operação e de manutenção, flexibilidade e poder de adaptação às variações comerciais).

### 1.3. Parâmetros definidores

São considerados oito parâmetros que passam a definir-se.

#### 1.3.1. Solvente

Na extração por solvente (mais comumente, extração líquido-líquido), o termo solvente é freqüentemente usado, mas, às vezes, com sentidos diferentes. O solvente é um líquido orgânico ou inorgânico capaz de dissolver matéria (senso físico-químico). A matéria dissolvida é chamada soluto seja ela orgânica, inorgânica ou metallo-orgânica. Usado em hidrometalurgia, o termo solvente indica um líquido com que a solução de alimentação entra em contato.

#### 1.3.2. Extratante

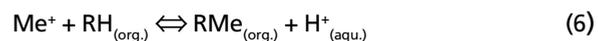
Habitualmente, o termo extratante implica uma solução orgânica ativa, dissolvida num solvente inerte, este último não sendo incluído em reações

químicas que causam uma transferência de massa. Tais compostos são designados por diluentes ou *carriers*. Por exemplo, o extratante tributil-fosfato é ordinariamente usado diluído numa solução de querosene ou de hexano. Porém, uma substância não diluída usada na hora da extração líquido-líquido pode ser propriamente designada como um solvente, ou como um extratante. Os termos orgânico, solvente e extratante são freqüentemente intercambiáveis na descrição da fase orgânica.

#### 1.3.3. Constantes de equilíbrio

As aplicações comerciais da extração líquido-líquido incluem, habitualmente, fases não miscíveis (variações de volumes causadas por transferências de massa da fase aquosa à fase orgânica e vice-versa).

A representação matemática da extração líquido-líquido está baseada em sistemas de constituintes não miscíveis, que não conduzem a mudanças significativas ao nível dos volumes.



Em (5) e (6), Me designa um íon metálico; X, um ânion; RH, um ácido orgânico que funciona como um extratante orgânico e S, uma molécula de um solvente orgânico.

$$K = \frac{[\text{MeXS}_n]}{([\text{MeX}][\text{S}]^n)} * F \quad (7)$$

$$K = \frac{[\text{MeR}][\text{H}^+]}{[\text{Me}^+][\text{HR}]} * F \quad (8)$$

com K - constante de equilíbrio e F - razão de coeficientes de atividades molares.

A Equação 8 também pode ser escrita de uma outra forma (Equação 9), na qual  $E_o^a$  está definido como coeficiente de extração (ou coeficiente de distribuição).

$$E_o^a = \frac{[\text{HR}]/[\text{H}^+]}{[\text{Me}^+]} * K * F^{-1} = \frac{[\text{Me}]_{\text{org.}}}{[\text{Me}]_{\text{aqu.}}} \quad (9)$$

#### 1.3.4. Stripping

O *stripping* é uma etapa do processo de extração líquido-líquido durante a qual uma determinada substância é obtida de forma purificada e

enriquecida e, simultaneamente, com preparação do solvente para ser reutilizado. Entre as reações químicas do *stripping*, pode-se ter:

- alteração do mecanismo de extração líquido-líquido;
- neutralização do extratante, que é freqüentemente um ácido ou uma base forte;
- redução ou uma oxidação de um elemento das espécies extraídas, fabricando, desta forma, espécies pouco solúveis na fase orgânica.

Os sinônimos de *stripping* são *back extraction*, *back wash* ou, ainda, *reextração*.



B: agente do *stripping*.

A expressão do equilíbrio (10) pode assim ser escrita:

$$S_a^\circ = K(B)/(R)F = [\text{Me}]_{\text{aqu.}}/[\text{Me}]_{\text{org.}} \quad (11)$$

$S_a^\circ$ : coeficiente de *stripping*.

### 1.3.5. Percentagem de extração

A transferência de um soluto de uma fase aquosa para uma fase orgânica é freqüentemente expressa quantitativamente em termos de porcentagem do extrato. O coeficiente de extração  $E_a^\circ$  e a porcentagem de extração são intimamente ligados como o mostra a Equação 12.

$$\% \text{ de extração} = 100/(1+(V_a/(E_a^\circ \cdot V_o))) \quad (12)$$

$V_a$  e  $V_o$  são, respectivamente, os volumes das soluções de alimentação aquosas e orgânicas.

### 1.3.6. Seletividade

Saber se a extração líquido-líquido pode ou não ser adaptada a uma aplicação específica depende ordinariamente da capacidade dos reagentes de separar uma substância de uma outra ou de várias outras nas operações de extração e de *stripping*. A seletividade de um extratante é expressa pelos fatores de separação  $b$ , que são derivados dos coeficientes de extração de duas substâncias A e B.

$$\beta = E_a^\circ(A)/E_b^\circ(B) \quad (13)$$

A seletividade pode ser melhorada por uma escolha judiciosa de parâmetros operativos, particularmente: a concentração em extratante, a temperatura, a alcalinidade ou a acidez das soluções de alimentação, o tempo de permanência, o potencial redox, a concentração em soluto no solvente e, eventualmente, outros.

### 1.3.7. Isotérmica de distribuição

Uma isotérmica de distribuição é um diagrama de equilíbrio a uma dada temperatura. A concentração das espécies extraídas é expressa em função da concentração destas mesmas espécies no refinado (convide aos processos de extração como também as operações de *stripping*) (Figura 1.3).

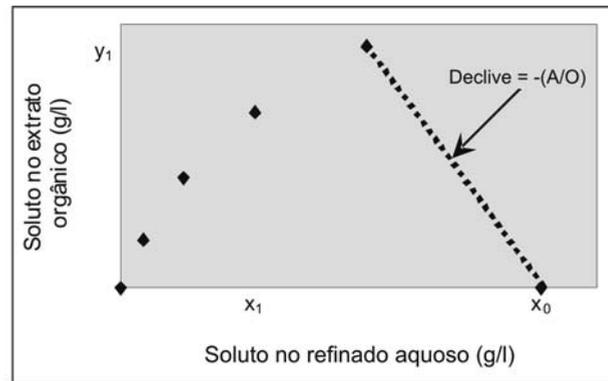


Figura 1.3 - Construção de uma isotérmica de extração (extração em contracorrente).

Considere-se A litros de uma solução de alimentação contendo  $x_0$  g/l de soluto em contato com O litros de solvente. Quando se atinge o equilíbrio, o refinado contém  $x_1$  g/l de soluto e o extrato orgânico  $y_1$  g/l.

O balanço de massa pode ser assim expresso:

$$Ax_0 = Ax_1 + Oy_1 \quad (14)$$

$$\text{com } A = (Ax_1 + Oy_1)/x_0 \quad (15)$$

$$\text{com } (A/O) = y_1/(x_1 - x_0) \quad (16)$$

### 1.3.8. Diagrama de Mac Cabe e Thiele

Um diagrama de Mac Cabe e Thiele (Figura 1.4) serve para estimar o número de andares teóricos requeridos para se obter resultados satisfatórios durante uma operação de extração líquido-líquido.

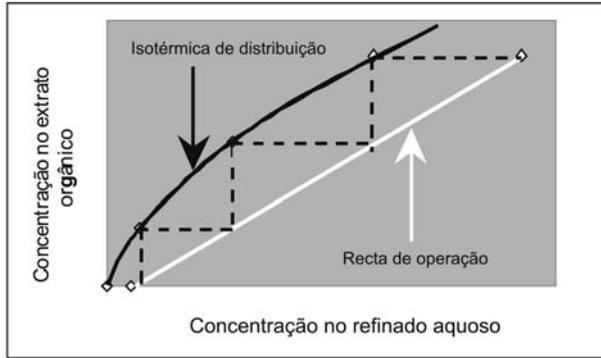


Figura 1.4 - Diagrama de Mac Cabe e Thiele.

## 2. Extração do ácido fosfórico no lixiviado clorídrico

No caso do ácido fosfórico, o solvente ideal teria que ter capacidade de extrair todas as impurezas contidas no ácido bruto, sem extrair este último. Considerando-se a diversidade dos elementos presentes e seus comportamentos químicos, um solvente com estas características não existe. É possível, quando muito, extrair-se uma família de elementos vizinhos. É assim que a *Occidental Petroleum* extrai eficazmente  $Mg^{2+}$ , mas muito pobremente as outras impurezas, mesmo sendo de natureza catiônica.

Atualmente, em todos os processos industrializados (Prayon, Rhône-Poulenc etc) realiza-se a extração do ácido fosfórico partindo-se do princípio de que as impurezas permaneçam na fase aquosa. O agente de extração utilizado é do tipo solvatante ou molecular, isto é, que extrai o ácido fosfórico preferencialmente em relação às impurezas de tipo catiônico ( $Fe^{3+}$ ,  $Al^{3+}$ ,  $Cr^{2+}$  etc.) ou de tipo aniônico ( $SO_4^{2-}$ ,  $SiF_6^{2-}$  etc.).

Os principais componentes do lixiviado com ácido fosfórico bruto têm, geralmente, em relação ao extratante de tipo molecular, o seguinte comportamento qualificativo.

- extraídos preferencialmente:  $H_3PO_4$ ,  $H_3AsO_3$ ;
- extraídos com maior ou menor facilidade, dependendo do tipo do solvente utilizado:  $H_2SO_4$ ,  $HF$ ,  $H_2SiF_6$ ;

- muito fracamente extraídos:  $Al^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $UO_2^{2+}$  etc.

No processo industrial de extração líquido-líquido, distinguem-se duas classes de solventes moleculares em função da sua miscibilidade com a água:

- solventes relativamente miscíveis com a água, tais como os álcoois ligeiros (butanol, isobutanol, isopropanol etc.);
- solventes cuja solubilidade na água é muita reduzida, como, por exemplo o tributíil-fosfato TBP -  $(C_4H_9O)_3PO$  - que foi o utilizado neste estudo.

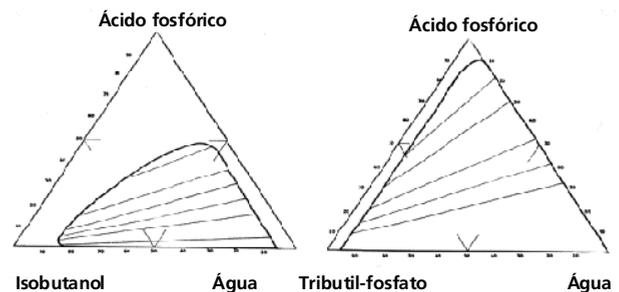
Segue-se a descrição da metodologia utilizada e descrevem-se as características do processo com utilização de TBP. Habashi (1987) já havia seguido este caminho para separar cloreto de cálcio e ácido fosfórico após ataque clorídrico de um concentrado de origem sedimentar.

### 2.1. Propriedades extrativas do tributíil-fosfato e do isobutanol

O mecanismo de extração de  $H_3PO_4$  por extratantes como o TBP ou o isobutanol pode ser representado, de maneira simplificada, pela equação:



sendo  $S$  tributíil-fosfato (TBP) ou isobutanol. As espécies com sobrelinha estão presentes na fase orgânica (Figura 2.1).



Fonte: Fitoussi e Helgorsky, 1982.

Figura 2.1 - Diagramas de equilíbrio a 25°C dos sistemas  $H_3PO_4$ - $H_2O$ -TBP e  $H_3PO_4$ - $H_2O$  - isobutanol.

Antes de abordarmos as propriedades extratantes destes dois solventes, relembram-se algumas das suas características físico-químicas (Tabela 2.1).

**Tabela 2.1** - Características do tributil-fosfato e do isobutanol.

	Tributil-fosfato	Isobutanol
Fórmula	(C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> O) <sub>3</sub> PO	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O
Densidade	0,973	0,8032
Temperatura de ebulição (°C)	289	107,9
Viscosidade (20°C)	3,32	3,91
Tensão superficial (dyne/cm)	26,7	22,8

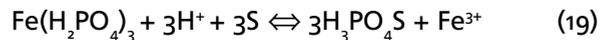
O tributil-fosfato possui uma zona de miscibilidade total muito reduzida: é muito pouco solúvel na água (0,1 a 0,3%), mas, por outro lado, extrai de 4 a 6% de água. O tributil-fosfato possui a desvantagem de ser denso e viscoso. É, então, necessário diluí-lo ou operá-lo à quente para se obter boas propriedades hidrodinâmicas. A zona de miscibilidade total do isobutanol é importante, o que pode limitar sua utilização para a extração de soluções concentradas de ácido fosfórico (superior a 50%). Sua solubilidade na fase aquosa é importante (5 a 7%). Será necessário recuperá-lo por destilação.

A presença de várias impurezas nos lixiviados pode modificar as propriedades extratoras do tributil-fosfato para o ácido fosfórico. É o caso dos cátions metálicos (especialmente Fe<sup>3+</sup> e Al<sup>3+</sup>), que complexam, mais ou menos fortemente, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, mas igualmente HF e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e diminuem, por isso, os coeficientes de repartição. Para as soluções provenientes de minérios muito impuros, especialmente em Fe<sup>3+</sup> e Al<sup>3+</sup>, o coeficiente de repartição é praticamente nulo ao nível das baixas concentrações em H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>. A extração pelo TBP só poderá ser significativa se forem aumentados os coeficientes de repartição. Uma das soluções seria (HELGORSKY e FITOUSSI, 1982) a introdução de um ácido mais forte que H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, parcialmente dissociado em solução aquosa, que permitiria deslocar o equilíbrio

da reação no sentido da formação do ácido fosfórico:



Nos lixiviados, em que o ácido fosfórico é complexado por íons metálicos, a introdução de um ácido mais forte que H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> permite dissociar os fosfatos complexos e liberar, assim, uma parte de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>.



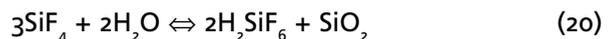
## 2.2. Separação dos compostos fluorados

A maioria das impurezas presentes nas soluções industriais de ácido fosfórico é separada durante a extração líquido-líquido. Porém, algumas têm que ser eliminadas, seja antes, seja depois, como é, muito especialmente, o caso dos compostos fluorados.

O flúor (3 a 4%, em média, da rocha fosfatada) está presente no ácido fosfórico industrial sob a forma de ácido fluorídrico (HF) e fluossilício (H<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub>). Encontram-se em teores relativamente elevados, conforme a origem da apatita e, eventualmente, dos tratamentos preliminares do ácido.

Durante a produção de ácido fosfórico pela rota sulfúrica, sabe-se que 20% do flúor, inicialmente presente na rocha, se volatiliza como HF e SiF<sub>4</sub>, 15% permanece no ácido e 65% fica retido no fosfogesso.

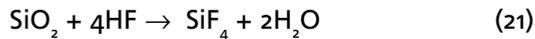
Os compostos fluorados são, geralmente, recuperados, no processo industrial, por lavagem dos gases.



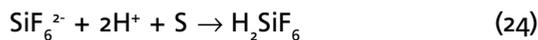
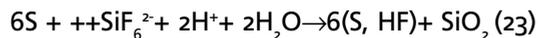
O flúor permanece no ácido, mas sua presença é indesejável por várias razões:

- quando o ácido é concentrado por evaporação podem surgir problemas de corrosão (precipitação dos compostos fluorados nas paredes do evaporador);
- contaminação do fertilizante, sendo que presença indesejável nos solos;
- teores de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> mais baixos no ácido fosfórico.

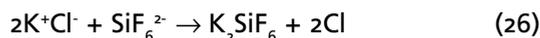
- Por isso, o flúor tem que ser eliminado numa operação designada desfluoração. Diferentes processos são descritos na literatura.
- Eliminação dos ácidos fluorados por evaporação (método mais utilizado).
- Adição de uma sílica gel e aquecimento no vácuo (nestas condições, forma-se  $\text{SiF}_4$  que se volatiliza).



- Extração do ácido fosfórico pelo tributilfosfato, isobutil-álcool ou por uma mistura destes dois solventes. Nestas condições, os ácidos fluorados são parcialmente extraídos. O comportamento de HF e de  $\text{H}_2\text{SiF}_6$  durante a extração do ácido fosfórico é complexo e dificilmente modelada. É provável que os cátions metálicos limitem sua extração, complexando os íons fluorados. Helgorsky e Fitoussi (1982) descrevem as seguintes reações hipotéticas:

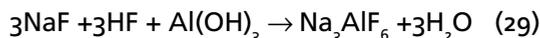


- Precipitação de  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$  ou  $\text{K}_2\text{SiF}_6$  após adição de um sal de sódio ou de potássio.



Os compostos  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$  ou  $\text{K}_2\text{SiF}_6$  podem ser utilizados:

- para produzir ácido fluossilícico;
- $$\text{Na}_2\text{SiF}_6 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{H}_2\text{SiF}_6 + \text{Na}_2\text{SO}_4 \quad (27)$$
- para produzir fluoreto de sódio ou tetrafluoreto de silício;
- $$\text{Na}_2\text{SiF}_6 \rightarrow 2\text{NaF} + \text{SiF}_4 \quad (28)$$
- como matéria-prima necessária para a produção de criolita artificial (utilizada na indústria do alumínio).



## 2.3. Purificação de ácido fosfórico

Para este estudo, primeiramente foram otimizados todos os parâmetros referentes à lixiviação clorídrica (concentração em ácido clorídrico de 20%; razão sólido/líquido, 40%; velocidade de agitação, 200rpm e tempo de reação, 2h). Os lixiviados foram preparados à temperatura ambiente.

### 2.3.1. Desfluorização

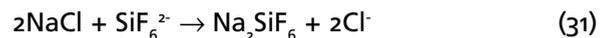
A fim de se eliminarem os problemas de possíveis contaminações do fertilizante, causadas pelos ácidos fluorados, em particular  $\text{H}_2\text{SiF}_6$ , é necessário os eliminá-los antes da extração.

Optou-se pela precipitação na forma de  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ , após adição ao lixiviado de um sal de sódio, o NaCl. Com um litro de lixiviado, foram efetuadas dez séries de testes: 100ml de lixiviado foram adicionados a várias quantidades de NaCl à temperatura ambiente, com agitação, durante 30 minutos. As misturas reativas foram filtradas, e os precipitados, secados e moídos antes de serem analisados por difração de raios-X. As soluções foram analisadas por cromatografia iônica, principalmente para os íons fluoreto.

Como se indicou anteriormente, a rota clorídrica, para produção de ácido fosfórico, pode ser esquematizada pela reação:



A adição de NaCl revela-se eficiente na precipitação de  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ , de acordo com a reação 31:



A Figura 2.2 mostra a evolução da percentagem de desfluoração do lixiviado clorídrico em função da quantidade de NaCl adicionada.

A precipitação de  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$  é mais efetiva à temperatura ambiente usando o dobro da quantidade estequiométrica de NaCl requerida (de acordo com a reação 31). Num teste típico, 3,36g de NaCl (o dobro da quantidade estequiométrica necessária) foram adicionados a 100ml de lixiviado (teor em fluoretos = 8.74g/l) e submetidos à agitação durante meia hora. O precipitado obtido, analisado por difração de raios-X, mostra que mais de 80%

dos fluoretos inicialmente presentes na rocha podem ser recuperados após lixiviação clorídrica como  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ .

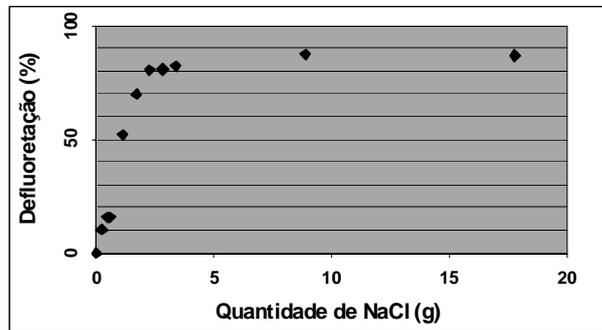


Figura 2.2 - Defluoretação do lixiviado clorídrico obtida por precipitação de  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ , após adição de um sal de sódio (análises de cromatografia iônica).

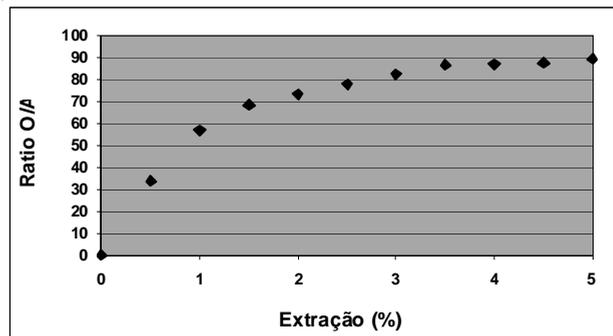
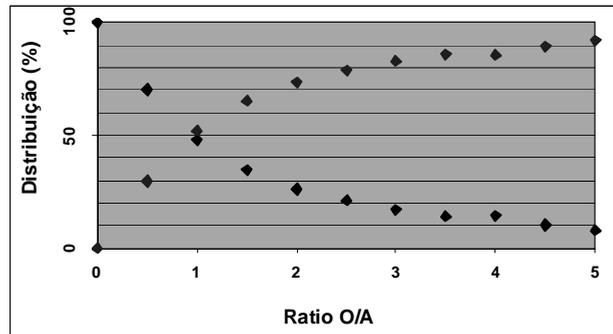
### 2.3.2. Separação $\text{CaCl}_2 - \text{H}_3\text{PO}_4$ - modo descontínuo

Não sendo possível cristalizar o cloreto de cálcio do lixiviado clorídrico, como acontece na rota nítrica, em que o  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  pode ser precipitado por simples arrefecimento, recorreu-se ao tributítil-fosfato e ao isobutanol para separar o cloreto de cálcio do ácido fosfórico. Os ensaios de extração foram conduzidos com agitação (utilizaram-se barras magnéticas) das soluções de alimentação aquosas (lixiviados clorídricos) e orgânicos. O tempo de permanência escolhido foi de 15min. O material utilizado deve ter uma torneira e uma rolha perfeitamente hermética. A mistura reativa foi, então, transferida para um vaso de decantação para efetuar a separação das fases. A extração realizou-se num andar fazendo variar a razão fase orgânica/fase aquosa de 0,5 a 5, com passo de 0,5 (por exemplo, para uma razão O/A de 1, pela adição de 20ml de lixiviado a 20ml de tributítil-fosfato). As fases aquosas foram analisadas por cromatografia iônica para os elementos Ca, P e REE, prioritariamente.

Os testes que se seguem foram desenvolvidos no Centro de Tecnologia Mineral (CETEM – Brasil) e repetidos na *École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Étienne* (EMSE – França).

Testes com tributítil-fosfato – A Figura 2.3 mostra a distribuição das fases aquosa e orgânica, em função da razão sólido/líquido. Observa-se um enri-

quecimento progressivo do extrato orgânico (cor cinza) e um empobrecimento progressivo do refinado (cor negra), para um aumento progressivo da razão O/A (fase orgânica / fase aquosa). A Figura 2.4 mostra a variação do percentual de extração em função da razão O/A (resultados analíticos obtidos por cromatografia iônica).



Figuras 2.3 e 2.4 - Enriquecimento progressivo do extrato orgânico.

A Figura 2.4 mostra que, para uma razão O/A de 3, a taxa de recuperação de  $\text{P}_2\text{O}_5$  é superior a 80%.

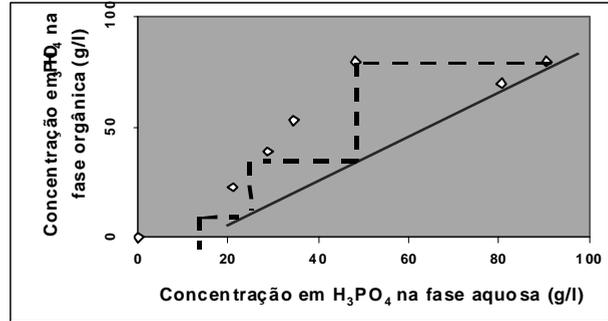
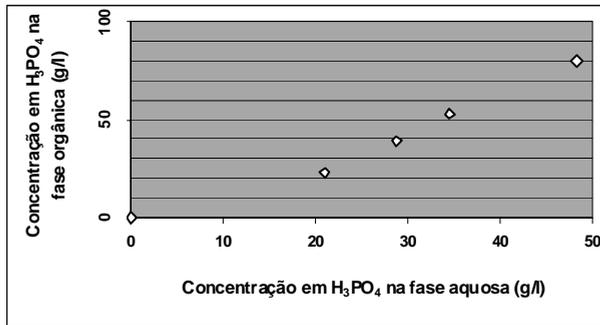
Observa-se, no diagrama de McCabe e Thiele, que, para uma razão O/A de 1, são necessários três andares teóricos (esquematizados nos degraus tracejados na Figura 2.6) para fazer passar todo o ácido fosfórico em fase orgânica. Três extrações sucessivas com uma razão O/A de 1 são suficientes para que a totalidade do ácido fosfórico, inicialmente presente no lixiviado, passe para o extrato orgânico.

Durante a extração pelo tributítil-fosfato, os lantanídeos e o cloreto de cálcio permanecem, majoritariamente, em fase aquosa (Figuras 2.7 e 2.8). Quando a razão O/C aumenta, quantidades significativas destes compostos ficam retidas na fase orgânica. Com uma razão O/C de 1, pouco mais de

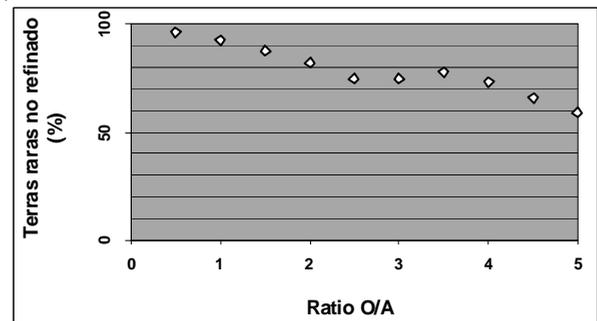
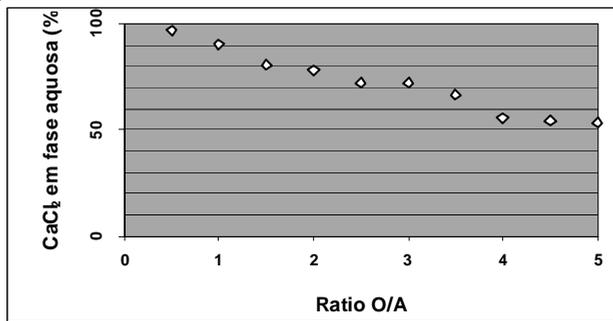
50% do ácido fosfórico passa para o extrato orgânico e, aproximadamente, 90% do cloreto de cálcio e dos lantanídeos ficam na fase aquosa. O tributílo-fosfato prova, então, ser um extratante eficiente do ácido fosfórico. O cloreto de cálcio ( $\text{CaCl}_2$ ) co-extraído em fase orgânica poderá ser eliminado depois, durante o *stripping* destinado à concentração do ácido fosfórico (eliminação das impurezas extraídas juntamente com o ácido fosfórico e reciclagem do extratante).

Foram também realizados testes com tributílo-fosfato diluído em hexano. Os resultados obtidos foram sensivelmente os mesmos dos que se obtiveram quando apenas se utiliza o tributílo-fosfato.

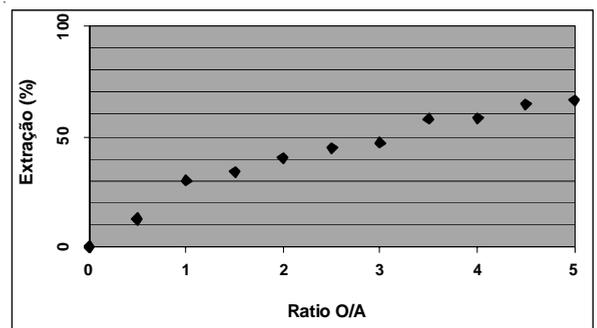
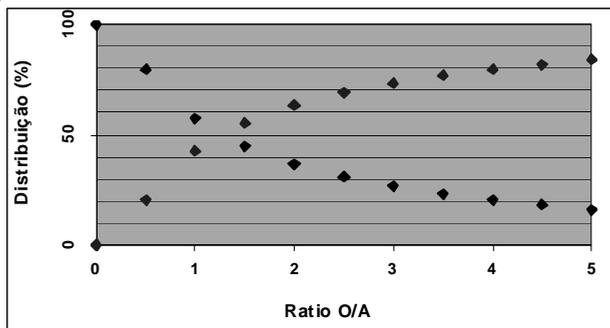
*Testes com o isobutanol* - A Figura 2.9 mostra a distribuição das fases aquosas e orgânicas em função da razão sólido/líquido e a Figura 2.10, a extração do ácido fosfórico.



**Figuras 2.5 e 2.6** - Isotérmica de distribuição do ácido fosfórico no sistema HCl – TBP, à temperatura ambiente (análises de cromatografia iônica) - Diagrama de Mac Cabe e Thiele no sistema HCl-TBP, à temperatura ambiente.



**Figuras 2.7 e 2.8** -  $\text{CaCl}_2$  e lantanídeos em fase aquosa em função da razão fase orgânica / fase aquosa (análises de cromatografia iônica).

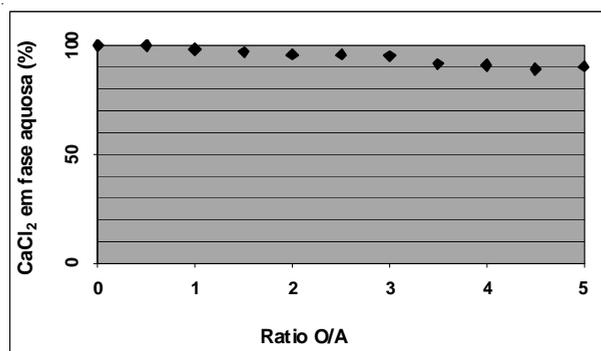


**Figuras 2.9 e 2.10** - Distribuição das fases orgânicas e aquosas (Figura 2.9) e extração do ácido fosfórico para várias razões O/A (Figura 2.10) (análises de cromatografia iônica).

Como nos ensaios com o tributil-fosfato, observa-se um enriquecimento progressivo do extrato orgânico e um empobrecimento relativo do refinado. As operações de mistura e de separação dão origem a uma transferência seletiva do ácido fosfórico para a fase orgânica. Quanto maior for a razão O/A, maior será a percentagem de ácido fosfórico na fase orgânica (Figura 2.10). Para um razão O/A de 1, a taxa de recuperação de  $P_2O_5$  é da ordem de 30%, ou seja, bem inferior ao valor obtido (cerca de 50%) nas mesmas condições, quando se utiliza o tributil-fosfato como extratante.

Durante a extração pelo isobutanol, os lantanídeos e o cloreto de cálcio permanecem majoritariamente em fase aquosa (Figura 2.11). Quando a razão O/A aumenta, quantidades apreciáveis de lantanídeos ficam retidas na fase orgânica. Para uma razão O/A de 1, tem-se 30% do ácido fosfórico presente no extrato orgânico e mais de 95% do  $CaCl_2$  e de lantanídeos, que permaneceram em fase aquosa (Figura 2.12).

Conclusão – Os ensaios realizados mostraram que o tributil-fosfato era bem melhor extratante do ácido fosfórico do que o isobutanol. Os testes de extração líquido-líquido conduzidos com este solvente, após desfluorização do lixiviado, permitiram uma boa separação  $CaCl_2-H_3PO_4$ . Os lantanídeos permanecem essencialmente na fase aquosa.

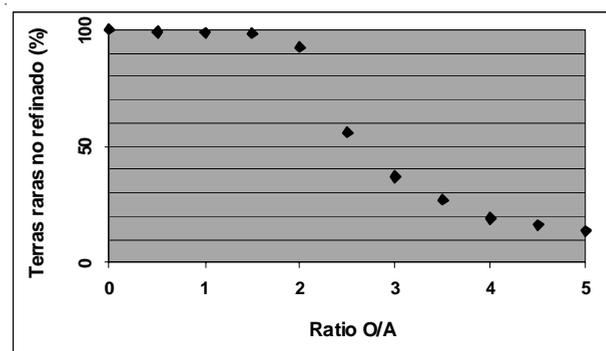


*Otimização do tempo de permanência* – Para definição do solvente mais apropriado escolheu-se um tempo de permanência inicial de 15min. Para alcançar o equilíbrio entre as duas fases aquosa e orgânica, é certamente necessário um tempo de permanência menor.

As experiências de extração foram conduzidas com agitação (utilização de barras magnetizadas) das soluções de alimentação aquosas (lixiviados clorídricos) e orgânico (solvente TBP). O tempo de permanência escolhido foi de 15min. A mistura reativa foi transferida então para uma ampola de decantação para efetuar a separação das fases. A extração foi conduzida num andar fazendo-se variar o tempo de contato de 1 a 15min com passos de 1min. As fases aquosas foram analisadas por cromatografia iônica, prioritariamente para os elementos Ca, P e TR. Estas experiências foram repetidas duas vezes (Figuras 2.13, 2.14 e 2.15).

As Figuras 2.13, 2.14 e 2.15 mostram que o equilíbrio das fases orgânicas e aquosas é alcançado após 5mn. Os testes também mostraram uma boa reprodutibilidade.

Durante a extração pelo tributil-fosfato (razão O/A = 1), os lantanídeos e o cloreto de cálcio estão majoritariamente presentes na fase orgânica (mais de 90%). Cerca de 50% do ácido fosfórico é transferido para o extrato orgânico, o que coincide perfeitamente com testes preliminares efetuados com o mesmo solvente.



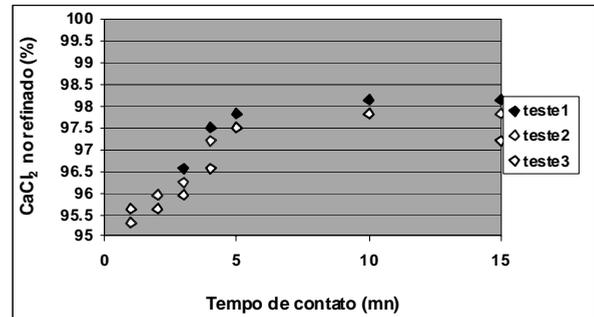
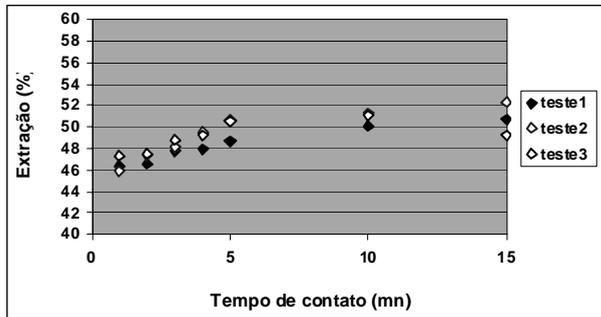
**Figuras 2.11 e 2.12** -  $CaCl_2$  e lantanídeos em fase aquosa em função do ratio fase orgânica / fase aquosa (análises de cromatografia iônica).

*Extrações sucessivas* – Verificou-se teoricamente, após a construção do diagrama de Mac Cabe e Thiele, que são necessários três andares para se fazer passar todo o ácido fosfórico para a fase orgânica. Testes de extração pelo tributil-fosfato foram, então, conduzidos com três andares, para confirmação. Na Figura 2.16 é possível seguir a distribuição do ácido fosfórico no extrato orgânico, e a dos lantanídeos e do cloreto de cálcio na fase aquosa, em função do número de extrações.

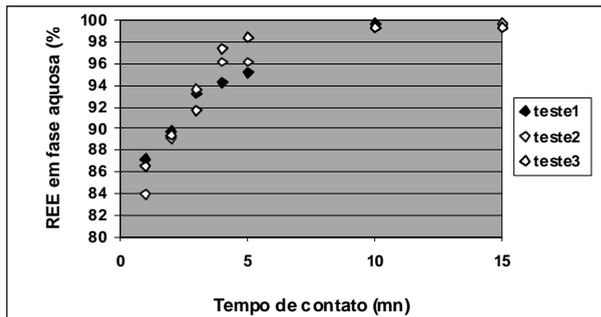
Quando a extração é conduzida com três andares, mais de 95% dos fosfatos passam para o extrato orgânico, enquanto mais de 90% do cloreto de cálcio e das terras-raras permaneceram no refinado.

### 2.3.3. Separação $\text{CaCl}_2 - \text{H}_3\text{PO}_4$ /Modo Contínuo

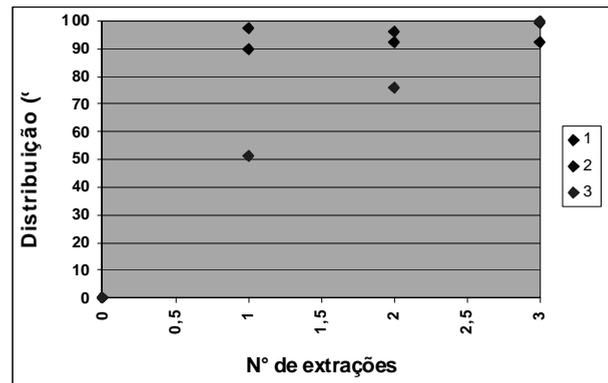
Foram também efetuados testes em modo contínuo utilizando um misturador decantador de laboratório de quatro andares, razão fase orgânica/ fase aquosa = 1 e tributil-fosfato como solvente (Figura 2.17).



**Figuras 2.13 e 2.14** - Extração do ácido fosfórico (razão O/A = 1) em função do tempo de permanência no reator (Figura 2.13) e de  $\text{CaCl}_2$  no refinado (Figura 2.14). Análises por cromatografia iônica.

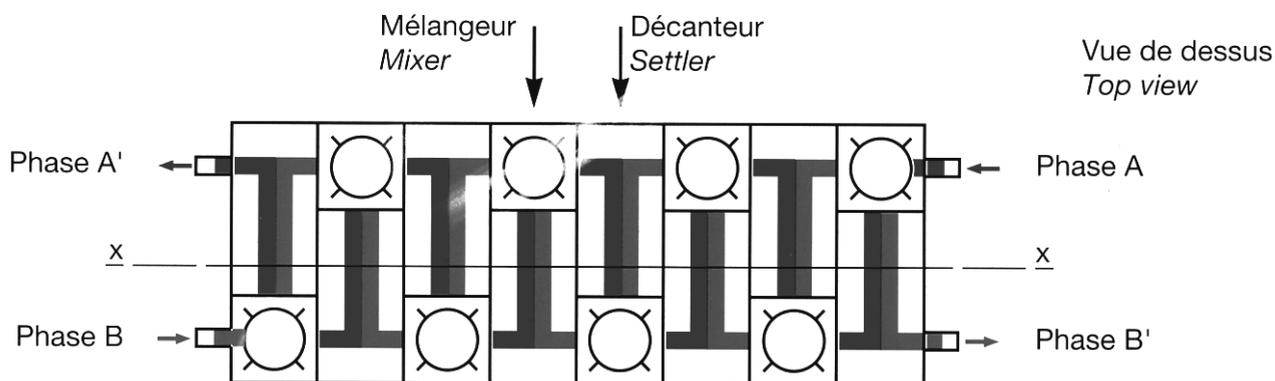


**Figura 2.15** - Lantanídeos em fase aquosa em função do tempo de permanência (análises por cromatografia iônica).



1- cloreto de cálcio, 2 - lantanídeos, 3 - ácido fosfórico

**Figura 2.16** - Distribuição do ácido fosfórico no extrato orgânico, e dos lantanídeos e cloreto de cálcio na fase aquosa, em função do número de extrações, para uma razão O/A de 1, após extração pelo tributil-fosfato (análises de cromatografia iônica).



**Figura 2.17** - Diagrama de uma bateria de misturadores decantadores de quatro andares.

Um andar do misturador decantador realiza sucessivamente as seguintes operações: (i) colocação em contato, no misturador, da fase multicomponentes A, a purificar, e da fase de extração B, não miscível à precedente, que extrai, seletivamente, um ou vários elementos (solutos) da fase A; (ii) separação em duas fases, por gravidade, da emulsão formada, num decantador associado a cada misturador. As duas fases passam então em contracorrente para os andares contíguos.

As operações sucessivas de mistura e de separação permitem transferir os solutos de A para B, criando assim uma fase A', empobrecida (ou refinado), e um solvente B, enriquecido (ou extrato). A cada andar, um grupo motor intercambiável e ajustável em altura, arrasta uma turbina de mistu-

ra e de bombagem. Esta aspira as fases a partir dos decantadores dos andares adjacentes, os põe em contato e retira no decantador a emulsão assim criada no misturador, as transferências de um andar para o outro são feitas através de transbordamento acima dos distribuidores.

Mostrou-se que três extrações sucessivas com uma razão fase orgânica/fase aquosa de 1 são suficientes para extrair a totalidade dos fosfatos inicialmente presentes no lixiviado clorídrico. Foi escolhida esta razão por uma questão essencialmente econômica, dado que a utilização de solvente é menor. Conseqüentemente, os testes experimentais foram conduzidos sobre três andares de uma bateria de misturadores decantadores. Os resultados obtidos estão na Tabela 2.2.

**Tabela 2.2** - Extração líquido-líquido do lixiviado clorídrico defluoretado pelo tributilfosfato (extração sobre três andares com um ratio O/A de 1)

	Lixiviado defluoretado (V=500ml)		Reffnado (V=324.67ml)		Extrato
	Concentração (g/l)	Peso (g)	Concentração (g/l)	Distribuição (%)	Distribuição <sup>(a)</sup> (%)
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	116	58	8.45	4.73	95.27
CaO	151.5	75.75	212.38	91.03	8.97
Cl <sup>-</sup>	275.2	137.6	266.45	62.87	37.13
TR <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.95	1.475	4.5	98.97	1.03
Fe	2.7	1.35	0.18	4.3	95.7
Al	1.9	0.95	2.85	97.3	2.7

(a) obtida por diferença.

A extração líquido-líquido efetuada sobre três dos quatro andares da bateria de misturadores decantadores permitiu recuperar quase 96% dos fosfatos inicialmente presentes no lixiviado sem flúor. Dos íons cálcicos, 9% passam igualmente para o extrato orgânico. Estes últimos podem ser eliminados ulteriormente durante o tratamento da fase orgânica. Os lantanídeos permanecem majoritariamente na fase aquosa. Dos íons cloreto, mais de 60% ficam no refinado. Quantidades significativas de ferro ficam retidas no extrato orgânico.

### 3. Extração das Terras-Raras

Não tem sido dada muita atenção à recuperação das terras-raras como subproduto da produção de ácido fosfórico, viável quando o ataque da rocha/ concentrado fosfático seja feito seguindo as rotas clorídrica ou nítrica. As terras-raras têm bom valor comercial, numerosas aplicações e, segundo pesquisadores da China, apresentam excelentes resultados como micronutrientes na agricultura, melhorando de 8 a 10% a produtividade de vários cultivos (CRE, 2005; ZHOU, 1993).

O produto comercial é vendido naquele país, no varejo, sob a designação de 'nong-, le' ou 'chang-le'. É uma mistura solúvel de terras-raras, habitualmente sob a forma de nitrato *although the chloride would be suffice* (GSCHNEIDER, 1989).

Cientistas e técnicos chineses referem que a aplicação das terras-raras faz aumentar a produção de 5 a 10% nas culturas da soja, trigo, arroz, amendoim, beterraba, fumo, e melancia, entre outros e de 10 a 20% em alguns outros produtos, tais como a cana-de-açúcar (RIC News, 1998), o que, a confirmar-se, seria de grande interesse para a agroindústria do Brasil.

Também são referidos bons resultados na adição de terras-raras a rações animais: "*rare earth vitamin C (RE-Vc) compound*" (...) has been used

*as a feed additive for livestock, poultry and aquaculture*" (CHEN et al., 1995).

Mais detalhes sobre a aplicação das terras-raras como micronutriente poderão ser encontrados, nesta edição, no capítulo 8.

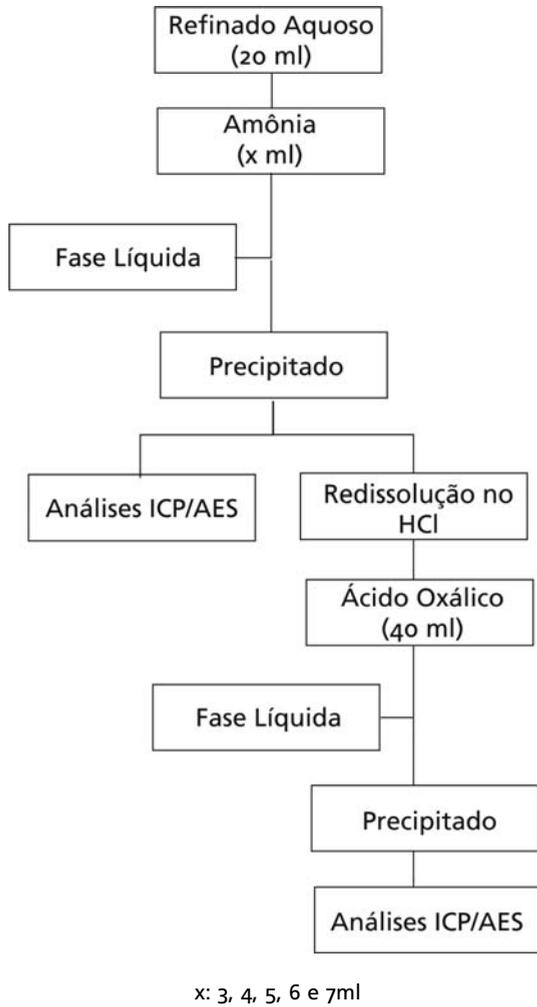
Nos carbonatitos sem mineralizações específicas de terras-raras (bastnasita e monazita), de flúor e de minerais de estrôncio, são os minerais do grupo da apatita que contêm, habitualmente, a maior parte destes elementos, sendo a sua variedade mais comum a fluorapatita cuja célula unitária é composta por  $\text{Ca}_{10}\text{P}_6\text{O}_{24}\text{F}_2$ .

As terras-raras estão presentes nas apatitas como elementos acessórios, variando de alguns décimos até quase 20% (DUTRA e FORMOSO, 1995).

Dutra e Formoso (1995) estudaram 22 amostras de apatitas e de rochas fosfáticas, tendo concluído que:

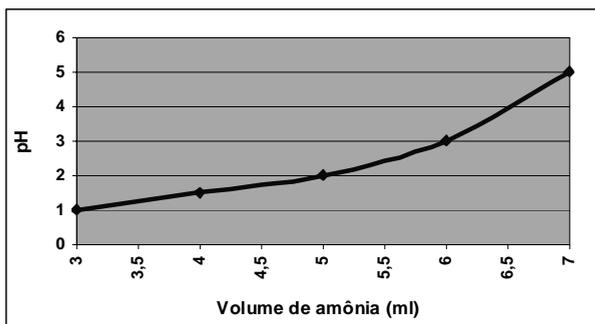
- todas as apatitas de carbonatito apresentaram teores de ETR superiores a 1000 ppm;
- no Brasil, os maiores valores foram encontrados nas rochas dos complexos carbonatíticos de Angico dos Dias - BA (7.483 ppm), Araxá - MG (6.347 ppm) e Catalão - GO (5.585 ppm).

Viu-se que a maior parte dos lantanídeos (mais de 90%) fica na fase aquosa, depois da extração líquido-líquido pelo tributil-fosfato. Atendendo aos trabalhos de Habashi e Awadalla (1986), optou-se por uma precipitação dos lantanídeos. Depois da extração pelo tributil-fosfato em três andares (razão O/A = 1), 20ml de refinado (composição na Tabela 2.2) foram então adicionados a várias quantidades de amônia e de ácido oxálico em diferentes condições, sempre sob agitação mecânica, durante 30min. Os precipitados foram secados, triturados e calcinados (a 1000°C) antes de serem analisados por ICP/AES. Para isso, procedeu-se à sua redissolução num excesso de ácido clorídrico. Resume-se, na Figura 3.1, caminho experimental seguido.



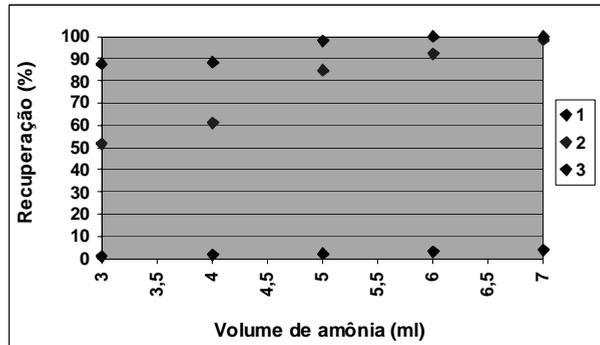
**Figura 3.1** – Tratamento a que se submeteu o refinado aquoso para recuperação das terras-raras.

O pH da mistura fase aquosa-amônia manteve-se constante durante toda a reação. Na Figura 3.2, representa-se a variação do pH da mistura reativa em função do volume de amônia adicionado.



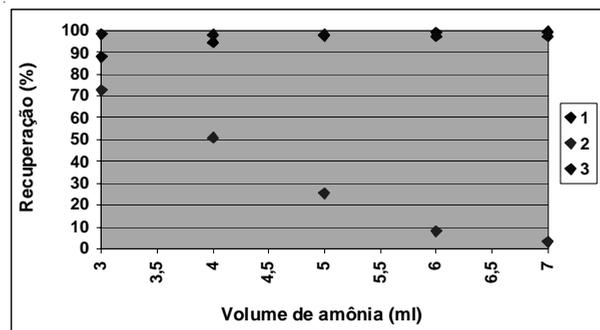
**Figura 3.2** - Variação do pH da mistura reativa em função do volume de amônia.

As Figuras 3.3 e 3.4 mostram a percentagem de recuperação na fase sólida de  $\text{CaO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  e  $\text{TR}_2\text{O}_3$ , após tratamento do refinado aquoso, por amônia somente, ou por amônia e ácido oxálico.



1 -  $\text{CaO}$ , 2 -  $\text{P}_2\text{O}_5$ , 3 -  $\text{TR}_2\text{O}_3$

**Figura 3.3** - Recuperação de  $\text{CaO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  e  $\text{TR}_2\text{O}_3$  em fase sólida (resíduo calcinado), em função do volume de amônia adicionado - refinado aquoso tratado por amônia (análises ICP/AES).



1 -  $\text{CaO}$ , 2 -  $\text{P}_2\text{O}_5$ , 3 -  $(\text{REE})_2\text{O}_3$

**Figura 3.4** - Recuperação de  $\text{CaO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  e  $\text{TR}_2\text{O}_3$  em fase sólida (resíduo calcinado), em função do volume de amônia adicionado - refinado aquoso tratado por amônia e ácido oxálico (análises ICP/AES).

A recuperação das terras-raras é excelente qualquer que seja o tratamento a que tenha sido submetido o refinado aquoso. Após tratamento só com amônia, a sua recuperação mostrou-se muito próxima de 100%, quando se utiliza um volume de amônia de 5ml. Paralelamente, o concentrado de terras-raras apresenta algumas impurezas de fosfatos. Um pouco menos de 90% dos fosfatos do refinado aquoso (de baixo teor em fosfatos, dado que a grande maioria está presente na fase orgânica, depois da extração pelo tributil-fosfato - ver Tabela 2.2) encontra-se no resíduo obtido.

O teor em CaO deste resíduo permanece muito baixo. Após tratamento por amônia e ácido oxálico, a recuperação das terras-raras é total, qualquer que seja o volume de amônia adicionado. O maior inconveniente deste tratamento de refinado aquoso reside na presença, no resíduo, de grandes quantidades de CaO (mais de 90% do CaO do refinado aquoso, muito rico neste óxido). Além disso, por razões de custo (supressão de uma etapa), é preferível processar o refinado aquoso apenas por amônia para recuperação dos lantanídeos.

Com este método, chega-se a recuperar, sob a forma de um concentrado fosfatado de terras-raras, aproximadamente, 80% dos lantanídeos inicialmente presentes na rocha fosfática.

#### 4. Tratamento/recuperação da fase orgânica

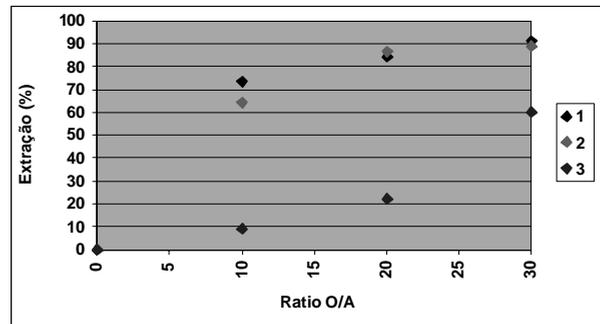
O elevado custo do tributil-fosfato obriga a sua reciclagem para tornar econômico o processo.

##### 4.1. Eliminação dos Íons Cloreto

O ácido fosfórico (expresso em teores de  $P_2O_5$ ) distribui-se, principalmente, no extrato orgânico (mais de 95% - ver Tabela 2.2). Durante a extração pelo tributil-fosfato, quantidades significativas de cloretos são igualmente co-extraídas. Para eliminar a presença destes últimos, procedeu-se ao *scrubbing* (tratamento por água desionizada) do extrato. A extração foi conduzida num andar fazendo variar a razão fase orgânica / fase aquosa de 10 a 30 com passos de 10. As fases aquosas coletadas foram analisadas por cromatografia iônica para os íons fosfato, cálcio e cloretos, prioritariamente. A Figura 4.1 mostra a percentagem de extração dos íons cloreto, fosfato e cálcio, em função da razão O/A.

Adicionando-se uma quantidade mínima de água desionizada ao extrato orgânico, resultante da extração líquido-líquido pelo tributil-fosfato, é possível eliminar uma percentagem importante de íons cloreto e cálcio da fase orgânica. As razões O/A de

20 e 30 não podem ser retidas, porque as perdas em ácido fosfórico, na fase aquosa, são superiores a 20%. É preferível o *scrubbing* conduzido para uma razão O/A de 10 (20ml de extrato orgânico adicionados a 2ml de água desionizada). Neste caso, chega-se a eliminar, aproximadamente, 70% dos íons cálcicos e cloretos do extrato orgânico, e as perdas em ácido fosfórico são mínimas (cerca de 8%).



1 - Ca<sup>2+</sup>, 2 - Cl<sup>-</sup>, 3 - ácido fosfórico

Figura 4.1 – *Scrubbing* do extrato orgânico pela água desionizada (análises de cromatografia iônica).

##### 4.2. Reciclagem do tributil-fosfato

Seguindo a metodologia divulgada por Habashi e Awadalla (1986), a fase orgânica sem cloreto de cálcio foi submetida a tratamento amoniacal. 20ml de extrato orgânico foram adicionados a 20ml de amoníaco  $NH_3$ , com agitação, durante meia hora. A mistura reativa foi filtrada. Um precipitado de 12,6g foi seco e moído antes de ser analisado por difração de raios X. Os compostos são fosfatos de amônia que podem ser utilizados diretamente como fertilizantes. Eles foram identificados (por ordem crescente de importância) por difração de raios X, após tratamento pela amônia do extrato orgânico foram:  $NH_4H_2PO_4$ ,  $(NH_4)_2HPO_4$  e  $NH_4H_2PO_4 \cdot H_3PO_4$ .

A fase líquida recuperada paralelamente durante a filtração corresponde ao tributil-fosfato, que pode ser reutilizado, o que foi feito em experiências de extração conduzidas no laboratório. Obtiveram-se as mesmas taxas de recuperação do ácido fosfórico

(cerca de 50%) no extrato orgânico. Ficou assim provado que a reciclagem do solvente pode ser total.

## 5. Conclusões

Ressalta-se do estudo desenvolvido que o ataque clorídrico de uma rocha fosfatada apatítica, qualquer que seja sua origem, é rápida e quase total.

Em relação ao concentrado de Angico dos Dias concluiu-se que a dissolução é máxima quando resulta de uma lixiviação que atenda aos seguintes parâmetros/condições:

- concentração de ácido clorídrico: 20%;
- razão sólido/líquido: 40%;
- velocidade de agitação 200rpm;
- temperatura: 40°C;
- tempo: 2 horas.

No concentrado de Angico dos Dias, atingiram-se, nas condições referidas, taxas de solubilização superiores a 95% para CaO e  $P_2O_5$  e de cerca de 80% para  $TR_2O_3$ . Análises de difração de raios X do resíduo apenas detectaram traços de um sal duplo ( $CaClH_2PO_4 \cdot H_2O$ ), no resíduo.

Logo na primeira hora de lixiviação, e com HCl a 20%, conseguem-se taxas de solubilização elevadas.

No minério, nas mesmas condições, as taxas de solubilização foram, em média, 20% inferiores, em relação ao concentrado. Dada a escassez de água na região e querendo-se verticalizar este núcleo produtor de concentrados fosfáticos, a lixiviação direta, em pilhas ou cubas, apresenta bom potencial.

A composição química do lixiviado resultante do ataque clorídrico do concentrado, em g/l, é a seguinte:  $P_2O_5 \Rightarrow 116$ ; CaO  $\Rightarrow 151,5$ ;  $TR_2O_3 \Rightarrow 2,95$ ; F  $\Rightarrow 8,8$ .

A maior parte dos compostos fluorados (67,3%) inicialmente presentes na rocha fosfática (cerca de

6,69% no concentrado) ou permanecem no resíduo insolúvel, ou se volatilizam, sob a forma HF e de  $SiF_4$ , durante a reação. Os restantes 32,7% ficam no lixiviado clorídrico.

A desfluoretização do lixiviado clorídrico, proveniente do ataque clorídrico do concentrado fosfatático de Angico dos Dias, é conduzida por precipitação, sob a forma de  $Na_2SiF_6$ , depois de adição de um sal de sódio.

O ácido fosfórico pode ser extraído do lixiviado clorídrico pelo tributil-fosfato, que provou ser, no caso estudado, bem melhor extratante que o isobutanol. Três andares são teoricamente necessários a fim de recuperar todo o ácido fosfórico no extrato orgânico. As experiências de extração, conduzidas em modo contínuo ou descontínuo, levaram, com grande aproximação, aos mesmos resultados.

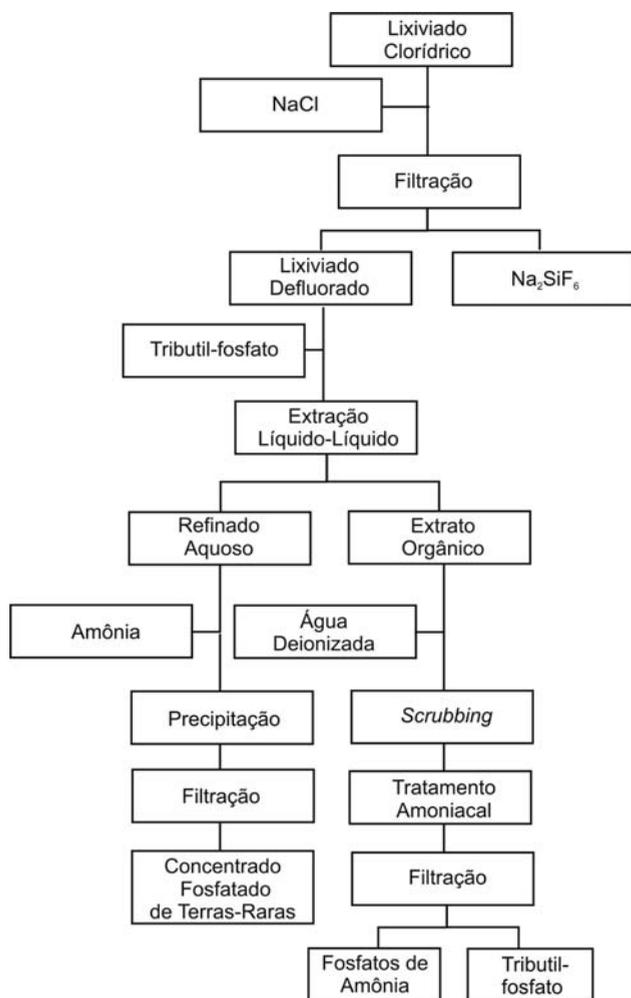
Os lantanídeos e o cloreto de cálcio distribuem-se principalmente no refinado aquoso. A fase orgânica, contendo a quase-totalidade dos fosfatos da rocha, é processada em duas etapas:

- num primeiro tempo, pela água desionizada, para eliminar a maior parte (aproximadamente 70%) dos íons cloreto que permaneceram no extrato orgânico depois de extração líquido-líquido;
- num segundo tempo, com amônia para regenerar/reciclar o tributil-fosfato.

Os precipitados obtidos (essencialmente, fosfatos de amônia) podem ser utilizados diretamente como fertilizantes.

A fase aquosa pode ser tratada com amônia para recuperar os lantanídeos, inicialmente presentes na rocha fosfática.

A tecnologia utilizada, resumida na Figura 5.1, praticamente não deixa lugar à formação de rejeitos sólidos ou líquidos.



**Figura 5.1** - Metodologia utilizada para o tratamento do lixiviado clorídrico, resultante do ataque ácido do concentrado fosfático de Angico dos Dias (Brasil).

## Referências bibliográficas

- ARMAN, A. e SEALS R.K. [1990] - A preliminary assessment of utilization alternatives for phosphogypsum. Proceedings of the Third International Symposium on Phosphogypsum, Orlando, FL. FIPR Pub. n°01-060-083, vol.2, pp. 562-575.
- BECKER, P. [1989] - Phosphates and phosphoric acid: raw materials, technology and economics of the wet process. Fertilizer Science Technology Ser., 2<sup>nd</sup> edition, vol.6, Marcel Dekker Inc., New York, 752 p.
- BERISH, C.W. [1994] - Potential environmental hazard of phosphogypsum storage in central Florida. Proc. Of the Third Intern. Symp. On Phosphogypsum, Orlando, F.L. FIPR Pub. n°01-060-083, vol.2, pp. 1-29.
- CARMICHAEL, J.B. [1988] - Worldwide production and utilization of phosphogypsum. Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Symposium on Phosphogypsum, Miami, F.L., FIPR Pub. n°01-037-055, 1, pp. 105-16.
- CRE – China RareEarth Information. [www.cre.net/English], 2006.
- FITOUSSI, R. & HELGORSKY J. [1982] - Purification de l'acide phosphorique. *Société Rhône Poulenc Recherches*.
- GSCHEIDER Jr., K.A. [1989] – Rare Earth Fertilizer. *Rare Earth Fertilizer Center – Insight*, Ames Laboratory, Iowa State University, v.2, n° 1.
- HABASHI, F. [1985] - The recovery of lanthanides from phosphate rock. *Journal Chem. Tech. Biotechnol.*, 35A, pp. 5-14.
- HABASHI, F. e AWADALLA, F.T. [1983] - The removal of fluorine from wet process phosphoric acid. *Separation Science and Technology*, 18(5), pp.485-491.
- HABASHI, F. e AWADALLA, F.T. [1985] - The removal of radium during the production of nitrophosphate fertilizer. *Radiochimica Acta*, 38, pp. 207-210.
- HABASHI, F. e AWADALLA, F.T. [1986] - The recovery of uranium during the purification of phosphoric acid by organic solvents. *Separation Science and technology*, 21(4), pp. 327-37.
- HABASHI, F. e AWADALLA, F.T. [1986] - Determination of uranium and radium in phosphate rock and technical phosphoric acid. *Fresenius Z Anal Chem.*, 324, pp. 33-36.
- HABASHI, F. e AWADALLA, F.T. [1988] - In situ and dump leaching of phosphate rock. *Ind. & Eng. Chem. Res.*, 27 (11), pp. 2165-69.
- INGHAM J. [1967] - Solvent Extraction in Israël. *Chemistry and Industry*, 4, pp. 1863-67.
- LAPIDO-LOUREIRO, F.E. [1994] – Terras-Raras no Brasil: depósitos, recursos identificados, reser-

vas. CETEM, *Série Estudos e Documentos* nº 21, 189 p.

LAPIDO-LOUREIRO, F.E. [1997] – A indústria de fosfatos no Brasil: rumos alternativos para aproveitamento de subprodutos e redução de impactos ambientais. *Monografia*, 67 p., CETEM, Biblioteca /Tombo 000088.

PEREIRA, F. [2003] - Productions d'acide phosphorique par attaque chlorydrique de minerais phosphatés /.../ et récupération des terres rares. EMSE/SPIN, Saint Étienne, França.

RIC News – Rare Earth Information Center, Ames Laboratory, Iowa State University, Ames, Iowa, EUA.

RUTHERFORD, P.M., DUDAS, M.J., SAMEK, R. A. [1994] - Environmental impacts of phosphogypsum. *The Science of Total Environment*, 149, pp.1-38.

SLACK, A.V. [1968] - Phosphoric Acid. Marcel Dekker, Inc., New York.

WAGGAMAN, W.H. [1969] - Phosphoric acid and phosphatic fertilizers. Hafner Publishing Company, New York & London.

WITKAMP, G.J., VAN ROSMALEN, G.M. [1988] - Recrystallisation of calcium sulfate modifications in phosphoric acid. Proceedings of the 2<sup>nd</sup> Inter. Symp. On Phosphogypsum, Miami, F.I., FIPR Publ. nº 01-037-055, vol.1, pp.377-405.

ZHOU, C. [1993] Rare earth industry of China. *Journal of Alloys and Compounds*.

## Notas

- 1 Fernando Pereira, primeiro autor do capítulo, desenvolveu sua tese trabalhando com amostras de Angico dos Dias (Brasil) e de minério sedimentar do Marrocos. Os resultados comparativos constam de sua tese.
- 2 É preparado por síntese química e tem a seguinte fórmula molecular:  $\text{TR}(\text{OH})(\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_6)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . É um pó amarelo-acastanhado contendo 30% de  $\text{TR}_2\text{O}_3$  (CHEN *et al.*, 1995).

# Capítulo 24 - Ensaio de lixiviação clorídrica e sulfúrica de concentrado fosfático: estudo de caso

## Os autores

### Ronaldo Luiz Correa dos Santos

Engenheiro Químico (EQ/UFRJ), M.Sc. em Engenharia Metalúrgica e de Materiais (COPPE/UFRJ)

E-mail: rsantos@cetem.gov.br

### Ramon Veras de Araújo (*In memoriam*)

Engenheiro de Minas (UFBA), M.Sc. Engenharia Metalúrgica e de Materiais (JFRJ),

### Luís F. Bandeira

Engenheiro Químico (UFF)

## 1. Introdução

O grande desenvolvimento mundial na produção de fertilizantes ocorreu, segundo Albuquerque (2000), a partir do início do século XX, motivado por alguns fatores, quais sejam: aumento do conhecimento e da exploração dos depósitos fosfáticos sedimentares da África do Norte e dos Estados Unidos; barateamento do custo de produção do enxofre pelo processo Frasch; ampliação das fronteiras agrícolas, causada pelo crescimento populacional e pela adoção de processos alternativos para o aproveitamento dos seus vários compostos, os quais passaram a ser obtidos a partir de rochas de origem ígneas ou fosfáticas não-apatíticas.

É sabido, entretanto, que a principal fonte de fosfato na natureza está representada pelas rochas fosfáticas, contendo apatitas (fosfato tricálcico). Assim, para que o fósforo contido naquelas rochas possa ser incorporado, sob a forma de micronutriente, em rações e/ou complementos nutricionais, mas também pelos vegetais, compondo os chamados fertilizantes do tipo superfosfatos simples, os fosfatos mono e di-amônio (MAP e DAP), deverá passar por vários processos químicos e físico-químicos.

Os processos químicos segundo os quais as rochas e/ou concentrados fosfáticos são transformados em fertilizantes empregam ácido sulfúrico na maioria das plantas industriais, dando origem, as-

sim, ao ácido fosfórico, bem como a grandes volumes de sulfato de cálcio (fosfogesso).

O fosfogesso é um material constituído por mais de 90% de gesso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), sendo, portanto, os seus principais constituintes  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{SO}_4^{2-}$ .

Segundo Carmichael (1988), a geração de fosfogesso, seguindo a rota sulfúrica na produção de ácido fosfórico, é bastante significativa: 5 t de fosfogesso por tonelada de  $\text{P}_2\text{O}_5$  contido no ácido fosfórico, são geradas entre 200 e 250 Mt anualmente como rejeito, na indústria dos fertilizantes. Entretanto, devido à acidez e ao conteúdo de elementos poluentes nocivos à saúde, há muitas restrições para outros usos, até então.

Ainda de acordo com Carmichael (1988), um dos seus estudos mostrou que apenas 14% do fosfogesso produzido nos EUA era reprocessado, 58% era estocado, enquanto 28% era disposto na água do mar. As estimativas de produção de fosfogesso nos EUA revelaram a existência de mais de 200 milhões de toneladas estocadas somente na Flórida, salientando, ainda, que, embora o consumo anual de gesso natural fosse da ordem de 20,6 milhões de toneladas, apenas 600 mil toneladas de fosfogesso eram reaproveitadas.

Segundo Arman e Seals (1990), as características químicas do fosfogesso variam de acordo com a natureza do minério apatítico, do tipo do seu processamento, da eficiência da planta que o ge-

rou, do tempo de armazenamento e dos contaminantes que tenham sido introduzidos durante o processo industrial.

De acordo com Berish (1994), alguns dos contaminantes típicos do fosfogesso são os seguintes: o ácido contido nas águas dos processos de acidulação; o flúor; os radionuclídeos e os metais pesados. O autor cita, ainda, que nos EUA as taxas de transferência de alguns dos elementos das rochas fosfáticas para o fosfogesso correspondem a: Cd (30 - 54%), Cu (64 - 100%), Zn (20 - 49%), Cr (3 - 26%) e V (1 - 100%).

O fosfogesso é, pois, eminentemente ácido devido ao ácido fosfórico remanescente e aos ácidos sulfúrico e fluorídrico, que são retidos pela polpa de sulfato de cálcio, a qual é disposta nas barragens de rejeitos.

O mesmo autor e, ainda, Rutherford *et al.* (1994) afirmam que o fosfogesso apresenta, em geral, radioatividade superior à da maioria das rochas e solos. O seu beneficiamento não modifica o equilíbrio isotópico, mas pode aumentar em até 400% a radioatividade em relação à rocha fosfática natural.

Durante o tratamento ácido da rocha fosfática, o equilíbrio radioativo é quebrado em várias fases, de acordo com a sua solubilidade. Segundo os diferentes produtos de solubilidade, é sabido que U, Th e Pb-210 se distribuem, principalmente, no ácido fosfórico, enquanto a maior parte do Ra-226 (60%) e do Po-210 (99%) são carreados para o fosfogesso. O elemento Ra-226 é habitualmente a maior fonte de radiatividade do fosfogesso, mas alguns autores também referem forte atividade ao U-234 e U-238. No fosfogesso resultante de minérios fosfáticos de origem ígnea, a atividade do Th-232 pode exceder a do Ra-226.

O fosfogesso contém, portanto, pequenas quantidades de urânio, dado que a sua maior parte contida no minério é solubilizada, estabilizando-se na fase líquida (ácido fosfórico). O conteúdo de urânio no fosfogesso depende de vários fatores, entre os quais destacam-se: a composição do minério, a existência de compostos orgânicos no

material processado e a rota adotada no tratamento do concentrado. É reconhecido que, nos EUA, o método de geração do dihidrato dá origem a um fosfogesso com 5 - 25 ppm de U e o hemihidrato à presença de 5 - 100 ppm, de acordo com Berish (1994).

Há, ainda, outros autores brasileiros que afirmam ser possível obter fertilizantes a partir de processos térmicos, dando origem aos chamados fertilizantes termofosfatados (SILVA, 1979 e MENDES *et al.* 1985), os quais são considerados de desempenho semelhante aos superfosfatos e passíveis de aplicação em algumas regiões brasileiras.

Este estudo foi realizado por se considerar: (i) a realidade do aumento das atividades na agroindústria no Brasil; (ii) as projeções oficiais de crescimento para o setor; (iii) o aumento da sua competitividade e lucratividade e (iv) a importância de se executar trabalhos de P&D para o uso de alternativas mais limpas, que permitam um melhor aproveitamento das reservas fosfáticas nacionais.

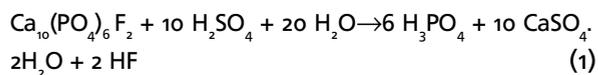
É neste contexto que apresentamos, a seguir, um estudo comparativo do uso de ácido clorídrico como substituto do ácido sulfúrico, de modo a diminuir a geração de fosfogesso, que se constitui numa preocupação ambiental em âmbito mundial.

## 2. Fundamentos teóricos do processamento químico de um concentrado fosfático com ácido clorídrico

Com base na literatura, verifica-se que os valores calculados das energias livres de Gibbs ( $\Delta G_r$ ), correspondentes às reações de formação do ácido fosfórico, são espontâneas ( $\Delta G_{\text{reação}}^{\circ} < 0$ ), resultando, portanto, em liberação de calor.

Por outro lado, os valores de  $\Delta G$  de cada uma das reações de solubilização de fluoroapatita com o ácido sulfúrico e clorídrico definem, respectivamente, a espontaneidade com que as reações ocorrem, conforme reações (1) e (2) apresentadas.

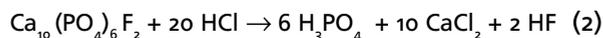
a) Reação de lixiviação da fluoroapatita com ácido sulfúrico



$$\Delta G^\circ_{\text{reação}} = \sum \Delta G^\circ_{\text{produtos}} - \sum \Delta G^\circ_{\text{reagentes}}$$

$$\Delta G^\circ_{\text{reação}} = -60,996 \text{ kcal} = -255,38 \text{ kJ}$$

b) Reação de lixiviação da fluoroapatita com ácido clorídrico



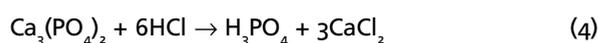
$$\Delta G^\circ_{\text{reação}} = \sum \Delta G^\circ_{\text{produtos}} - \sum \Delta G^\circ_{\text{reagentes}}$$

$$\Delta G^\circ_{\text{reação}} = -0,5 \text{ kcal} = -2,093 \text{ kJ}$$

Os valores das energias livres padrão de formação, utilizadas nos cálculos, foram extraídos das seguintes fontes: Pourbaix (1974), Latimer (1952) e Lide (1995).

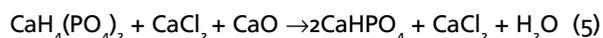
## 2.1. Rota clorídrica

A utilização de ácido clorídrico na decomposição de concentrados fosfatados gera um produto que consiste numa mistura de fosfato monocálcico e cloreto de cálcio, ou ainda, de ácido fosfórico e cloreto de cálcio, dependendo da quantidade de ácido que é utilizada, conforme está mostrado nas reações (3) e (4), a seguir:



A evaporação da solução obtida na reação (3) resulta na formação de um produto denso e viscoso, com uma consistência de lama, que é impróprio para ser utilizado como fertilizante, devido, principalmente, às propriedades higroscópicas do cloreto de cálcio nele contido.

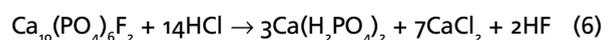
Assim, de acordo com Habashi (1985) e Habashi e Awwadalla (1988), a separação do cloreto de cálcio deve ser levada a efeito, tratando a lixívia resultante da equação (3) com cal, calcário ou uma outra fonte neutra de álcali, resultando na precipitação do fosfato dicálcico, como pode ser observado na reação (5).



Segundo Lapido Loureiro (2000) e Habashi (1985), a porção de  $\text{P}_2\text{O}_5$  contida no fosfato dicálcico não

é solúvel em água, sendo necessário que ocorra uma acidificação adicional para que possa ser ressolubilizado e, assim, ser utilizado como fertilizante. A necessidade de efetuar esses procedimentos e o valor comercial do HCl podem, no entanto, tornar o processo menos competitivo, em termos econômicos, em relação à rota clássica de ataque da fluoroapatita, que emprega ácido sulfúrico.

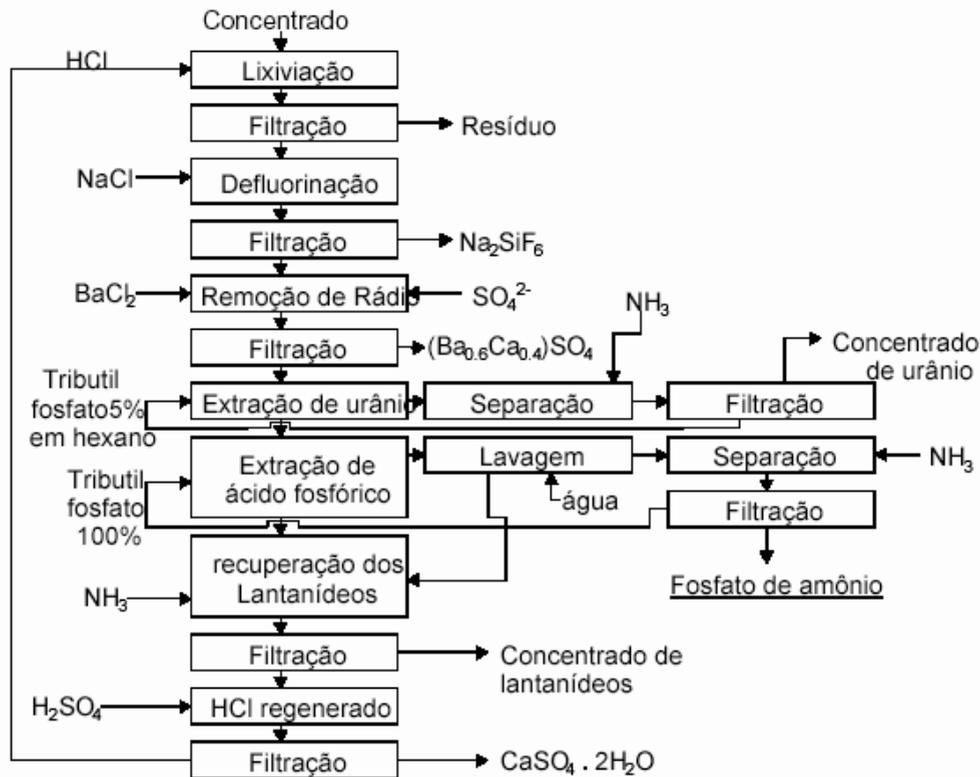
Portanto, a rota clorídrica para produção industrial de ácido fosfórico, a partir de concentrados de fluoroapatita ( $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$ ), pode ser ilustrada por meio das reações (5) e (6), a qual se vê abaixo, conforme Habashi *et al.* (1987).



Ainda, segundo Habashi *et al.* (1987), a rota clorídrica visando à produção de ácido fosfórico e seus derivados, nunca foi considerada seriamente porque, quando o ácido clorídrico era apenas um subproduto rejeitado do processo Leblanc, não se conheciam os fertilizantes. Um outro fator que contribuiu para esse desestímulo foi que a, então, crescente indústria têxtil, que era a principal demandante de ácido clorídrico, fazia com que a sua linha de produção priorizasse a geração de hipoclorito.

Nos anos 40, ocorreu uma nova oportunidade para a aplicação dos excedentes de HCl, que poderia ter sido aplicada na produção de fertilizantes fosfatados. Entretanto, a prioridade era a sua utilização na indústria de plásticos, que era baseada na produção de cloreto de polivinila, via cloração do etileno. Da mesma forma, há citações de que ocorreram sérios problemas quanto ao mais correto modo de armazenamento do HCl, fato que desestimulou a ampliação do uso deste ácido. Nesta mesma época, porém, os excedentes gerados do ácido foram absorvidos pela crescente indústria do magnésio. Assim, os excedentes de HCl foram direcionados para um outro setor que não o de fertilizantes fosfatados.

A Figura 2.1 mostra o fluxograma esquemático, proposto por Habashi *et al.* (1987), para o processamento de um concentrado fosfático, utilizando a rota clorídrica.



Fonte: Habashi *et al.*, 1987.

Figura 2.1 - Fluxograma esquemático do tratamento clorídrico de rochas fosfáticas.

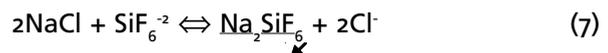
A seguir estão descritas, mais detalhadamente, as principais etapas da rota clorídrica, conforme proposto por Habashi (1985), Habashi *et al.* (1987) e Slack (1968), de acordo com o fluxograma acima.

### 2.1.1. Etapa de defluorinação

É sabido que as rochas fosfáticas contêm, aproximadamente, 4% (pp) de fluoreto e que, durante a lixiviação do concentrado, uma menor parte do fluoreto contido se volatiliza na forma de ácido fluorídrico (HF) e de tetrafluoreto de silício (SiF<sub>4</sub>). Estes subprodutos são, geralmente, recuperados em sistemas de captação e lavagem de gases. Um outro fator deletério é que uma maior quantidade de ácido fluorídrico em solução contamina o fertilizante produzido, diminuindo, portanto, a sua qualidade, conforme Lapidou Loureiro (2000) e Pereira (2001).

Assim, a adição de NaCl torna-se necessária para eliminar a ação deletéria dos ânions fluoreto, que

ocorre pela precipitação do fluorossilicato de sódio, segundo a reação (7):



De acordo com Pereira (2001), a precipitação de Na<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub> tem que ser conduzida à temperatura ambiente, utilizando 267 g de NaCl por litro de lixívia (segundo cálculos estequiométrico). Esse valor foi determinado após a realização de testes de defluorinação, usando diferentes quantidades de cloreto de sódio, mediante uma reação que se completou em 30 minutos.

### 2.1.2. Etapa de remoção do rádio

Segundo Habashi *et al.* (1987), a remoção de rádio da solução resultante pode ser feita mediante a adição de uma solução saturada de cloreto de bário (BaCl<sub>2</sub>) à lixívia. Em seguida, há necessidade de uma nova adição de uma solução de sulfato de sódio (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), com o objetivo de precipitar o sulfato de

bário ( $\text{BaSO}_4$ ), que é o carreador de rádio da solução e será separado após filtração.

Há citações na bibliografia referindo que o comportamento do rádio na rota clorídrica é bem diferente daquele em que a rocha fosfática é lixiviada com ácido nítrico. Tais citações afirmam que o produto gerado nessa etapa, o nitrato de bário ( $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ ), não é um eficiente carreador para o rádio sendo, portanto, necessária uma volumosa adição dos íons  $\text{Ba}^{+2}$ , para que ocorra a efetiva remoção do rádio da solução, de acordo com Habashi (1985) e Habashi *et al.* (1987).

### 2.1.3. Etapa de remoção de urânio

O urânio pode ser completamente extraído da solução lixiviada, utilizando-se como extratante o tributilfosfato (TBP). Porém, é aconselhável buscar uma concentração ideal de tributilfosfato, para que se evite a re-extração de ácido fosfórico, de urânio, bem como de outros constituintes, Habashi (1985) e Habashi *et al.* (1987). Segundo Slack (1968), na etapa de extração por solvente pode-se utilizar, ainda, o álcool butílico (n-BuOH) ou o álcool isoamílico, como alternativas ao tributilfosfato.

Entretanto, a etapa de extração de urânio pode ser mais seletiva e, conseqüentemente, mais eficiente, caso a concentração de tributilfosfato seja reduzida para aproximadamente 5% (v/v), na fase orgânica, já que nessa concentração, a re-extração de ácido fosfórico é desprezível, segundo Slack (1968).

### 2.1.4. Etapa de separação de cálcio

Ainda, de acordo com Habashi *et al.* (1987), o tributilfosfato (TBP) deve ser usado para separar o cloreto de cálcio do ácido fosfórico, haja vista a impossibilidade de sua separação da solução por cristalização ou precipitação.

O cloreto de cálcio que foi co-extraído deve ser seletivamente removido da fase orgânica, por meio de uma lavagem, utilizando uma quantidade mínima de água. Entretanto, esta operação deverá prover água suficiente para repor a quantidade estequiométrica de ácido clorídrico livre usado na

lixiviação do concentrado. É salientado, no entanto, que, se um excesso de ácido clorídrico for usado na etapa de lixiviação, uma apreciável quantidade de ácido ficará retida na fase orgânica, de acordo com Habashi (1985) e Habashi *et al.* (1987).

### 2.1.5. Etapa de recuperação de ácido fosfórico

A utilização do tributilfosfato é necessária, ainda, para a separação entre ácido fosfórico e o cloreto de cálcio. A extração da fase orgânica com água quente permite a recuperação do ácido fosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ), obtendo-se, assim, um ácido mais diluído do que o originalmente usado. Uma outra alternativa sugerida seria usar a adição de amônia gasosa diretamente na fase orgânica, onde haveria a precipitação do fosfato de monoamônio.

Entretanto, devemos ressaltar que esta alternativa, em termos práticos/operacionais e econômicos, é menos atrativa e seletiva do que o uso da etapa de extração por solventes.

### 2.1.6. Etapa de Recuperação de lantanídeos

Os lantanídeos podem ser extraídos da lixívia por meio da utilização de injeção de amônia. Essa precipitação deve ocorrer quando a lixívia apresentar um pH da ordem de 2,0. Da mesma forma que no caso anterior, entendemos que a adição de uréia seria operacionalmente e economicamente mais atraente do que o uso de injeção de amônia.

### 2.1.7. Etapa de regeneração de ácido clorídrico

Após a remoção dos íons fluorossilicato, do rádio, do urânio, do ácido fosfórico e dos lantanídeos da lixívia, obtém-se, então, um precipitado que consiste em gesso puro. Esse produto é obtido através da adição da quantidade estequiométrica de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) e, portanto, ácido clorídrico pode, assim, ser regenerado por uma reação de dupla troca, conforme mostra a reação (8).



Uma vez tendo sido feita uma abordagem introdutória e teórica a respeito das reações principais do processo de solubilização de um concentrado fluoroapatítico com ácido clorídrico, passa-

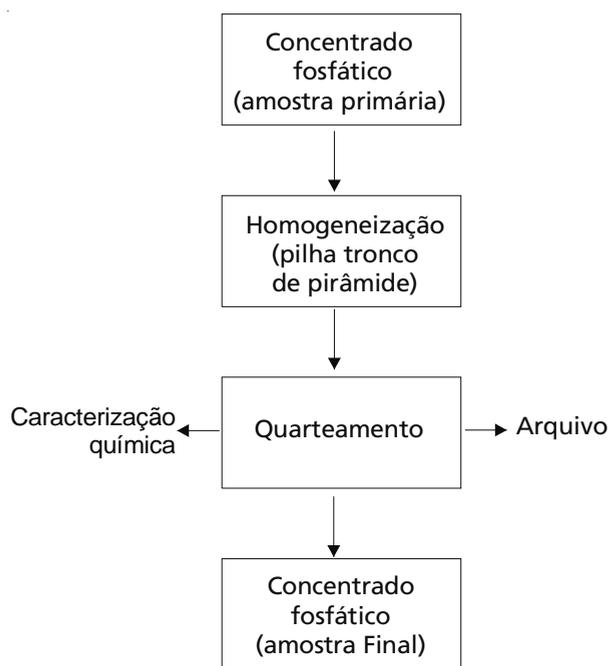
mos para um estudo de caso, no qual se utilizou um concentrado nacional, dito fluoroapatítico, que servirá de base para subsidiar as conclusões e recomendações que virão ao final deste capítulo.

### 3. Materiais e métodos experimentais

#### 3.1. Preparação da amostra do concentrado

De acordo com Goes *et al.* (1991), a amostra final de um dado material é representada por uma quantidade, que é resultante de uma etapa de preparação da amostra primária, possuindo massa e granulometria adequadas para a realização de testes exploratórios e/ou sistemáticos.

Visando obter amostras finais de um concentrado, dito de composição fósforo-uranífera (denominado C), as amostras primárias, tal como recebidas foram submetidas às etapas de classificação, homogeneização (em homogeneizador tipo Y) e quarteamento, após formação de pilha (tronco de pirâmide). Na Figura 3.1 está apresentado o fluxograma de blocos da metodologia adotada na preparação da amostra.



**Figura 3.1** - Diagrama de blocos da metodologia de preparação das amostras primárias do concentrado fosfático C.

#### 3.2. Análise química do concentrado fosfático C

A amostra do concentrado fosfático foi utilizada, em duplicata, nos ensaios preliminares de lixiviação sulfúrica e clorídrica.

A amostra primária do concentrado fosfático C apresentava massa inicial de 4,3kg. A composição química do material está mostrada na Tabela 3.1.

Como resultado da preparação da amostra primária do concentrado C, foram obtidas amostras finais com cerca de 200g de material, tendo sido encaminhada, ainda, uma alíquota de 1,3kg para as etapas de caracterização mineralógica e de análise granulométrica, por via úmida (Tabela 3.2).

**Tabela 3.1** - Composição química do concentrado fosfático C.

Composição	(%)
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	30,2
CaO	44,4
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,52
SiO <sub>2</sub>	8,82
F <sup>-</sup>	1,62
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,76
U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	0,20

Fonte: extraído e adaptado do RT2002-057-00 CETEM/MCT.

**Tabela 3.2** - Distribuição granulométrica do concentrado fosfático C (fração abaixo de 0,841 mm, normalizada para 100%).

Fração		% em peso		
mesh	mm	retido	acumulado	passante
+20	0,841	0,00	0,00	0,00
- 20 + 28	0,589	0,00	0,00	0,00
- 28 + 35	0,417	0,00	0,00	0,00
- 35 + 48	0,295	0,00	0,00	0,00
- 48 + 65	0,210	0,16	0,16	99,84
- 65 + 100	0,149	0,97	1,13	98,87
- 100 + 150	0,105	22,63	23,76	76,24
- 150 + 200	0,074	25,30	49,06	50,94
- 200 + 270	0,053	20,51	69,57	30,43
- 270 + 325	0,044	10,20	79,77	20,23
-325	0,037	20,23	100,00	0,00
Total		100,00		

Fonte: extraído e adaptado do RT2002-057-00 CETEM/MCT.

Verifica-se, na Tabela anterior, que a distribuição dos tamanhos de partícula é relativamente estreita. Está mostrado que 100% do material está abaixo de 48 mesh (0,295 mm), cerca de 65% está retido entre +65 e - 270 mesh (entre +0,149 mm - 0,053 mm), enquanto cerca de 30% está abaixo de 270 mesh (0,053mm).

### 3.3. Lixiviação do concentrado fosfático

O procedimento experimental relativo ao estudo de lixiviação do concentrado fosfático está apresentado na Figura 3.2.

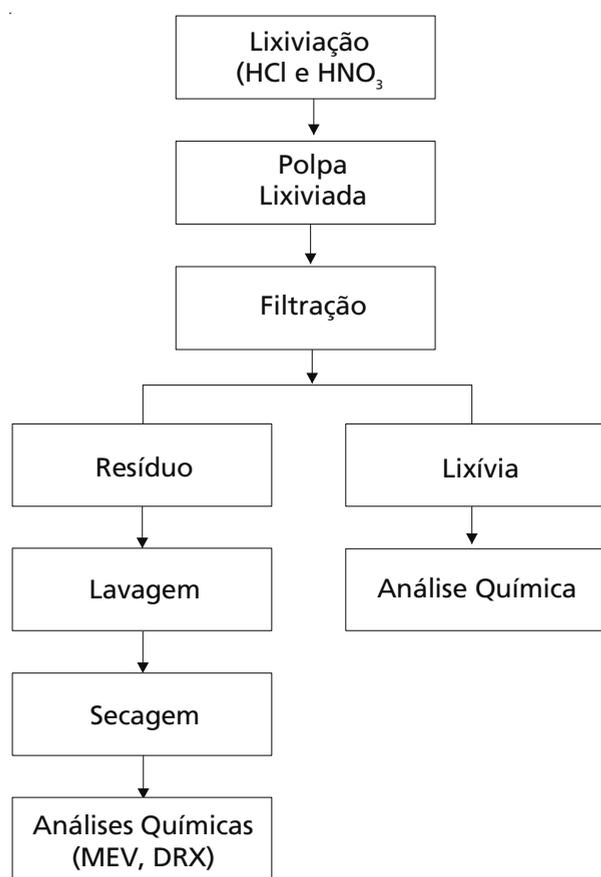


Figura 3.2 - Diagrama de blocos do procedimento adotado na etapa de lixiviação do concentrado fosfático C.

### 3.4. Ensaios de Lixiviação clorídrica e sulfúrica do concentrado fosfático C

Os ensaios de lixiviação sulfúrica foram usados como referência para o estudo específico com o ácido clorídrico.

Todos os ensaios de lixiviação clorídrica e sulfúrica do concentrado C foram realizados usando as seguintes condições experimentais: concentração do agente lixiviante (HCl 20% (6,5M); H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 50% (9,4M)); razão peso de sólidos : volume de líquido (1:2,5 e 1:5 correspondendo, respectivamente, a 400 g de concentrado em 1000 mL de solução de ácido, e relativo a 200 g de concentrado em 1000 mL); mantendo constante o tempo de lixiviação (3h) à temperatura ambiente.

Foram realizados 12 ensaios de lixiviação em reator de vidro Pyrex fechado, com agitação mecânica (400rpm), a qual foi suficiente para manter a polpa em suspensão, sem a formação de vórtice.

Após a etapa de lixiviação, realizou-se uma etapa de separação sólido-líquido, usando filtração à pressão reduzida, recolhendo-se a solução em um frasco kitassato. O resíduo da etapa de lixiviação foi submetido à secagem em estufa (60°C), durante 24h. As alíquotas das soluções das lixívia resultantes, bem como dos resíduos foram encaminhadas para análises químicas de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, CaO e fluoreto (F).

### 3.5. Caracterização mineralógica do concentrado fosfático C

A composição química das amostras do concentrado fosfático, de acordo com a análise mineralógica, está apresentada na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Composição mineralógica do concentrado fosfático C.

Amostra	C
apatita (%)	76
calcita (%)	10
outros* (%)	14

(\*) Outros minerais presentes, quartzo, albita e biotita.

Fonte: RT2002-057-00 CETEM/MMCT.

A Tabela 3.3 mostra um teor de apatita inferior a 80% para o concentrado C, em contraponto ao que outros autores, como Quinelato *et al.* (1989), indicam como sendo característicos para concentrados da mesma natureza, os quais são de uso

corrente pela indústria de fertilizantes no Brasil (acima de 85% em termos de apatita contida).

Por outro lado, a Tabela 3.4 mostra a composição química do concentrado C em termos dos teores de  $P_2O_5$  contido, bem como CaO e  $U_3O_8$ , os quais são de importância para o controle, a previsão de resultados e a definição do fluxograma do processo.

**Tabela 3.4** - Composição química do concentrado fosfático C.

Amostra	C
$P_2O_5$ (%)	30,2
CaO (%)	44,4
$U_3O_8$ (%)	2200

Fonte: RT2002-057-00 CETEM/MCT.

A Tabela 3.4 mostra que o concentrado tem uma composição, pelo menos, atípica em termos do percentual de  $P_2O_5$  contido, coerentemente, com o resultado da análise mineralógica do concentrado.

Entendemos que este teor é relativamente baixo, dado que os concentrados usados no Brasil apresentam, em média, teores 20% superiores ao verificado para o concentrado em foco, conforme mostra estudo anterior de Quinelato *et al.* (1989).

Os ensaios de lixiviação clorídrica e sulfúrica do concentrado fosfático C foram realizados em triplicata. Os resultados (após 3 horas de ensaio) de extração de  $P_2O_5$  estão apresentados na Tabela 3.5.

A Tabela 3.5 mostra os melhores resultados de extração de  $P_2O_5$ , após três horas de ensaio, sugerindo que o uso de condições que permitam o emprego de polpas mais diluídas favorece uma

**Tabela 3.5** - Extração de  $P_2O_5$  (%) em função da proporção de sólidos na polpa.

Agente Lixivante	Concentração calculada (Mol/L)	Razão (sol./liq.)	% Extração $P_2O_5$			Valor médio de extração $P_2O_5$ (%)
HCl 20%	6,5	1/5	88,0	87,7	88,1	87,9
HCl 20%	6,5	1/2,5	76,8	77,1	78,8	77,6
$H_2SO_4$ 50%	9,4	1/5	51,2	51,7	51,4	51,4
$H_2SO_4$ 50%	9,4	1/2,5	53,3	53,2	53,5	53,3

maior dissociação do ácido, permitindo, assim, a obtenção de maiores extrações de  $P_2O_5$  do concentrado, em especial, para o sistema que emprega ácido clorídrico.

Os resultados da Tabela 3.5 mostraram que, embora a energia livre de Gibbs do sistema que usa ácido sulfúrico ( $\Delta G^\circ =$  a cerca de  $-250kJ$ ) seja mais favorável para a solubilização de fluoroapatita, do que aqueles que usam ácido clorídrico (cerca de  $-3,0kJ$ ), a extração com HCl foi consideravelmente maior nas três primeiras horas de ensaio.

Entretanto, o acompanhamento da reação por 6 horas mostra que a solubilização é fortemente dependente do tempo quando se emprega ácido sulfúrico, como mostra a Tabela 3.6.

A Tabela 3.6 e a Figura 3.3, a seguir, ilustram o comportamento das reações após 6 horas de ensaio.

Assim, após 1h de ensaio, a extração de  $P_2O_5$  no sistema que usou ácido clorídrico, correspondeu a 232kg de concentrado fosfático por tonelada. A extração máxima foi equivalente a 240,1kg de  $P_2O_5$  por tonelada de concentrado fosfático, após 6h de ensaio, variando, pois, muito pouco em relação a primeira e terceira horas de ensaio.

Nos ensaios de lixiviação com  $H_2SO_4$ , nas 3h iniciais, a quantidade de  $P_2O_5$  extraída variou entre 180,1 e 217,2 kg por tonelada de concentrado fosfático, valores que são inferiores àqueles obtidos na lixiviação clorídrica.

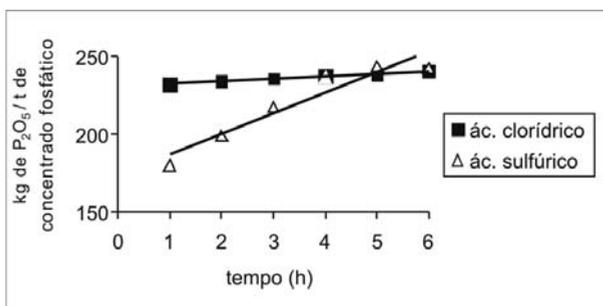
Entretanto, observou-se que após 4h de ensaio, a extração de  $P_2O_5$  alcançou valores significativamente altos, obtendo-se uma extração máxima de 242 kg de  $P_2O_5$  por tonelada de concentrado fosfático, quando se empregou ácido sulfúrico como agente lixiviante.

Observa-se, ainda, que a solubilização de  $P_2O_5$  com ácido clorídrico se mostrou, desde o início da reação, elevada, sendo mantida, praticamente, inalterada, enquanto a solubilização com ácido sulfúrico cresce, constantemente, ao longo das 6 horas de reação.

**Tabela 3.6** - Quantidade de  $P_2O_5$  extraída por tonelada de concentrado fosfático *versus* tempo de lixiviação.

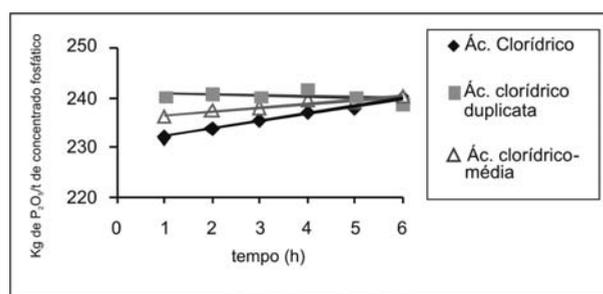
	Quantidade de $P_2O_5$ extraída do concentrado fosfático (kg/t)					
	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	6 h
HCl (12M)*	232,0	234,0	235,5	237,2	238,1	240,1
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (18M)*	180,1	198,9	217,2	236,4	243,3	242,0

(\*) Concentração molar referente à forma concentrada do ácido (P.A.).



**Figura 3.3** - Quantidade de  $P_2O_5$  extraída (kg) por tonelada de concentrado fosfático *versus* tempo de lixiviação (ensaios preliminares iniciais).

A Figura 3.4 mostra as curvas (inicial, duplicata e média) da quantidade de  $P_2O_5$  extraída por tonelada de concentrado fosfático C, resultantes dos ensaios de lixiviação, utilizando como agente lixiviante o ácido clorídrico.

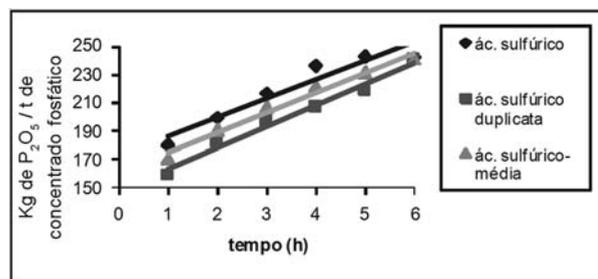


**Figura 3.4** - Influência do tempo de lixiviação sobre a quantidade de  $P_2O_5$  extraída (kg) utilizando o ácido clorídrico como agente lixiviante.

O fato de a variação da solubilização, no ensaio com ácido clorídrico, ter sido muito baixa pode representar um efeito negativo à solubilização, em função do excesso de íon comum, no caso o

cloreto, confirmando, assim, a tendência observada para a possibilidade de se usar concentrações de ácido inferiores a 12M, conforme apontado por outros autores.

A representação gráfica dos resultados obtidos com o ácido sulfúrico nos ensaios inicial e de duplicata, bem como a média desses valores está apresentada na Figura 3.5, a seguir.



**Figura 3.5** - Influência do tempo de lixiviação sobre a extração de  $P_2O_5$  (%) utilizando o ácido sulfúrico como agente lixiviante.

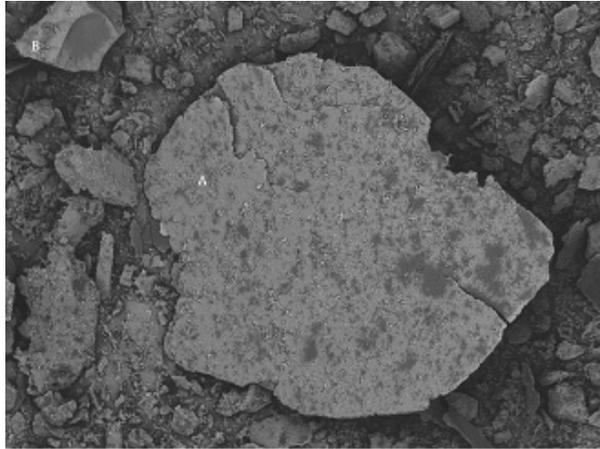
Observa-se um crescimento mais acentuado da extração de  $P_2O_5$  utilizando este agente lixiviante, quando comparado com o resultado da variação de extração no tempo, com o ácido clorídrico.

Constata-se, ainda, que, cineticamente, o emprego do ácido sulfúrico no ataque ao concentrado fosfático é mais favorável. Este fato é evidenciado por uma taxa média de solubilização (40 kg de  $P_2O_5$  por tonelada de concentrado fosfático, por hora) bastante superior à taxa média de solubilização quando se empregou o ácido clorídrico.

Estes valores obtidos nos ensaios de bancada são concordantes com aqueles obtidos em plantas industriais (Fosfertil/CIU- Complexo Industrial de Uberaba – SANTOS *et al.*, 2002), bem como em outros estudos efetuados em planta piloto (Projeto Itataia - recuperação de urânio contido no ácido fosfórico (Relatório Técnico Específico LABPC (n°01/89, 1989), da mesma forma que com aqueles apresentados por Slack (1968).

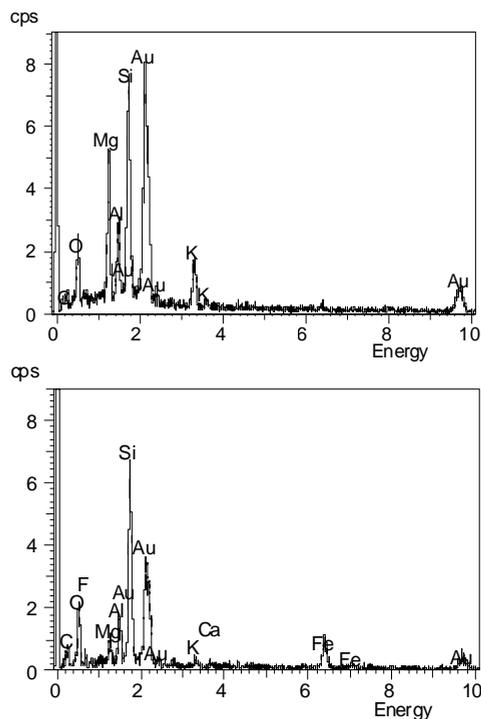
A Figura 3.6 mostra uma micrografia feita no microscópio eletrônico de varredura (MEV) do resíduo de lixiviação utilizando o ácido clorídrico como agente lixiviante, enquanto a Figura 3.7 mostra os

diferentes elementos que afloram nas partículas, após o ensaio de lixiviação.



Fonte: RT2002-057-00 CETEM/MCT.

**Figura 3.6** - Imagem de elétrons retro-espalhados obtida em MEV do resíduo de lixiviação utilizando ácido clorídrico.



Fonte: RT2002-057-00 CETEM/MCT.

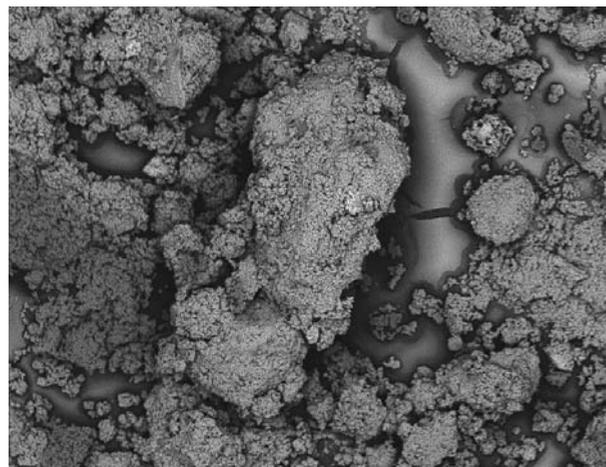
**Figura 3.7** - Espectros de EDS dos grãos A e B, respectivamente, da figura anterior, mostrando a composição superficial dos mesmos. Destaque para a mica (grão A).

Na Figura 3.6, destacamos dois grãos (A e B), sendo o primeiro (A) identificado como mica, enquanto os difratogramas, Figura 3.7, mostram a presença dos elementos magnésio, alumínio e, principalmente, silício, entre outros.

A análise deste resíduo, por DRX, corrobora com os resultados analíticos que permitiram os cálculos de extração de  $P_2O_5$ , uma vez que nos permite confirmar uma quantidade muito reduzida do elemento fósforo no resíduo analisado, visto que não foi passível de detecção por aquele método instrumental.

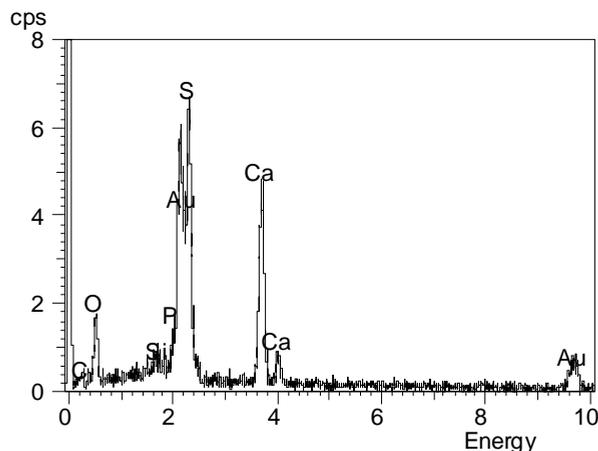
Por outro lado, uma micrografia obtida no microscópio eletrônico de varredura, feita no resíduo resultante da lixiviação do concentrado fosfático C2 com o ácido sulfúrico é mostrada, a seguir, na Figura 3.8, aparecendo em destaque, no centro, um aglomerado de grãos, de grande proporção, de sulfato de cálcio ( $CaSO_4 \cdot 2 H_2O$ ).

A Figura 3.9 mostra o difratograma, destacando a presença significativa de fosfogesso no resíduo, evidenciado pelos picos dos elementos cálcio, enxofre, oxigênio e fósforo.



Fonte: RT2002-057-00 CETEM/MCT.

**Figura 3.8** - Imagem de elétrons retro-espalhados obtida em MEV do resíduo de lixiviação utilizando ácido sulfúrico.



Fonte: RT2002-057-00 CETEM/MCT.

**Figura 3.9** - Espectros de EDS do grão em destaque, na figura anterior, caracterizando a presença do fosfogesso.

## 4. Conclusões

A partir dos resultados obtidos nos ensaios de lixiviação clorídrica e sulfúrica, que aqui foi considerado como o ensaio de referência, podemos concluir que:

- Foram atingidos elevados níveis de extração de  $P_2O_5$  (cerca de 95%), logo nas primeiras 3 horas de reação com ácido clorídrico, quando comparado com o ácido sulfúrico (entre 70 e 85% de extração).
- A extração global de  $P_2O_5$ , tanto no sistema que recorreu ao ácido clorídrico, quanto naquele que usou ácido sulfúrico, foi superior a 98%, corroborando com os rendimentos costumeiramente obtidos nas plantas industriais.
- Os resíduos dos ensaios de lixiviação com ácido clorídrico, quando examinadas ao microscópio eletrônico de varredura, mostraram a ausência de picos significativos de fosfato, confirmando os resultados da análise química.
- Por outro lado, as análises, por microscópio eletrônico de varredura, do resíduo dos ensaios de lixiviação com o ácido sulfúrico mostraram a existência de picos significativos de

sulfato de cálcio di-hidratado ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ), evidenciado pelos picos dos elementos cálcio, enxofre, oxigênio e fósforo, em menor proporção.

- O consumo de ácido clorídrico para lixiviar uma tonelada do concentrado foi calculado em 2,38 t de HCl/t de concentrado.
- O consumo de ácido sulfúrico foi calculado em 3,68t de  $H_2SO_4$ /t de concentrado.
- A vantagem mais significativa para o uso do ácido clorídrico se expressa em termos ambientais, uma vez que, para cada tonelada de concentrado fosfático usado neste estudo, são gerados cerca de 625 kg de um resíduo de cloreto de cálcio, que podem ser reusados.
- Por outro lado, no caso do sistema reacional que usa ácido sulfúrico, quando reage com o mesmo concentrado, resulta na geração de cerca de 600 kg de fosfogesso, que, em função das impurezas que retém por co-precipitação, sofre várias limitações, no seu aproveitamento, em especial os de origem sedimentar. Nos EUA, tem as possibilidades de reutilização, praticamente, inviabilizadas pela EPA.

## 5. Considerações finais

Antes de encerrar este capítulo, apresentaremos um conjunto de considerações, buscando reforçar os pensamentos que convergem para o entendimento de que alternativas de maximização de aproveitamento dos recursos minerais brasileiros devem ser estudadas, de modo a diminuir os impactos sobre as gerações futuras.

A indústria de fertilizantes fosfatados é reconhecida, mundialmente, como poluidora intensiva. Contribui, decisivamente, para isso o fato de a rota de produção de ácido fosfórico, usando ácido sulfúrico, não permitir, em termos econômicos, a recuperação de resíduos e/ou subprodutos de valor comercial (por exemplo, os elementos de terras raras) gerando, ainda, volumes consideráveis de fosfogesso impuro.

Por outro lado, há dois fatos que consideramos como excelentes oportunidades para quebrar este paradigma, a saber, de acordo com Lapido Loureiro (1997):

- o Brasil tem um excedente de ácido clorídrico, o qual é proveniente das linhas de produção de soda cáustica e cloro, que não é aproveitado plenamente pelo mercado;
- o Brasil não tem depósitos econômicos de enxofre elementar, que é a matéria-prima para a produção de ácido sulfúrico.

Embora o Brasil seja detentor de reservas consideráveis de minérios fosfatados, o consumo atual de ácido fosfórico e fertilizantes fosfatados está longe de suprir a demanda.

O Brasil que tinha dado um passo importante, desde os anos 60 até meados dos anos 80, no sentido de diminuir a dependência de importação dos fertilizantes NPK, não deu continuidade a estes ensaios, pelo menos, no que concerne aos processos químicos.

Assim, de acordo com Lapido Loureiro (1997), é de se prever que, com a ampliação das fronteiras agrícolas, bem como com o aumento da produtividade que o crescimento populacional nos impõe, se torne viável implementar novos complexos produtores de fertilizantes.

Entendemos, portanto, ser encorajadora a busca por processos mais integrados e verticalizados, de modo a se beneficiar, principalmente, do aproveitamento de subprodutos, em especial os elementos terras-raras (ETR), até agora, não aproveitados e na diminuição dos impactos causados pela geração do fosfogesso.

O Quadro 5.1 sumariza as possibilidades de aproveitamento de subprodutos a partir das rotas sulfúrica e clorídrica.

Do Quadro 5.1 acima se pode depreender que a rota clorídrica oferece mais opções para que se recuperem os resíduos do processamento do que a rota sulfúrica.

Destacamos que esta situação privilegiada para a rota clorídrica está fortemente associada à geração de cloreto de cálcio e, ainda, à possibilidade de recuperar, isoladamente, um concentrado dos elementos das terras-raras (ETR).

No caso da rota sulfúrica ocorre a co-precipitação dos ETR com o fosfogesso, além do arraste de urânio e outras impurezas, fato que tem dificultado o seu reaproveitamento, até então.

Estes fatos, por si só, já justificariam a realização de estudos técnicos-econômicos mais detalhados para melhor definir a viabilidade do emprego de rotas alternativas no processamento dos minérios e/ou concentrados fosfatados nacionais.

Alie-se a estes fatos a constatação de que o emprego da rota clorídrica pode trazer uma economia significativa para o custo operacional do processo, em relação ao ácido sulfúrico. Tomando como base os resultados apresentados anteriormente neste capítulo, observa-se que:

- o consumo de ácido sulfúrico para dissolver uma tonelada do concentrado fluoroapatítico usado neste estudo foi calculado em 3,68 toneladas/tonelada de concentrado, correspondendo a uma recuperação de  $P_2O_5$  de 98,9%;
- o consumo de ácido clorídrico para a mesma massa do concentrado foi calculado em 2,38 toneladas/tonelada de concentrado, correspondendo a uma recuperação de  $P_2O_5$  calculada em 98,2%.

Considerando que o custo do ácido sulfúrico seria de R\$450,00 por tonelada e que o custo do ácido clorídrico seria da ordem de R\$340,00 por tonelada (segundo informações coletadas com fornecedores nacionais, em dezembro de 2007), pode-se fazer um exercício estimativo da diminuição do custo associado ao uso de ácido clorídrico em substituição do uso de ácido sulfúrico.

Assim, para o consumo de ácido clorídrico, resultaria um custo estimado em R\$ 824,00 por tonelada de concentrado, enquanto, para o ácido sulfú-

rico, o custo foi estimado em R\$2.046,50 por tonelada de concentrado.

Reiteramos, portanto, a importância de que sejam realizados esforços coordenados de P&D, preferencialmente, em parceria com empresas do setor,

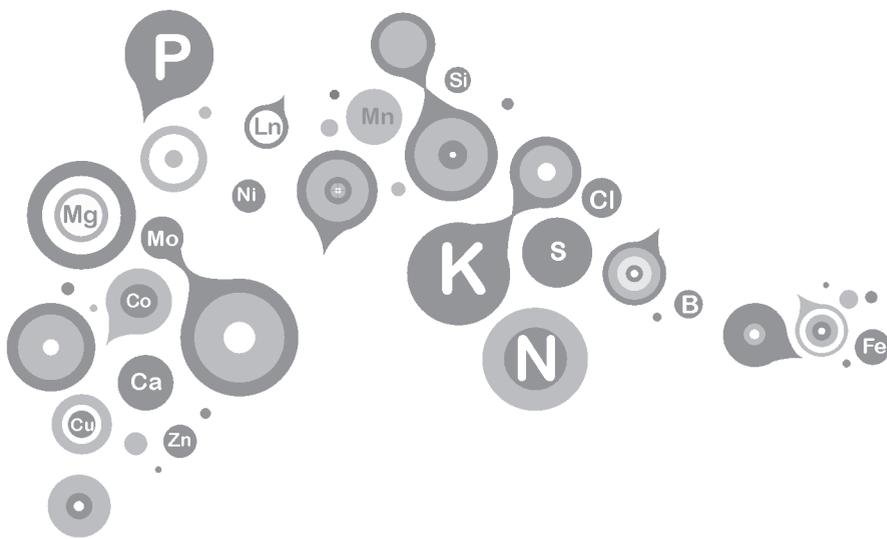
para se testarem novos fluxogramas alternativos de processos, em escala laboratorial e piloto, considerando a peculiaridade da distribuição geográfica de nossas fontes de minérios fosfatados e as de produção dos ácidos sulfúrico e clorídrico.

**Quadro 5.1** - Utilização industrial de alguns dos subprodutos obtidos nas diferentes rotas estudadas

Subproduto	Fórmula molecular	Utilização de Subprodutos	Rota que possibilita o aproveitamento
Fluoreto de hidrogênio	HF	como catalisador, especialmente na indústria do petróleo (alquilação de parafinas); em processos químicos de fluoretação; na separação de isótopos de urânio e na obtenção de compostos à base de fluoreto.	* Rota clorídrica * Rota sulfúrica
Hexafluorosilicato de sódio	Na <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub>	fabricação de vidros opalinos; como exterminador de insetos e veneno para roedores; como esmalte de porcelanas e em tratamentos químicos de roupas de lã.	* Rota clorídrica * Rota sulfúrica
cloreto de cálcio	CaCl <sub>2</sub>	na forma de anidrido é usado como agente desidratante de líquidos orgânicos e gases, enquanto as formas dihidratada e hexahidratada são usadas como coagulantes na fabricação da borracha, na preservação de madeira, na fabricação de cimento e nas misturas de concreto, bem como em tecidos de algodão.	* Rota clorídrica
Sulfato de cálcio dihidratado	CaSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O	usado na fabricação do cimento Portland; na preparação de solo para neutralizar os carbonatos alcalinos; na prevenção de perdas de compostos nitrogenados voláteis e dissolvidos nos processos de lixiviação; na fabricação de marmores artificiais; na fabricação de ácido sulfúrico, de CaC <sub>2</sub> , de (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> e de polímeros porosos; para fins farmacêuticos; como carga de papel; como pigmento branco; em esmaltes e vernizes e na fabricação de gesso.	* Rota sulfúrica
Composto de urânio	U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	U <sup>235</sup> é usado em aplicações nucleares; enquanto que o U <sup>234</sup> e U <sup>235</sup> são usados como combustíveis nucleares em reatores.	* Rota clorídrica * Rota sulfúrica

## Referências bibliográficas

- ALBUQUERQUE, G. A. S. C., Contribuição à implantação de um novo pólo de fertilizantes no Nordeste do Brasil, Monografia apresentada à EPUSP, São Paulo, 134 p., 2000.
- ALCOVER NETO, A.; OLIVEIRA, C. H., Caracterização Mineralógica de Concentrado Fosfático C de Itataia/CE, RT2002-057-00, CETEM/MCT, 2002.
- ARMAN, A e SEALS, R. K. – A preliminary assessment of utilization alternatives for phosphogypsum. In: *Proc. Of Third Intern. Symp. On Phosphogypsum*. Orlando. FL. FIPR Pub. nº 01-060-083, Vol. 2, p. 562 – 75, 1990.
- BERISH, C. W. – Potential environmental hazard of phosphogypsum storage in central Florida. In: *Proc. of the Third Intern. Symp. on Phosphogypsum*, Orlando, FL. FIPR Pub. nº 01-060-083, Vol. 2, p. 1-29, 1990.
- CARMICHAEL, J.B. – Worldwide production and utilization of phosphogypsum. In: *proc. of second intern. symp. on phosphogypsum*, Miami, FL, FIPR Pub. nº 01-037-055, Vol. 1, p.105-16, 1988.
- GOES, M. A. C. *et al.*, Amostragem de minérios, CETEM/CNPq, *Série de Tecnologia Mineral*, 48p., 1991.
- HABASHI, F. e AWADALLA, F.T., In situ and dump leaching of phosphate rock. *Ind. & Eng. Chem. Res.*, 27, 11: 2165-9, 1988.
- HABASHI, F., Trends in fertilizer technology and its impact on the environment. *Materials and society*, 9 (3): 393-409, 1985.
- HABASHI, F.; AWADALLA, F.T. e XIN-BAO, Y., The Hydrochloric Acid Route for Phosphate Rock, *J. Chem. Tech. Biotechnol.*, 38, p.115-126, 1987.
- LAPIDO LOUREIRO, F. E. de V., Problemática da produção de ácido fosfórico seguindo as rotas clorídrica e nítrica, com recuperação de subprodutos: estado de arte, CETEM, 2000.
- LAPIDO LOUREIRO, F. E. de V., A indústria de fosfatos no Brasil: rumos alternativos para aproveitamento de subprodutos e redução de impactos ambientais, Monografia, 67 p., CETEM, Biblioteca / TOMBO 000088, 1997.
- LATIMER, W.M., The Oxidation States of the Elements and their Potential in Aqueous Solutions, Prentice-Hall, Inc., 1952.
- LIDE, R. D. e FREDERIKSE, H. P. R., Handbook of Chemistry and Physics. CRC Press, INC., 75<sup>th</sup> edition, 5, p.4-47, 1994-1995.
- MENDES, C.S.; OLIVEIRA, L; J.; SILVEIRA, I. L., Termofosfato magnesiano: Uma alternativa à agricultura brasileira, Mensagem Econômica, Belo Horizonte, nº 301, p. 32-34, 1985.
- PEREIRA, F., Production D'acide Phosphorique par Attaque de Minerais Phosphates en Utilisant HCl en tant Qu'agent Lixiviant, Recuperation des Terres Rares comme Sous-produits, Centre SPIN, *Département de Géochimie*, 87p, 2001.
- POURBAIX, M., Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions, *National Association of Corrosion Engineers*, Houston, 1974.
- QUINELATO, A. L. *et al.*, Relatório Técnico Específico LABPC nº 01/89, CNEN, 1989.
- RUTHERFORD, P.M.; DUDAS, M. J. e SAMEK, R.A. – Environmental impacts of phosphogypsum. *The Science of Total Environment*, 149: 1-38, 1994.
- SANTOS, R. C. *et al*, Produção de fosfato no Brasil: complexo de mineração de Tapira/ Fosfertil; Comunicação técnica ao XIX Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa - Recife, PE, 26-29 de novembro 2002a. v.1, p.431-438.
- SANTOS, R. C. *et al.*, Produção de fosfato no Brasil: complexo de mineração de Catalão/ Ultrafertil; Comunicação técnica ao XIX Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa - Recife, PE, 26-29 de novembro 2002b. v.1, p. 439-445.
- SHREVE, R. N.; BRINK JR., J. A., Fabricação de Ácido Fosfórico por Via Úmida para Fertilizantes e Sais, *Indústrias de Processos Químicos*, p.224, 1997.
- SILVA, G. A., Termofosfatos. In: Encontro Nacional de Rochas Fosfáticas, Brasília, Anais IBRAFOS, p. 36-44, 1979.
- SLACK, A.V.; Phosphoric Acid, v.1, 501p., 1968.



# 5 Concluindo

**Capítulo 25** Nutrição de plantas, fertilidade do solo, adubação e a economia brasileira

## “Entre Aspas”

*.../ Os economistas falam de educação como capital humano .../. Mas a educação faz mais do que isso. Ela abre as cabeças para a noção de que a mudança é possível e que há outras maneiras de organizar a produção, na medida em que ensina os princípios básicos da ciência moderna e os elementos do raciocínio analítico aumentando a capacidade de aprender. (STIGLITZ, 2007).*

*Também é desejável que ao agricultor seja dada a alternativa de produzir alimentos e combustíveis, duas fontes de energia essenciais para a manutenção da vida e desenvolvimento das atividades humanas no planeta. Sendo o solo a fonte primária dessas matérias-primas, conjuntamente com a água e a luz solar, os cuidados devem ser redobrados para manter os recursos naturais. (J. DÍLCIO ROCHA, J. MESA PEREZ & L.A. CORTEZ, 2008)*

*A realidade é sempre mais rica e complexa do que o conhecimento que chegamos a ter dela. (Leandro Konder)*

*A cultura do possível é preguiçosa e acomodada. A grande cultura é a cultura do impossível. Quando há possibilidade, há acomodação; quando há impossibilidade, há desafio. (EDUARDO PORTELA)*

*.../ criativo é aquele que consegue ver conexões e estabelecer pontes entre assuntos que, para a maioria, são completamente independentes (MARCELO GLEISER).*

*As pessoas são consideradas utopistas até que as Idéias se realizem (SUSAN GEORGE).*

*O conhecer modifica o conhecido. O desconhecido é uma bomba-relógio tiquetaqueando e pronta para implodir (ou não) o edifício do saber estabelecido - uma ameaça pulsando em tudo o que se mantém de pé. .../ Para quem busca o conhecimento, portanto, e não o ópio de crenças bem enraizadas no solo do acreditar, surpresas e anomalias são achados valiosos. .../ O conhecimento, embora contingente e nem sempre cumulativo, não só existe como admite gradações: conhecer é uma questão de grau. (GIANNETTI, 2006).*

*A "mineração" dos nutrientes é parte do custo de produção das culturas, mas é normalmente um custo escondido que não é passado aos consumidores. Sob tais circunstâncias, o uso de recursos públicos para ajudar a repor esses nutrientes pode ser justificável, especialmente no caso em que a situação financeira dos agricultores é precária (In: ISHERWOOD, 2000)*

*De fato, de acordo com o IFDC, 1999 e o IFPRI, 1999, "a maioria dos cereais apresentou aumento de produtividade na América Latina nos últimos 20 anos, mas isso ocorreu à custa dos estoques de nutrientes do solo que suportam essas culturas. A maioria dos ecossistemas na América Latina está, em realidade, exaurindo os nutrientes minerais dos solos, o que pode diminuir sua capacidade para continuar a produzir alimentos. Áreas mais críticas, onde essa capacidade parece ser mais ameaçada, encontram-se no nordeste do Brasil e partes da Argentina, Bolívia, Colômbia e Paraguai". (Fonte: IFDC, e IFPRI, 1999 e 1989).*

# Capítulo 25 - Nutrição de plantas, fertilidade do solo, adubação e a economia brasileira

## Os autores

### Eurípedes Malavolta (*in memoriam*)

Engenheiro Agrônomo D.Sc., Professor Catedrático, Pesquisador Permissionário do CENA/USP, Bolsista do CNPq.

### Milton Ferreira Moraes

Engenheiro Agrônomo (UFG), Mestre em Gestão de Recursos Agroambientais (IAC). Bolsista FAPESP. E-mail: [moraesmf@yahoo.com.br](mailto:moraesmf@yahoo.com.br)

## 1. Funções do agronegócio

São conhecidas as funções do agronegócio, algumas clássicas e uma mais recente, que representa a contribuição brasileira:

- produção de alimento e fibra em escala crescente – abastecimento local e exportação;
- produção de energia renovável – álcool, biodiesel e outras fontes alternativas.

Estas duas funções, num cenário sustentável, têm que ser exercidas em obediência à economia de mercado (leia-se sem subsídio) e sem dano irreversível ao ambiente. O fim maior das duas funções é a geração de riqueza e a ocupação de mão-de-obra em todos os elos da cadeia produtiva.

## 2. O agronegócio no Brasil

Na Tabela 2.1, aparecem os principais produtos que compõem o agronegócio brasileiro, mostrando a participação do País como produtor e o lugar que ocupa no comércio internacional (DAHER, 2006).

Tabela 2.1 - Principais produtos do agronegócio brasileiro.

Produto	Produtor	Exportador
	Posição Mundial	
Café	1º	1º
Açúcar	1º	1º
Suco de laranja	1º	1º
Carne bovina	2º	1º
Soja e derivados	2º	1º
Carne de frango	3º	1º
Algodão	6º	3º

## Quantificação em 2004

- Volume: R\$ 534 bilhões (cerca de 30% do PIB de 1.776 bilhões);
- exportações: US\$ 30,6 bilhões;
- 42% do total, 17 milhões de trabalhadores, no campo e 37% dos empregos.

## 3. A cadeia produtiva

A cadeia produtiva é, na verdade, uma teia que pode ser mais ou menos complicada ou complexa, dependendo do produto considerado. O modelo linear seguinte é uma simplificação muito geral para os fins desta discussão, sem nenhuma outra pretensão. Note-se que todos os passos são de mão dupla, o que indica a reversibilidade dos mesmos ou, melhor dizendo, a comunicação e interação entre os participantes de todo o processo:

Pesquisa ⇔ Extensão ⇔ Aplicação ⇔ Produção  
⇔ Comercialização

São atores ou participantes:

- (a) pesquisador – deve responder, por meio da experimentação e da pesquisa, às perguntas do agricultor, da empresa agrícola, da indústria, dos órgãos públicos envolvidos no negócio exportador; o “produto da pesquisa” pode ser um cultivar melhorado, uma variedade transgênica, uma prática cultural, sistema de plantio que conserve ou melhore a fertilidade do solo;

- (b) **extensionista** – “põe o homem que tem perguntas em contato com o homem que tem respostas para causar mudanças permanentes de atitude”; a extensão deve ser exercida em todos os níveis, do Palácio do Planalto até o campo, passando pela Câmara e pelo Senado;
- (c) **aplicação** – é feita pelo agricultor, empresa agrícola, agropecuária, agroindustrial ou pela família rural;
- (d) **produção** – em quantidade e qualidade é consequência do processo como um todo;
- (e) **comercialização** – feita pelo agricultor, empresa, associação ou cooperativa, no mercado interno ou externo; é o último passo em que o trabalho do produtor é recompensado e a riqueza aparece.

Como se vê, o governo não figura como um dos atores. Ele está, entretanto, participando de toda a cadeia:

- pesquisa – financiamento e política específica;
- extensão – valorização;
- aplicação – meios para produção e sua garantia; política agrícola abrangente, sem o que não haverá produção;
- comercialização – desde infra-estrutura viária, hidroviária, ferroviária até facilidades para exportar.

O governo está, pois, subjacente em todos os elos da cadeia. Ele poderá robustecê-los ou torná-los mais fracos, dependendo da oportunidade da sua participação.

#### 4. Geração de conhecimento tecnológico

Como já foi mencionado, a geração de conhecimento tecnológico é tarefa do pesquisador, o qual deve estar em contato direto com o produtor ou a empresa e com o extensionista, conforme o caso.

Conhecimento tecnológico, como se viu, é um termo que contempla desde uma semente melhorada até uma prática cultural conservacionista. Isto porque a produção é função de fatores, que agem

e interagem até a colheita e, às vezes, na pós-colheita. É o que indica a equação seguinte:

$$Y = f (S, Cl, Pl, Pc, Pm...)$$

Onde:

Y = produção

S = solo, corretivo, fertilizante

Cl = clima

Pl = planta, espécie, cultivar

Pc = práticas culturais, sistema de plantio, aração, gradagem...

Pm = pragas e moléstias

Para a discussão presente tem-se que modificar a equação admitindo-se que a única variável, a variável dependente, seja S, isto é:

$$Y = f (S)$$

[Cl, Pl, Pc, Pm...]

Em outras palavras, clima, planta, práticas culturais, pragas e moléstias seriam constantes, o que pode ser verdadeiro para uma dada *Pl* em um dado local. Deve-se ter presente, por outro lado, que a relação direta, por hipótese, entre *S* e produção, somente é verdadeira se não houver outro fator limitante entre os que determinam a dita produção e a qualidade do produto. A Lei do Mínimo é mais geral do que se pode pensar.

#### 5. A variável solo, corretivo, fertilizante

Quando se consideram as três fertilidades, que são compartimentos que se comunicam, a física, a química e a biológica, é dada maior atenção à segunda. As análises de solo se concentram nos componentes químicos. Entre eles, somente um, a matéria orgânica, está relacionado com a fertilidade biológica. Análises físico-mecânicas, como a densidade, por exemplo, não fazem parte da rotina. Segue-se daí que se admite que fertilidade química é a mais limitante, ou melhor, a falta dela.

As limitações na fertilidade dos solos da América Tropical, na qual está parte do Brasil, estão ilustradas na Figura 5.1, preparada com dados de

Sanchez e Salinas (1981). É possível que haja alguma diferença na ordem relativa no caso brasileiro: a deficiência de P é mais freqüente que a de N e, em seguida, viria a de S. A Tabela 5.1, reproduzida de Malavolta (1992), mostra a fertilidade química comparada dos solos do cerrado, da Amazônia e de um considerado "adequado" para as culturas em geral. A falta de nutrientes, macro e micro, e a acidez são evidentes, o que aponta para a necessidade de fertilizantes e corretivos.

A equação que define a adubação é ilusoriamente simples:

$$(M) \text{ Fertilizante} = [(M) \text{ fornecimento} - (M) \text{ exigência}] f$$

Onde:

M = macro ou micronutriente;

fornecimento = contribuição do solo;

exigência = necessidade da cultura para completar o ciclo de vida;

f = fator maior que 1 para compensar perdas diversas do adubo (volatilização, lixiviação, erosão, fixação).

Como se percebe, a resolução da equação requer a participação de várias disciplinas das ciências agrônômicas. Na verdade, consiste em dar resposta uma série de perguntas, tais como:

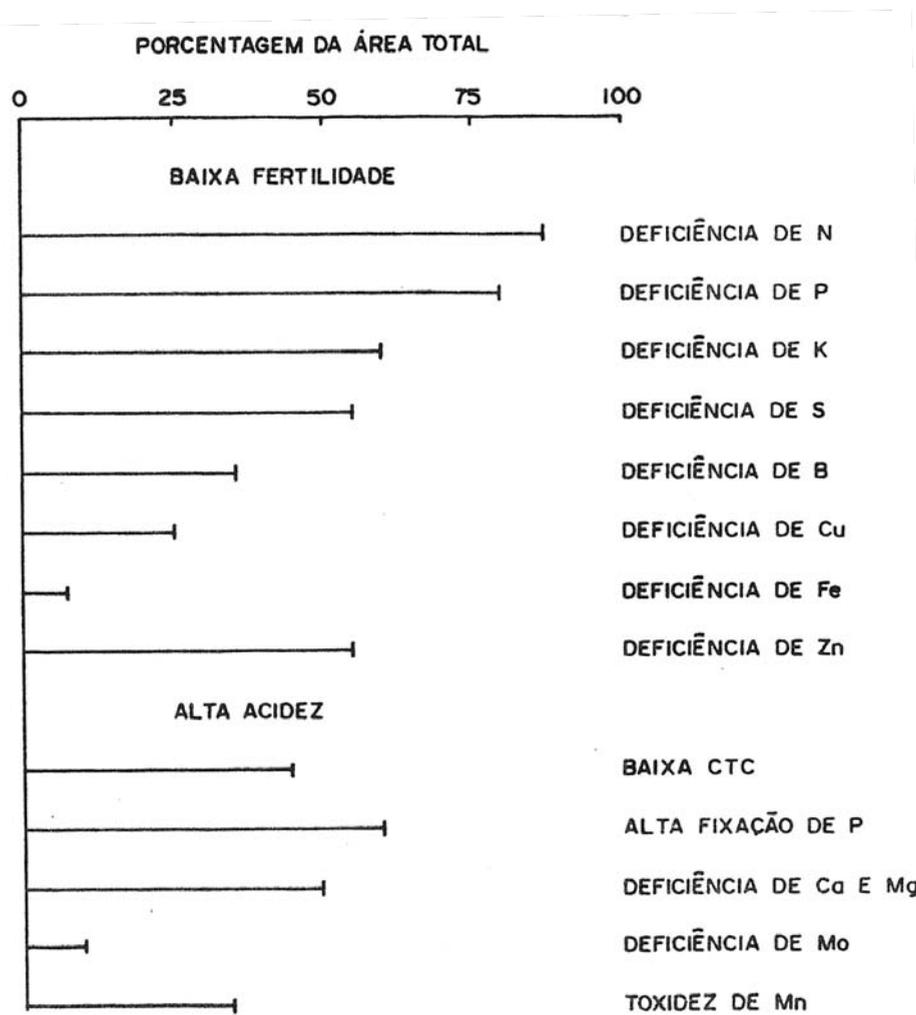


Figura 5.1 - Estimativa da extensão da acidez e das limitações da fertilidade nos solos da América Tropical.

- (1) **O que e quanto?** – Qual ou quais os elementos em falta e em que doses deve(m) ser aplicado(s)? A amostragem no campo e os resultados do laboratório de análise, estabelecerão as doses de fertilizantes a serem usadas.
- (2) **Quando?** - Em que época ou épocas o adubo deve ser aplicado? A Fertilidade ensina o comportamento do fertilizante no solo, a Nutrição Mineral de Plantas, além de contribuir com a informação da exigência, mostra também os períodos em que a mesma se manifesta mais ou menos durante o ciclo.
- (3) **Como?** – A localização do adubo em relação à semente ou à planta em desenvolvimento ou em produção, em um dado momento, depende do seu comportamento no solo, é assunto

**Tabela 5.1** - Comparação entre solos “adequado”, do cerrado e da Amazônia.

Característica	Adequado	Cerrado	Amazônia <sup>(1)</sup>
N (%)	0,13 – 0,16	0,09	0,13
pH (H <sub>2</sub> O)	6,0 – 6,5	5,0	4,5
P disponível (ppm) <sup>(2)</sup>	10 – 15	0,4	1,6
S-SO <sub>4</sub> (ppm)	10 – 15	7	?
Trocáveis (meq/100 ml)			
K <sup>+</sup>	0,20 – 0,30	0,08	0,10
Ca <sup>+2</sup>	3 – 4	0,25	0,48
Mg <sup>+2</sup>	1 – 1,5	0,09	0,23
Al <sup>+3</sup>	< 0,6	0,6	0,5
% T			
K <sup>+</sup>	3,0 – 5,0	1	1
Ca <sup>+2</sup>	50 – 60	10	6
Mg <sup>+2</sup>	10 – 15	10	3
V (%)	50 – 70	30	10
Saturação em Al	< 30	59	44
B ppm <sup>(3)</sup>	0,5 – 1	0,10	?
Cu <sup>(2)</sup>	0,8 – 1,6	0,6	?
Fe <sup>(2)</sup>	30 – 40	32	?
Mn <sup>(2)</sup>	10 – 20	8	?
Zn <sup>(2)</sup>	1 – 5	0,6	?

(1) Média ponderada LA, LVA e PVAd; (2) Mehlich 1; (3) Água quente.

de Fertilidade; como amarrar o guiso no rabo do gato é tarefa de Adubos e Adubação.

- (4) **Efeito na qualidade?** - Dose, época, localização devem contribuir para a qualidade do produto, avaliada por empresas ou particulares ou pela dona-de-casa.
- (5) **Efeito no meio?** - Dose, época, localização devem contribuir para garantir a qualidade do ar e da água.
- (6) **Pagará?** - como ensinou Mestre Pimentel-Gomes, o agricultor (ou a empresa agrícola) não aduba para que o agronegócio cumpra as suas funções, mas para ter lucro; para que isso aconteça, princípios de Economia Rural, conhecimento do mercado (saber vender) devem ser conhecidos; Adubos e a Adubação deve fazer *f* tender para 1.

Não se pode esquecer, entretanto, sob pena de não se colher os benefícios da adubação, que a acidez excessiva, como mostra a Figura 5.1, é dos fatores do solo que com maior frequência limita a produção. É verdadeira a afirmação: “A adubação começa com a análise do solo e da folha, continua com a correção da acidez e termina com a aplicação do fertilizante”.

A Tabela 5.2, feita com dados da Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA), mostra a evolução do consumo de adubos no Brasil. Considerando-se os dois extremos da estatística, vê-se que houve um aumento de 108 vezes.

A Tabela 5.3 compara o consumo de fertilizantes e de calcário nos anos 1980 a 2005. A relação varia entre o mínimo de 0,84 e o máximo de 1,84.

Esses números sugerem *déficit* aparente no consumo de calcário, necessário em doses de toneladas por hectare, enquanto as doses de adubo não chegam, geralmente, a mil kg de produto por hectare, na maioria das culturas. É procedente pensar-se, pois, que a acidez esteja frustrando, em parte, a resposta à adubação.

Tabela 5.2 - Consumo aparente/fertilizantes entregues\*.

Ano	Nitrogênio	Fósforo	Potássio	NPK	Toneladas				Produto
					Fórmula Média (%)				
					N	P	K	TOTAL	
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O		N	P	K	TOTAL	
1950	14.187	50.836	23.523	88.546	6,5	22,6	10,3	39,4	224.600
1951	18.561	73.569	28.709	120.839	6,5	22,6	10,3	39,4	306.500
1952	10.605	46.923	15.347	72.875	6,5	22,6	10,3	39,4	184.900
1953	20.579	64.816	31.226	116.621	6,5	22,6	10,3	39,4	295.800
1954	17.762	77.389	28.348	123.499	6,5	22,6	10,3	39,4	313.300
1955	22.951	88.575	49.523	161.049	6,5	22,6	10,3	39,4	408.500
1956	30.238	93.559	41.632	165.429	6,5	22,6	10,3	39,4	419.700
1957	28.558	118.689	60.189	207.436	6,5	22,6	10,3	39,4	526.200
1958	41.390	143.349	65.082	249.821	6,5	22,6	10,3	39,4	633.600
1959	44.785	124.005	57.425	226.215	6,5	22,6	10,3	39,4	574.300
1960	66.760	131.591	106.146	304.497	8,6	16,9	13,6	39,1	776.600
1961	54.810	116.363	73.004	246.177	7,8	16,8	10,4	35,0	703.200
1962	50.879	117.519	68.447	236.845	7,4	17,0	9,9	34,2	691.800
1963	65.212	156.818	92.015	314.045	7,3	17,5	10,3	35,0	896.600
1964	50.808	135.052	69.504	255.364	6,6	17,5	9,0	33,0	773.700
1965	66.569	120.097	99.732	286.398	7,6	13,7	11,4	32,6	878.700
1966	71.134	116.648	93.337	281.119	8,1	13,3	10,6	31,9	880.300
1967	103.382	204.606	136.937	444.925	8,0	15,9	10,6	34,5	1.288.100
1968	144.320	273.094	184.295	601.709	8,9	16,9	11,4	37,2	1.618.700
1969	164.430	265.667	200.290	630.387	10,1	16,4	12,3	38,8	1.623.700
1970	275.936	415.938	306.692	998.566	10,1	16,4	12,3	38,8	2.573.600
1971	278.324	535.854	350.846	1.165.034	9,5	18,4	12,0	40,0	2.916.100
1972	411.605	875.184	459.984	1.746.773	9,8	20,8	10,9	41,5	4.205.100
1973	346.102	804.512	528.532	1.679.146	8,6	19,9	13,1	41,6	4.037.200
1974	389.183	914.151	521.302	1.824.636	9,0	21,2	12,1	42,3	4.317.000
1975	389.232	993.718	511.256	1.894.206	8,5	21,7	11,2	41,4	4.572.500
1976	481.542	1.285.378	697.984	2.464.884	8,0	21,3	11,6	40,9	6.030.700
1977	688.623	1.569.928	927.165	3.185.716	9,3	21,2	12,5	43,0	7.415.400
1978	702.243	1.530.992	989.151	3.222.386	9,4	20,5	13,2	43,1	7.472.900
1979	778.653	1.685.012	1.103.374	3.567.039	9,4	20,2	13,2	42,8	8.331.400
1980	905.560	1.968.486	1.306.573	4.200.619	9,3	20,3	13,4	42,9	9.784.700
1981	667.840	1.319.243	766.646	2.753.729	9,8	19,3	11,2	40,3	6.827.500
1982	643.613	1.198.475	876.382	2.718.470	9,7	18,0	13,2	40,9	6.644.700
1983	553.141	991.829	727.063	2.272.033	9,1	16,3	12,0	37,4	6.075.700
1984	823.936	1.554.534	1.076.038	3.454.580	10,5	19,8	13,7	43,9	7.862.900
1985	751.314	1.257.056	1.060.196	3.068.566	9,4	15,6	13,3	38,5	7.978.568
1986	895.234	1.500.896	1.276.003	3.672.133	9,3	15,6	13,2	38,1	9.651.334
1987	880.805	1.503.815	1.302.307	3.686.927	9,1	15,6	13,5	38,2	9.645.544
1988	814.952	1.507.351	1.406.285	3.728.588	8,4	15,4	14,4	38,2	9.765.386
1989	832.256	1.296.202	1.263.689	3.383.147	9,4	14,8	14,4	38,6	8.758.849
1990	779.315	1.185.793	1.183.182	3.148.290	9,5	14,4	14,4	38,3	8.222.474
1991	781.526	1.217.375	1.205.987	3.204.888	9,2	14,3	14,2	37,7	8.492.968
1992	865.466	1.346.087	1.372.814	3.584.367	9,3	14,5	14,8	38,6	9.277.463
1993	1.014.779	1.546.066	1.589.414	4.150.259	9,6	14,7	15,1	39,4	10.541.334
1994	1.176.940	1.744.467	1.810.878	4.732.285	9,9	14,6	15,2	39,6	11.944.479
1995	1.134.645	1.494.953	1.679.201	4.308.799	10,5	13,8	15,5	39,8	10.839.371
1996	1.197.357	1.707.763	1.941.318	4.846.438	8,6	13,8	15,9	39,6	12.247.600
1997	1.302.201	1.947.996	2.241.710	5.491.907	9,4	14,1	16,2	39,7	13.834.064
1998	1.455.429	2.128.639	2.261.182	5.845.250	9,9	14,5	15,4	39,9	14.668.570
1999	1.393.049	1.966.966	2.2078.873	5.438.888	10,2	14,4	15,2	39,7	13.689.482
2000	1.668.195	2.337.855	2.561.929	6.567.979	10,2	14,3	15,8	40,1	16.392.216
2001	1.639.915	2.482.260	2.715.901	6.838.076	9,6	14,5	15,9	40,1	17.069.214
2002	1.815.741	2.806.942	3.058.512	7.681.195	9,5	14,7	16,0	40,2	19.114.268
2003	2.223.075	3.414.281	3.811.816	9.449.172	9,8	15,0	16,7	41,5	22.796.232
2004	2.244.710	3.457.109	3.910.624	9.612.443	9,9	15,2	17,2	42,2	22.767.489
Total	34.281.357	58.034.281	52.405.500	144.721.138	9,5	16,1	14,5	40,1	360.785.105

Comunicação particular, Dr. Eduardo Daher, ANDA, São Paulo, SP.

**Tabela 5.3** - Consumo Brasil (em 1.000 t/ano) - Fertilizante x Calcário.

Ano	Fertilizantes <sup>(1)</sup>	Calcário <sup>(2)</sup>	Relação C/F
1980	10.272	9.140	1,12
1981	7.197	7.080	0,98
1982	7.022	6.500	0,93
1983	6.357	ND	-
1984	8.155	11.846	1,45
1985	7.708	11.929	1,55
1986	9.651	14.166	1,47
1987	9.646	15.537	1,61
1988	9.765	16.608	1,70
1989	8.759	14.477	1,65
1990	8.222	11.598	1,41
1991	8.493	10.525	1,24
1992	9.277	15.624	1,68
1993	10.541	19.390	<b>1,84 M</b>
1994	11.944	20.457	1,71
1995	10.839	12.245	1,13
1996	12.248	14.763	1,21
1997	13.834	17.432	1,26
1998	14.669	16.285	1,11
1999	13.689	15.768	1,15
2000	16.392	19.305	1,18
2001	17.069	17.090	1,00
2002	19.114	22.439	1,17
2003	22.796	26.467	1,27
2004	22.767	26.320	1,56
2005	20.195	16.987	<b>0,84 m</b>

Fontes: (1) ANDA, (2) ABRACAL.

M = máxima, m = mínima

A adubação procura satisfazer a exigência da planta para a formação da colheita complementando a contribuição do solo. Para manter a fertilidade química, a adubação deve, pelo menos, compensar as quantidades de macro e micronutrientes exportadas como produto colhido e mais aquelas irremediavelmente perdidas na erosão e na enxurrada. A Tabela 5.4 é uma estimativa do balanço de macro e micronutrientes nas culturas de algodão, arroz, batata, cacau, café, cana-de-açúcar, citros, feijão, mandioca, milho, soja e trigo.

A cultura de soja exporta 1.502,7 mil t de N. Admitindo-se que 100% venham da fixação simbiótica e da mineralização da matéria orgânica, o déficit deste elemento se reduziria a 527 mil t. Os cálculos

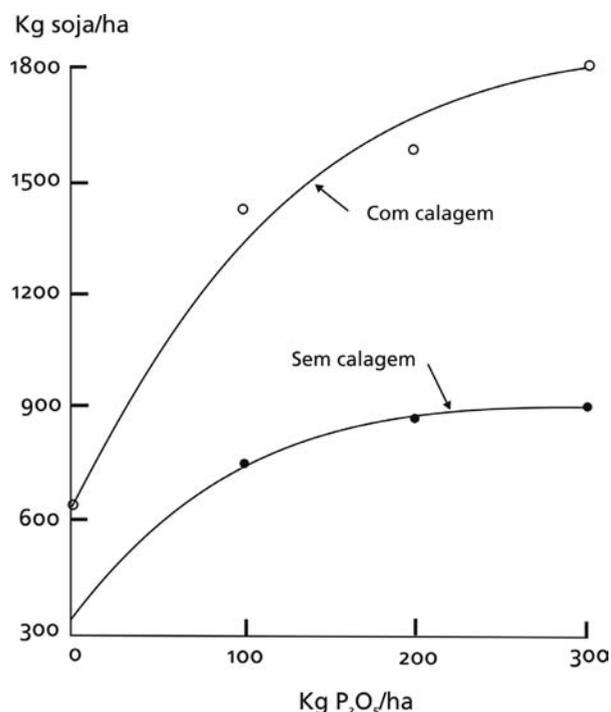
**Tabela 5.4** - Balanço de nutrientes na agricultura brasileira.

Nutriente	Entrada	Saída	Balanço
	1.000 toneladas		
N	1.053,10	3.092,73	-2.029,63
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1.514,78	871,60	643,17
K <sub>2</sub> O	1.634,4	1.557,33	77,06
Ca	3.344,40	163,47	3.180,92
Mg	1.300,60	231,25	1.069,35
S	538,80	240,74	298,06
	toneladas		
B	5.063,00	2.893,40	2.169,60
Cu	3.029,70	2.098,30	931,40
Fe	89.391,80	19.120,70	70.271,10
Mn	23.145,30	6.926,90	16.218,40
Mo	485,00	218,60	266,40
Zn	20.908,00	6.897,10	14.010,90

Fonte: Yamada e Lopes (1999); Yamada (1994, 2004).

subestimam o balanço: a exigência das culturas consiste no contido no produto e mais o consumido para formar a colheita; a eficiência de adubação não é de 100%, visto que o fator  $f$  é menor que 1; como foi mencionado perdas diversas, como as causadas pela erosão, não entraram na saída e a erosão "saiu" do campo. O balanço favorável do Ca e do Mg é devido principalmente ao calcário aplicado.

Mas o calcário aplicado estaria neutralizando a acidez e criando um ambiente favorável para a raiz e a própria planta? Seja uma área de 57,6 milhões de hectares. Se cada ha recebesse anualmente uns modestos 500 kg de calcário por ha, seria necessário aplicar 28,8 milhões de toneladas todos os anos. Mas, como mostra a Tabela 5.3, o consumo anual é de 17 milhões. Há, portanto, um déficit de quase 12 milhões de toneladas que deve estar contribuindo para que  $f$  fique maior que 1 e se tenha que usar mais adubo dando como resultado a obtenção de menos lucro de cada real investido em fertilizante. É o que se pode ver nas Figuras 5.2 e 5.3, devidas, respectivamente, a Malavolta (1985) e Yamada e Borkert (1991). Pode-se concluir que adubo e corretivo devem andar juntos no agronegócio.

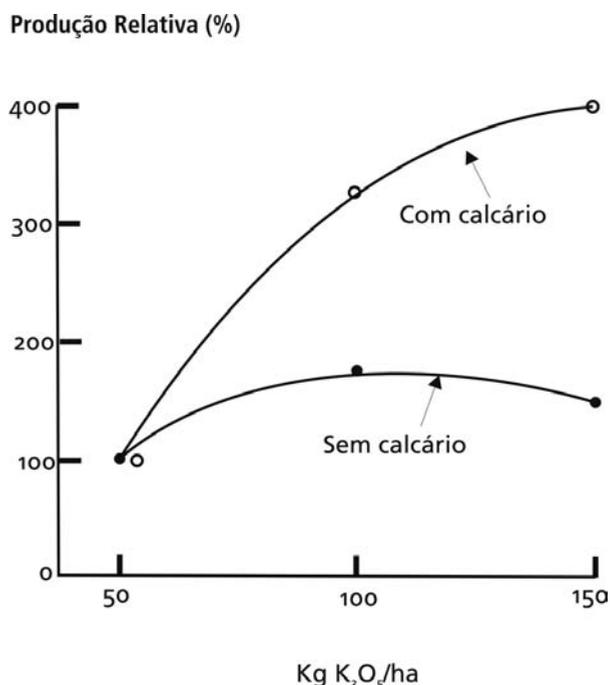


**Figura 5.2** - Em solo ácido de cerrado o efeito do fósforo é pequeno quando não se faz calagem.

## 6. Relação entre consumo de adubos e corretivos, produtividade e produção

Justus von Liebig, o pai da Nutrição Mineral de Plantas, por volta de 1840, como corolário de sua Lei do Mínimo, propôs que a colheita deveria crescer linearmente em função da dose de adubo, o que era verdadeiro até certo ponto. A curva de resposta geralmente obedece a uma equação exponencial que descreve a Lei dos Rendimentos Decrescentes ou Lei de Mitscherlich: uma reta inicial, correspondente às doses mais baixas, é sucedida por uma assíntota que, por sua vez, pode ser seguida por um segmento que tende para valores menores de y, colheita, quando a dose é excessiva. As duas leis, entretanto, têm um denominador comum: a produção e a produtividade aumentam em resposta à adubação, o que é demonstrado nos níveis experimental ou local, regional, nacional, continental e mundial (MALAVOLTA, 1992).

A Tabela 6.1 resume dados de 4.691 experimentos de adubação, realizados por iniciativa da ANDA, e que foram analisados estatisticamente pelo Mestre Frederico Pimentel-Gomes, e é auto-explicativa.



**Figura 5.3** - Efeito do K<sub>2</sub>O em presença e ausência da calagem na soja.

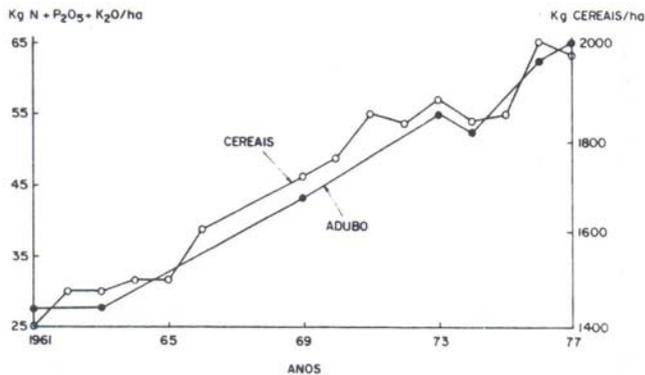
Note-se que se trata de colheitas econômicas máximas (CEM) – as que dão o maior lucro. A Tabela 6.1 foi preparada por Malavolta e Rocha (1981).

**Tabela 6.1** - Resumo dos resultados obtidos em ensaios e demonstrações realizadas no Brasil Central (1969-1976).

Cultura	Ensaio N°	Média Local	Colheita econômica máxima	Média da relação
		Kg/ha		Kg produto/Kg NPK
Arroz	1676	1282	2783	8,3
Milho	1417	1400	4853	19,1
Soja	850	1060	1793	4,1
Feijão	756	500	1153	3,6

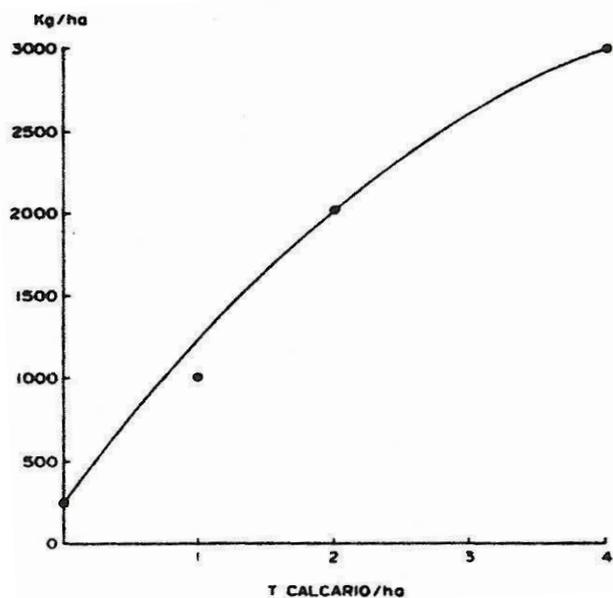
<sup>(1)</sup> Dose média de adubo: 45 kg N + 90 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + 45 kg K<sub>2</sub>O

As Figuras 6.1 e 6.2, preparadas, respectivamente, com dados da FAO (1981) e da MANAH (1991), mostram, em escala mundial e brasileira, a relação direta entre consumo de adubo e produção. O prolongamento da tendência, ou melhor, a constância da tendência no Brasil será vista no item 8.

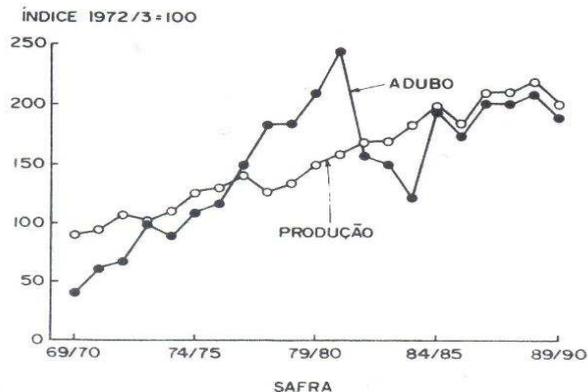


**Figura 6.1** - Relação entre consumo de adubo e produção mundial de cereais.

São muito abundantes os dados experimentais, a partir do fim do século XIX, mostrando a resposta das culturas temporárias e perenes à calagem. Nos últimos 30-40 anos, começaram a aparecer dados sobre a resposta ao gesso. Tanto na calagem quanto na gessagem é possível que, em alguns casos pelo menos, o efeito seja corretivo e nutricional,

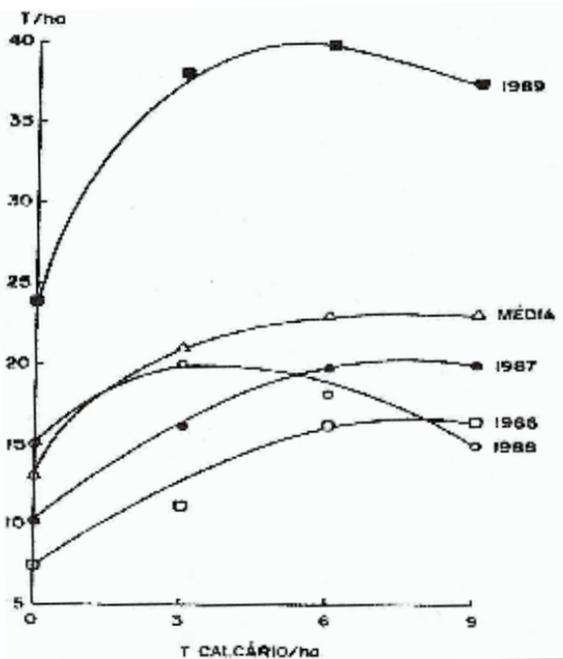


**Figura 6.3** - Efeito de doses de calcário na produção de algodão no cerrado de SP.



**Figura 6.2** - Relação entre consumo de fertilizantes e produção agregada de 16 culturas no Brasil.

devido ao fornecimento de Ca e Mg pelo calcário e de Ca e S pelo gesso. Exemplos são apresentados nas Figuras 6.3 e 6.4, elaboradas com dados, respectivamente, de Silva (1983) e Quaggio (1991). O efeito no algodoeiro foi particularmente notável. Não se dispõe, no caso dos corretivos, de uma série de dados como os correspondentes à Figura 6.2.



**Figura 6.4** - Resposta das quatro primeiras colheitas da laranjeira ao calcário dolomítico.

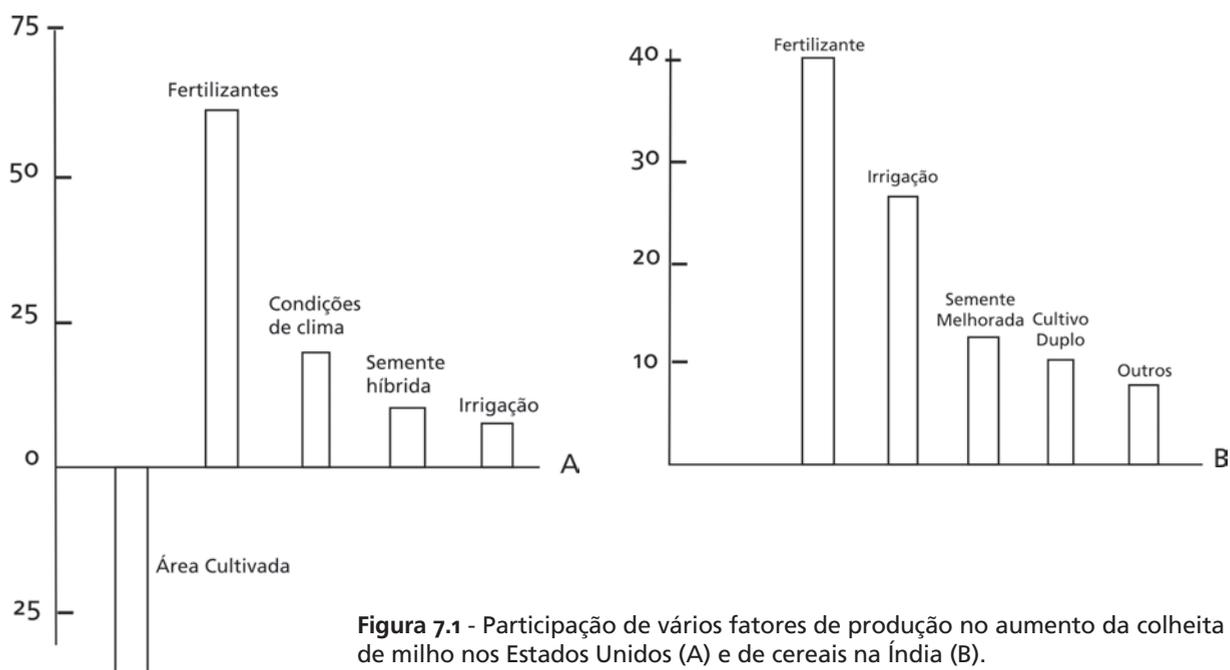
## 7. Participação do adubo no aumento da produção e nos ganhos de produtividade

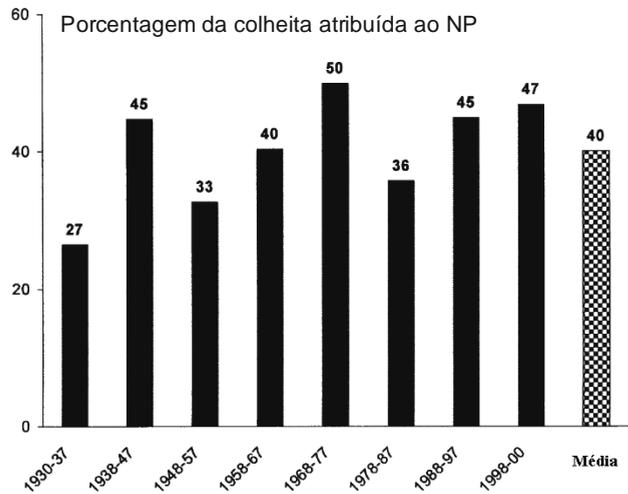
Como foi visto no item 4, solo, adubo e corretivo são fatores de produção. Quando todos os outros fatores forem constantes e nenhum deles limitante, aumentos de produção e produtividade devidos ao fator S podem ser medidos.

Entretanto, há dados que mostram a participação relativa do fertilizante e de outras práticas, como, por exemplo:

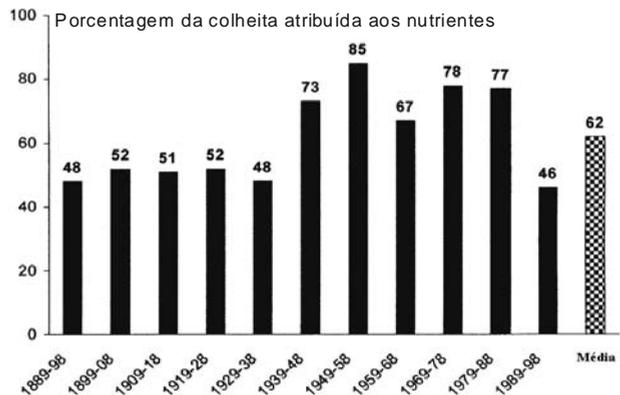
(1) a Figura 7.1, preparada com dados de Williams e Coustow (1962, p.24-25), mostra o efeito comparado de vários fatores na produção de milho, nos EUA, no período 1946-1955; "o uso de adubos minerais representou o fator individual mais importante contribuindo com cerca de 50% nos aumentos na produtividade e mais de 20% da produção agrícola adicional";

- (2) os dados da Figura 7.1, na parte inferior, mostram que a contribuição do fertilizante para a produção de cereais em um dos planos quinzenais foi de cerca de 40%;
- (3) dados de Stewart *et al.* (2005), Figuras 7.2, 7.3 e 7.4, mostram, em ensaios de longa duração, que o fertilizante mineral, contribuiu, em média, com 40, 62 e 57%. É estimado que hoje, nos EUA, 30 a 50% da produção de grãos deve-se à adubação mineral;
- (4) nas centenas de demonstrações e ensaios de adubação de iniciativa da ANDA, em colaboração com várias agências nacionais e internacionais, os adubos, em média, aumentaram a produção em 34% as colheitas obtidas, quando todas as outras práticas e fatores, inclusive semente melhorada, estavam presentes.

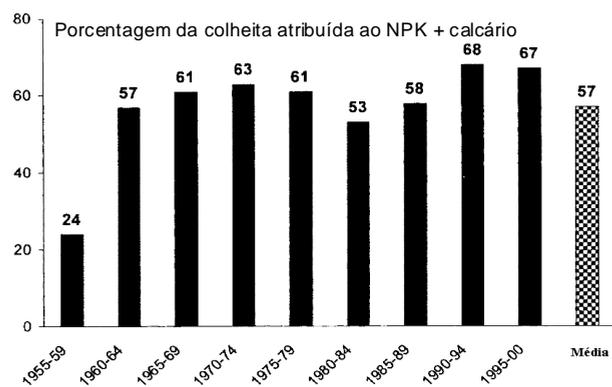




**Figura 7.2** - Colheita de trigo atribuível ao N e ao P, no período 1930 a 2000, nas parcelas de Magruder da Universidade Estadual de Oklahoma.



**Figura 7.3** - Colheita de trigo atribuída à adição de nutrientes, de 1889 a 1998, nas parcelas de Sanborn da Universidade de Missouri.



**Figura 7.4** - Produção contínua de milho atribuível a N, P, K e calcário durante 46 anos, nas parcelas de Morrow da Universidade de Illinois.

## 8. Adubo, corretivo e economia de terra

Escreveu Swift, o contador de histórias para crianças, no século XIX: “Aquele que produzir duas espigas de milho ou duas folhas de pasto onde antes só se produzia uma, terá feito um benefício maior para a humanidade do que toda a raça de políticos juntos”. Se escrevesse hoje, ele teria explorado o aspecto ecológico ou ambiental da afirmação, já que a consequência do feito seria cultivar metade da área. Entretanto, o papel do adubo e do corretivo, na economia de área, não era do conhecimento de Swift e nem as questões ambientais.

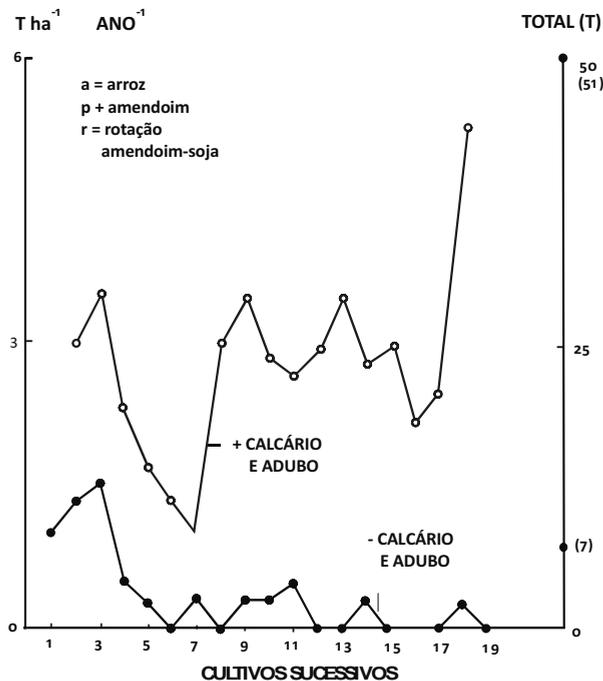
É fácil entender e demonstrar com números que:

$$+ \text{ adubo} + \text{ corretivo} = - \text{ área cultivada},$$

o que, do ponto de vista aritmético, é um absurdo. Mas o adubo e o corretivo, não sabem matemática, e a igualdade se realiza na prática. É o que será demonstrado em seguida, em vários níveis: a soma de dois fatores de produção causa a diminuição de outro.

A Figura 8.1 mostra o efeito combinado do adubo e do calcário num ensaio de longa duração feito por Sanchez (1985), na Amazônia peruana. A soma das 19 colheitas sucessivas dá 7 t no tratamento sem insumos e 51 t no que recebeu fertilizante e corretivo. Em média, cada tratamento produziu, por cultivo, 0,37 e 2,68 t/ha. A relação entre os dois números é  $2,68/0,37 = 7,2$ . Isto quer dizer que cada ha corrigido e adubado produziu tanto quanto 7,2 ha sem calcário e sem fertilizante. Olhando de outra maneira; calcariar e adubar 1 ha naquelas condições da Amazônia peruana (a brasileira deve ser parecida) significa uma economia de 7,2 ha de floresta que deixariam de ser derrubados ou queimados, contribuindo assim para a tranquilidade ambiental, motivo de tanta preocupação do mundo inteiro voltada com lentes de aumento para a Bacia Amazônica.

A Figura 8.2, em escala nacional, mostra que os diversos fatores de produção, com destaque para o fertilizante, promoveram aumento de 283% na produção, enquanto a área cultivada cresceu 51,6%. O aumento de produtividade (142%) permitiu que se poupassem 80Mha.



Fonte: Sanchez, 1985.

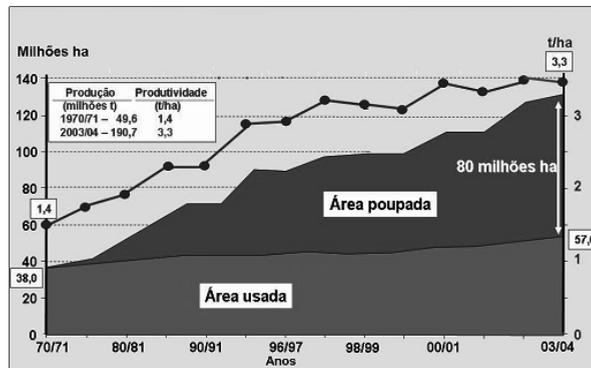
**Figura 8.1** - Efeitos da correção da acidez e da adubação na produção de grãos na Amazônia Peruana.

Com respeito à calagem são interessantes dados de Lopes e Guilherme (1991), contidos na Tabela 8.1, que são projeções de resultados experimentais: o Brasil poderia, no cerrado do Centro-Oeste, obter 12,5 milhões de t de grãos adicionais de duas maneiras: expandindo a área em quase 8 milhões de ha, sem o benefício da calagem, ou mantendo a mesma área, mas fazendo calagem. A segunda alternativa custaria 5,5 vezes menos que a primeira. A primeira tardaria uns 10 anos para realizar-se. A segunda, de 1 a 2 anos. A primeira representaria um desperdício de 0,5 bilhão de dólares e de terra.

Os vários instrumentos que tocam na sinfonia da produção, sob a batuta do homem, foram os responsáveis por esses resultados impressionantes: tecnologia = - terra. Com todos os corolários ambientais e socioeconômicos esperados.

É tentador procurar responder à pergunta:

Qual a participação do fertilizante + corretivo na economia de 80 milhões de ha?



Fonte: Adaptado de Cardoso, 1998 e LSPA - IBGE, 2005.

**Figura 8.2** - Produção, produtividade e economia de terra.

Os dados anteriores autorizam a admitir que os dois insumos em questão contribuíram com 25% do aumento na produtividade, ou seja,

$$0,25 (3,3 - 1,4) = 0,47 \text{ t/ha.}$$

Uma regra de três simples e direta dá o seguinte:

$$(3,3 - 1,4): 80 :: 0,47 : x$$

$$x = 20 \text{ milhões de hectares;}$$

ou seja, fertilizantes + corretivos participaram com um quarto da economia de terra.

É tentador também definir: "Agricultura é a arte de economizar terra" (com aplicação da tecnologia).

**Tabela 8.1** - Alternativas para aumentar a produção de grãos no Brasil Central.

Cultura	Aumento na produção	Aumento na área sem calagem	Custo	
			Sem calagem	Com calagem
	10 <sup>3</sup> t	10 <sup>3</sup> ha	U\$ 10 <sup>6</sup>	
Milho	7650	4100	240,0	42,0
Trigo <sup>(1)</sup>	95	58	3,6	-
Feijão	286	530	30,0	14,7
Arroz	1520	804	60,0	11,2
Soja	2697	2265	145,0	20,0
Total	12500	7757	478,6	87,9

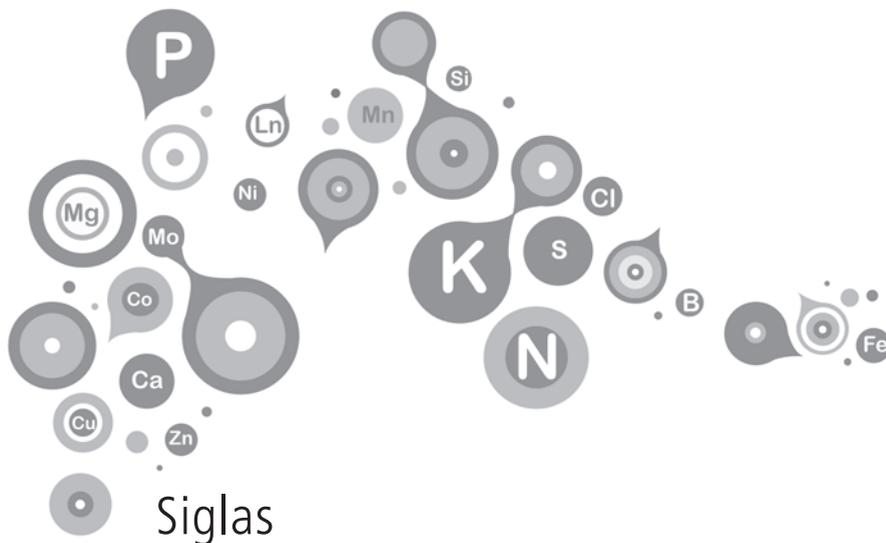
(1) Efeito residual da calagem para a soja.

## Referências bibliográficas

- DAHER, E. 2006. Mercado de Fertilizantes – Situação Atual e Futura. I Seminário de Tecnologia de Fertilizantes. Rio de Janeiro: PETROBRAS. (CD-ROM).
- FAO. 1981. Crop production levels and fertilizer use. Roma. 69p.
- LOPES, A.S. e GUILHERME, L.P.G. 1991. Preservação ambiental e produção de alimentos. ANDA. São Paulo. 14p.
- MALAVOLTA, E. (Coord.) 1985. Seminário sobre Corretivos Agrícolas. Fundação Cargill. Campinas. 357p.
- MALAVOLTA, E. 1992. Fertilizantes, corretivos e produtividade – mitos e fatos. XX Reunião Brasileira Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas. p.89-153. Dechen, A.R.; Boaretto, A.E. e Verdade, F.C. (coord.). Fundação Cargill. Campinas. 425p.
- MALAVOLTA, E. e ROCHA, M. 1981. Recent Brazilian experience on farmer reaction and crop response to fertilizer use. In: Transferring Technology for Small scale Farming. p.101-113. N.R. Usherwood, ed. American Soc. of Agronomy. Madison. 150p.
- MANAH S.A. 1991. Comunicação particular, Engº Agrº Fernando Penteado Cardoso. São Paulo.
- QUAGGIO, J.A. 1991. Resposta da laranja: valência em formação à calagem e ao equilíbrio de bases no solo. Tese de Doutorado. ESALQ-USP. Piracicaba. 107p.
- SANCHEZ, P.A. 1985. Fertilizers make continuous cropping possible in the Amazon. Better Crops International (Atlanta). 1: 12-15.
- SANCHEZ, P.H. e SALINAS, J.G. 1981. Low input technology for managing oxisols and ultisols in tropical America. Adv. Agronomy (Madison) 34:279-406.
- SILVA, N.M. 1983. Acidez do solo e calagem para o algodoeiro. In: Acidez e Calagem no Brasil. p.259-276. van Raij, B.; Bataglia, O.C. e Silva, N.M. (coords.). Soc. Bras. Ci. Solo. Campinas. 361p.
- STEWART, W.M., DIBB, D.W., JOHNSTON, A.E. e SMYTH, T. 2005. The contribution of commercial fertilizers nutrients to food production. Agronomy J. 91(1): 1-6.
- WILLIAMS, M.S. e COUSTON, J.W. 1962. Los Niveles de Producción Agrícola y el Empleo de Fertilizantes. FAO Roma. np.
- YAMADA, T. e BORKERT, C.M. 1991. Adubação da soja. Inf. Agronômicas (Piracicaba) 55: 1-3.
- YAMADA, T. e LOPES, S.L. 1999. Balanço de nutrientes na Agricultura brasileira. Inter-relação Fertilidade, Biologia do Solo e Nutrição de Plantas. p.143-163. Siqueira, J.O.; Moreira, F.M.S.; Guilherme, L.R.G.; Foquem, V.; Furtini Neto, A.E. e Carvalho, J.G. (eds.) Soc. Bras. Ci. Solo, UFLA. Lavras. 818p.
- YAMADA, T. 1994. Balanço de nutrientes na Agricultura brasileira. Inf. Agronômicas (Piracicaba) Nº 67: 1-3.
- YAMADA, T. 2004. Deficiências de micronutrientes, ocorrência, detecção e correção: o sucesso da experiência brasileira. Inf. Agronômicas, Nº 105: 1-12 (Encarte Técnico).

## Nota

- 1 Este capítulo é uma homenagem ao Engenheiro Agrônomo Sênior (ESALQ, Fernando Penteado Cardoso).



## Siglas

**AB** – Aço Bruto

**ABCAR** – Associação Brasileira de Crédito e Assistência Rural

**ABM** – Associação Brasileira de Metalurgia

**ABPC** – Associação Brasileira de Produtores de Cal

**AC** – Ácido Cítrico

**AC** – Agricultura de Conservação

**ACAR** – Associação de Crédito e Assistência Rural (MG)

**ACAR (ES)** – Associação Brasileira de Crédito e Assistência Rural (ES)

**ACARESC** - Associação Brasileira de Crédito e Assistência Rural (SC)

**AEI** – *Agronomic Economic Efficiency*

**AENDA** – Associação das Empresas Nacionais de Defensivos Agrícolas

**AF** – Ácido Fórmico

**AGL** – *Land and Water Development Division, Agriculture Department, FAO*

**AIE** – Agência Internacional de Energia

**AIEA** – Agência Internacional de Energia Atômica (Sede em Viena, Áustria)

**AMA** – Associação dos Misturadores de Adubos do Brasil

**AMM** – *Ammonium*

**AN** – *Ammonium Nitrate*

**ANCAR** - Associação Brasileira de Crédito e Assistência Rural (Nordeste)

**ANDA** – Associação Nacional para a Difusão de Adubos

**ANP** – Agência Nacional do Petróleo

**AS** – *Ammonium Sulfate*

**ASTM** – *American Society for Testing and Materials*

**ATP** - Trifosfato de adenosina

**BNF** – *Biological Nitrogen Fixation*

**BPL** - ("*Bone Phosphate Lime*") – Indicador da composição em  $P_2O_5$  (pentóxido de difósforo) de materiais fosfáticos:  $BPL (\%) = 2,1853 \times P_2O_5 (\%)$  ou  $5,0073 \times P (\%)$ .

**BRGM** - *Bureau de Recherche Géologique et Minière* (França).

**CA** – Ácido Cítrico (da sigla em inglês - *Citric Acid*)

**CAD** – Capacidade de água disponível

**CAN** – Citrato de Amônio Neutro

**CBPM** – Empresa Baiana de Pesquisa Mineral

**CCE** – *Calcium Carbonate Equivalent*

**CCS** – *Carbon (Dioxide) Capture and Storage*

**CDM** – *Clean Development Mechanism* (Definido no Artigo 12 do Protocolo de Kyoto)

**CEFER** – Centro de Estudos de Fertilizantes

**CEI** – Comunidade de Estados Independentes. Ex URSS

- CEM** – Colheita Econômica Máxima
- CENA** – Centro de Energia Nuclear na Agricultura
- CFC** – Clorofluorcarbono
- CFCs** – Clorofluorcarbonetos (*Chlorofluorocarbons*)
- CGIAR** – *Consultative Group on International Agricultural Research*
- CH<sub>4</sub>** – Metano
- CHP** – *Combined Heat and Power*
- CIMA** – Conselho Interministerial do Açúcar e do Alcool
- CIRAD** - *Centre de Cooperation Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement* (França)
- CMMAD** – Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento
- CNA** – Citrato Neutro de Amônio
- CNPS** – Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Embrapa)
- CO<sub>2</sub>** – Dióxido de carbono
- CPRM** – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais / Serviços Geológicos do Brasil
- C<sub>p</sub>** – Concentração de íon P no solo
- CTA** – Capacidade de Troca Aniônica
- CTC** – Capacidade de Troca Catiônica
- DAP** – *Di-ammonium phosphate* (Fosfato Diamônico).
- DAPR** – *Direct Application Phosphate Rock*. (Inglês) / **PNAD** – *Phosphate Naturel pour Application Direct* (Francês) - Aplicação Direta de Rocha Fosfática
- DOU** – Diário Oficial da União
- EAR** – Eficiência Agronômica Relativa
- EBDA** – Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola
- ECARD** – *European Consortium for Agricultural Research in the Tropics*
- EDS** – *Energy dispersive X-ray analysis* (Difração de Raios-X)
- EDTA** – Etileno diamina tetra acetato de sódio
- EITs** – *Economies in Transition*
- EMBRAPA** – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
- EMSE** – *École des Mines de Saint-Étienne* – Saint-Étienne, França
- ESALQ** – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”
- ETR** – Elementos de terras-raras: lantânio (La), cério (Ce), praseodímio (Pr), neodímio (Nd), promécio (Pm), samário (Sm), európio (Eu), gadolínio (Gd), térbio (Tb), disprósio (Dy), hólmio (Ho), érbio (Er), túlio (Tm), itérbio (Yb), lutécio (Lu)
- ETRL** – Elementos de Terras Raras Leves ou céricas: as de números atômicos inferiores aos do gadolínio
- ETRP** – Elementos de Terras Raras Pesadas ou ítricas: as de número atômico superiores aos do európio. O ítrio, pelas suas propriedades também é incluído no grupo das terras raras pesadas
- EU** – *European Union* (União Europeia)
- E value** – Fósforo Trocável (*Exchangeable P*)
- FA** – Ácido fórmico (da sigla em inglês - *Formic Acid*)
- FAO** – *Food and Agriculture Organization*. Organismo das Nações Unidas com sede em Roma.
- FAO/IAEA** – *Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture*
- FBN** – Fixação Biológica de Nitrogênio
- FEBRAPDP** – Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha
- FG** – Ferro-Gusa
- FIPE** – Fundação Instituto de Pesquisa Econômica
- FN** – Fosfato Natural (Francês: **PN** – *Phosphate Naturel*)

<b>FNAD</b> – Fosfato Natural para Aplicação Direta	<b>INSTORF</b> – Instituto Soviético (ex-URSS) de Turfa
<b>FUNPAR</b> – Fundação da Universidade Federal do Paraná para o Desenvolvimento da Ciência	<b>ISA</b> – Índice de Solubilidade Absoluta = (% de P solúvel / % de P na apatita) x 100
<b>GBEP</b> – <i>Global Bioenergy Partnership / Partenariat mondial sur les bioénergies</i>	<b>ISMA</b> – <i>International Fertilizer Industry Association</i>
<b>GEE</b> – Gás de Efeito Estufa	<b>Kcal</b> – Quilo-calorias
<b>GsEE</b> – Gases de Efeito Estufa	<b>LEIA</b> – <i>Low External Input Agriculture</i>
<b>GHG</b> - <i>Greenhouse gas</i>	<b>LOI</b> - <i>Loss on ignition</i> (Perda ao Fogo)
<b>HCFCs</b> – <i>Hydrochlorofluorocarbons</i>	<b>Ma</b> – Milhões de anos
<b>HFCs</b> – <i>Hydrofluorocarbons</i>	<b>MDL</b> – Mecanismos de Desenvolvimento Limpo
<b>IAC</b> – Instituto Agrônomo de Campinas	<b>MAP</b> – <i>Mono-Amônio Phosphate</i> (Fosfato Mono-amônio)
<b>IAEA</b> – <i>International Atomic Energy Agency</i> (AIEA – Agência Internacional de Energia Atômica)	<b>MB-4</b> – (Ver GLOSSÁRIO)
<b>IAPAR</b> – Instituto Agrônomo do Paraná	<b>MCP</b> – <i>Mono-Calcium Phosphate</i>
<b>IBGE</b> – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística	<b>MDGs</b> – <i>Millennium Development Goals</i>
<b>IBS</b> – Instituto Brasileiro de Siderurgia	<b>Mha</b> – Milhões de hectares
<b>ICC</b> – Indústria Carboquímica Catarinense	<b>MEV</b> – Microscópio Eletrônico de Varredura
<b>ICRAF</b> – <i>International Center for Research in Agroforestry</i>	<b>MOS</b> – Matéria Orgânica no Solo
<b>IBRAFOS</b> – Instituto Brasileiro de Rocha Fosfática	<b>MJ</b> – Megajoules
<b>IFA</b> – <i>International Fertilizer Industry Association</i> . Tem a sua sede em Paris.	<b>Mtep</b> – Milhões de toneladas equivalentes de petróleo
<b>IFDC</b> – <i>International Centre for Soil Fertility and Agricultural Development, formerly International Fertilizer Development Center</i>	<b>Mt</b> – Milhões de toneladas
<b>IMPHOS</b> – <i>Institut Mondial du Phosphate</i>	<b>NA</b> – Nitrato de Amônio
<b>INCORA</b> – Instituto Colombiano de Reforma Agrária	<b>NAC</b> – <i>Neutral ammonium citrate</i>
<b>INCRA</b> – Instituto de Colonização e Reforma Agrária	<b>NC</b> – Necessidade de Calagem (exprime-se em t de calcário para cada camada de 20cm)
<b>IPI</b> – <i>International Potash Institute</i>	<b>NMP</b> – Nutrição Mineral de Plantas
<b>IPT</b> – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo	<b>NORAGRIC</b> – <i>Norwegian Centre for Environment and International Agricultural Development,</i>
<b>IPS</b> – <i>International Peat Society</i>	<b>NORM</b> – <i>Naturally Occurring Radioactive Material</i> (ver GLOSSÁRIO)
<b>INM</b> – <i>Integrated Nutrient Management</i>	<b>NPK</b> – Fertilizante composto de nitrogênio, fósforo e potássio
	<b>OGM</b> – Organismo Geneticamente Modificado

- OCDE** – Organização de Cooperação e Desenvolvimento Econômico
- OMC** – Organização Mundial do Comércio
- ONU** – Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial
- OTR** – Óxidos de Terras-Raras
- <sup>32</sup>P** – Fósforo-32 (radioisótopo)
- PD** – Plantio Direto
- P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>** – Pentóxido de difósforo – unidade utilizada universalmente para exprimir o teor de fósforo nos materiais fosfáticos:  $P_2O_5 (\%) = P (\%) \times 2,2915$  ou  $H_3PO_4 (\%) \times 0,4576$ .
- PAPR** – *Partially Acidulated Phosphate Rock* (Inglês) - Rocha Fosfática Parcialmente Acidulada
- Pdff** – *P derived from fertilizer*
- PIMA** – Programa Insumos Minerais para a Agricultura no Brasil - Avaliação Geológico-Econômica – CPRM
- PLANACAL** – Plano Nacional de Calcário Agrícola
- PN** – *Phosphate Naturel* (Francês)
- PNAD** – *Phosphate Naturel pour Application Directe* (Francês) – Aplicação Direta de Rocha Fosfática
- PNATER** – Política Nacional de Assistência Técnica e Extensão Rural
- PNFCA** – Programa Nacional de Fertilizantes e Calcário Agrícola
- PNUD** – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
- PNUMA** – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
- POTAFOS** – *Potash & Phosphate Institute / Brasil* (POTAFOS)
- PPI** – *Potash & Phosphate Institute of Canada*
- PPIC** – *Pollution Prevention Information Clearinghouse*
- PPM** – Práticas Melhoradas de Manejo
- ppm** – Partes por milhão
- PR** – *Phosphate Rocks*
- PRNT** – Poder Relativo de Neutralização Total
- PROCAL** – Programa Nacional do Calcário Agrícola
- PRONAF** – Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura
- PROSOLO** – Programa de Incentivo ao Uso de Corretivos de Solos
- PSM** – *Phosphate Solubilizing Micro-organisms*
- RAE** – *Relative agronomic effectiveness*
- RNC** – Retenção de Nitrogênio durante as fases de Crescimento
- RPR** – *Reactive phosphate rock*
- SA** – **Sulfato de amônio**
- SAF/MDA** – Secretaria de Agricultura Familiar / Ministério do Desenvolvimento Agrário
- SBC** – Sociedade Brasileira para a Ciência do Solo
- SEM** – *Scanning electron microscopy* ou, **MEV** – Microscópio Eletrônico de Varredura
- SF<sub>6</sub>** – Hexafluoreto de enxofre - um dos seis GsEE a serem diminuídos pelo acordo de Kioto
- SIBRATER** – Sistema Brasileiro de Crédito e Assistência Rural
- SINP** – Sistema Integrado da Nutrição das Plantas
- SIX** – Unidade de Industrialização do Xisto da Petrobras
- SNS** – Sem Nitrogênio antes da Semeadura
- SPD** – Sistema de Plantio Direto
- SPIN / EMSE** – *Sciences des Processus Industriels Naturels / École des Mines de Saint-Étienne*

**SSP** – Superfosfato Simples (*Single Superphosphate*).  
**SU** – Sulfuran  
**TAC** – *Technical Advisory Committee*  
**TBP** – Tributil-fosfato  
**TENORM** – *Technologically Enhanced Natural Occurrence Radioactive Material* (ver GLOSSÁRIO)  
**TFSA** – Terra Fina Seca ao Ar [termo relativo à turfa]  
**Tg** – Tera gramas =  $10^{12}$  gramas  
**TR** – Terras-raras  
**TPA** – Terra Preta Arqueológica  
**TPI** – Terra Preta de Índio  
**TSP** – *Triple superphosphate* (Superfosfato triplo)  
**UICN** – União Internacional para a Conservação da Natureza

**UNEP** – *United Nations Environment Programme*  
**UNFCCC** – *United Nations Framework Convention on Climate Change*  
**UNICEF** – Fundo das Nações Unidas para a Infância  
**UNIDO** – *United Nations Industrial Development*  
**UR** – Uran  
**Uran** – Solução de uréia e nitrato de amônio  
**USGS** – *United States Geological Survey*  
**WSP** – *Water-Soluble Phosphate*  
**WWF** – *World Wildlife Fund*  
**XRD** – *X-ray diffraction*  
**YARA** – *Yara Internacional ASA*. Foi criada a partir da Norsk Hydro ASA e existe como companhia de comércio independente a partir de 25/03/2004.



## Glossário

**Adubação verde** – É um tipo especial de adubação orgânica que consiste em cultivar plantas que depois serão fragmentadas, servindo como cobertura até serem decompostas. As plantas cultivadas como adubo verde devem ser fragmentadas e deixadas como cobertura morta quando florescem, antes de possuírem sementes. O contrário as tornariam invasoras. Também é considerado adubação verde enterrar restos de culturas anteriores (Fonte: Wikipedia).

**Adubos Verdes** – são plantas da família das leguminosas, portanto capazes da FBN, cultivadas de modos diversos: antes da cultura principal; em rotação de culturas; como cultura intercalar; na renovação dos canaviais. Incorporadas ao solo (adubação), contribuem com matéria orgânica e nutrientes, particularmente N.

**Acidificação dos oceanos** – Diminuição do pH da água do mar devido à absorção de  $\text{CO}_2$  de origem antropogênica.

**Ácido fosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ )** – Designação comercial para o ácido ortofosfórico. É um sólido branco rômboico de densidade 1,834, ponto de fusão  $42,35^\circ\text{C}$ . Perde água a  $213^\circ\text{C}$ . Muito solúvel em água e solúvel em etanol. Muito deliquescente, é geralmente fornecido como solução aquosa concentrada a 85%. Comercialmente é o derivado de fósforo mais importante, respondendo por mais de 90% do consumo de rochas fosfáticas. Muito usado na indústria dos fertilizantes (90%), por isso é designado também por Ácido Agrícola (*Agricultural Acid*).

**Afforestation** – Plantio de novas florestas em áreas que as não continham há, pelo menos, 50 anos.

**Aflotoxina** – Variedade de uma família de substâncias tóxicas produzidas por fungos, denominadas micotoxinas. Já foram classificadas pelo menos 100 espécies de fungos que produzem micotoxinas.

**Aluminossilicato** – Composto que contém alumínio e silício, combinados com oxigênio na proporção estequiométrica dos respectivos óxidos, além de outros metais.

**Aquíferos** – formação geológica, formada por rochas permeáveis seja pela porosidade granular ou pela porosidade fissural, capaz de armazenar e transmitir quantidades significativas de água.

**Agroecologia** – Modelo de produção que prevê sustentabilidade econômica e ambiental. Além de não cultivar monoculturas em grandes propriedades, geralmente para exportação (*plantations*), descarta o uso de insumos industriais, inseticidas e organismos transgênicos.

**Agricultura de Conservação** – Surgiu como alternativa à agricultura convencional em razão da perda de produtividade dos solos devida à degradação, pela erosão e pela compactação, por exemplo. Visa diminuir os fatores de degradação dos solos seguindo várias práticas que reduzem ao mínimo a alteração da composição e da estrutura do solo e os efeitos nefastos sobre a biodiversidade natural.

**Albedo** – Fração da radiação solar refletido por uma superfície ou objeto. Exprime-se normalmente em %. Superfícies cobertas por neve têm ‘albedo’ alto. O albedo dos solos varia entre ‘alto’ e ‘baixo’. Superfícies cobertas por vegetação têm ‘albedo’ baixo.

**Algal Bloom** – Reprodução explosiva de algas num lago, rio ou oceano.

**Apatita** –  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F},\text{OH},\text{Cl})$  – Fosfato de cálcio e de flúor/cloro. Tem como composição de referência: 41,8% de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , 55,0% de  $\text{CaO}$ , 1,2% de  $\text{F}$ , 2,3% de  $\text{Cl}$ , 0,6% de  $\text{H}_2\text{O}$ . Cristaliza no sistema hexagonal, classe bipiramidal hexagonal. Dureza 5; densidade relativa 3,1-3,2. Fluorescência amarelo-alaranjada e termoluminescência branco-azulada. Cor – geralmente incolor, podendo ser também branca, azul-esverdeado, violeta-azulado, amarelo, marrom, cinza, vermelho. É o principal mineral-minério de fósforo.

**Balanço** (em fertilização) – Diferença entre a entrada do elemento, como adubo, e a saída do mesmo no produto colhido.

**Becquerel** (símbolo **Bq**) – é a unidade de medida no Sistema Internacional (SI) para radioatividade, definido como sendo a quantidade de material no qual um núcleo decai por segundo. É, portanto, equivalente a  $\text{s}^{-1}$ . A medida anterior era o Curie (Ci), definido como  $3,7 \times 10^{10}$  becquerels ou 37GBq.

**Biocombustível** – É o combustível produzido a partir da matéria orgânica ou de óleos produzidos pelas plantas. Nesta designação incluem-se o álcool, o ‘licor-negro’ (*‘black liquor’*) produzido pela indústria do papel, madeira e óleo de soja.

**Biodiversidade** – Designa a total diversidade de todos os organismos e ecossistemas em várias escalas espaciais (desde genes até biomas).

**Bioenergia** – Energia produzida a partir de matéria orgânica ou biomassa.

**Bioesfera** – Segundo definição apresentada pelo IPCC - *The part of the Earth system comprising all ecosystems and living organisms, in the atmosphere, on land (terrestrial biosphere) or in the oceans (marine biosphere), including derived dead organic matter, such as litter, soil organic matter and oceanic detritus.*

**Bioma** – Elemento regional maior da bioesfera, bem definido, constituído habitualmente por vários ecossistemas.

**Biomassa** – massa total dos organismos vivos, numa dada área ou em certo volume. Inclui materiais de plantas mortas recentemente – ‘biomassa morta’. A quantidade de biomassa é expressa pelo peso da matéria seca ou sob a forma de energia – conteúdo de C ou de N. Do ponto de vista da geração de energia, o termo **biomassa** abrange os derivados recentes de organismos vivos utilizados como combustíveis ou para a sua produção. Do ponto de vista da ecologia, **biomassa** é a quantidade total de matéria viva existente num ecossistema ou numa população animal ou vegetal. Os dois conceitos estão, portanto, interligados, embora sejam diferentes. Na definição de biomassa para a geração de energia excluem-se os tradicionais combustíveis fósseis, embora estes também sejam derivados da vida vegetal (carvão mineral) ou animal (petróleo e gás natural), mas são resultado de várias transformações que requerem milhões de anos para acontecerem. Pode-se considerar a biomassa como um recurso natural renovável, enquanto que os combustíveis fósseis não se renovam em curto prazo.

**Camas** – Material geralmente feito de palha de cereais ou capins. Representam cerca de 1/8 do peso final do esterco fresco.

**Canola** (*Canada Oil Low Acid*) – Tipo de colza desenvolvido no Canadá.

**Carbonatito** – Rocha de origem ou descendência magmática, com mais de 50% de minerais carbonáticos, principalmente calcita [ $\text{Ca}(\text{CO}_3)$ ],

dolomita [Ca,Mg(CO<sub>3</sub>)], mas também ankerita [Ca(Fe,Mg,Mn)(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>], siderita [Fe CO<sub>3</sub>] e magnesita [Mg CO<sub>3</sub>]. É o principal ambiente geológico dos minérios apatíticos no Brasil.

**Células combustíveis** – Dispositivo que gera eletricidade de forma contínua a partir de reações eletroquímicas do hidrogênio, ou outro elemento combustível, com o oxigênio. Com o hidrogênio como combustível há apenas emissão de água e calor (não de CO<sub>2</sub>).

**Ciclo do Carbono** – Termo usado para descrever o fluxo de carbono, sob a forma de CO<sub>2</sub>, a partir da atmosfera, dos oceanos, da biosfera terrestre e da litosfera (IPCC).

**Combustíveis fósseis** – Combustíveis com base em carbono fóssil: carvão, turfa, óleo e gás natural.

**Concentrado Fosfático** ou **Concentrado Apatítico** – Produto obtido por beneficiamento de rochas fosfáticas. Apresenta valores oscilando entre 33% (33,4% em Khouribga, Marrocos) e 39% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (38,9% na Península de Kola, Rússia).

**Composto** [em agricultura] – *‘É uma mistura de todos os resíduos, restos e mais substâncias, sem valor, para fim de estrumeação’* (Dafert, 1888; 1893). Comumente o composto é preparado a partir de restos vegetais inoculados com estercos de curral para que haja fermentação.

**Controle Biológico de Pragas** – Controle biológico é uma alternativa promissora para o manejo de pragas em sistemas agrícolas sustentáveis, visto constituir-se num processo natural de regulação do número de indivíduos da população da praga por ação dos agentes de mortalidade biótica, os quais são também denominados de inimigos naturais ou agentes de controle biológico.

**Coprólitos** – Nódulos fosfáticos – remanescentes fósseis de peixes.

**Corretivo de Acidez** – Materiais capazes de uma ação de neutralização da acidez do solo ou, Corretor de Solos – qualquer material, mineral ou orgânico, não necessariamente usado tam-

bém como fertilizante, com capacidade para modificar as características físicas, a ação microbiana e/ ou alterar a acidez de um solo

**Coulomb (C)** – Quantidade de carga que passa por um condutor, em um segundo, quando a corrente é de um ampère (1 A).

**Coulomb/kg** – Exposição a uma radiação X ou gama, tal que a carga total dos íons de mesmo sinal produzidos em um quilograma de ar; quando todos os elétrons liberados por fótons são completamente detidos no ar, é de um coulomb em valor absoluto.

**Declaração do Milênio** – Conjunto de recomendações, com datas limite, estabelecidas na cimeira realizada na Sede das Nações Unidas, em setembro de 2000, para combater a pobreza, a fome, as doenças, o analfabetismo, a discriminação das mulheres e a degradação ambiental.

**Domos salinos** – Estrutura resultante do movimento ascendente de massa salina, composta principalmente de halita (NaCl), com forma aproximadamente cilíndrica de diâmetro pequeno em relação à altura, que pode atingir desde várias centenas até alguns milhares de metros. Nas bacias marginais brasileiras, segundo Leyden (1976), os domos salinos formam a sequência média atribuída ao Andar Alagoas (Cretáceo), ocorrendo desde a Bacia de Santos até Sergipe-Alagoas (Ponte & Asmus, 1976).

**Ecosystem** – *A system of living organisms interacting with each other and their physical environment. The boundaries of what could be called an ecosystem are somewhat arbitrary, depending on the focus of interest or study.*

**Estercos** – Produtos da fermentação do conjunto das fezes e urina dos animais e das camas usadas.

**Eutroficação** – Produção primária excessiva de algas e vegetação aquática em resposta ao aumento na disponibilidade de nutrientes.

**Evaporitos** – Rocha sedimentar depositada diretamente como minerais salinos, sendo os

principais a gipsita e a halita, pela alta concentração salina (salmoura) da água do mar em ambientes especiais, como lagunas em climas tropicais de forte e contínua evaporação acompanhada de afluxo sistemático ou intermitente de água salgada do mar e com pouco ou nenhum aporte de sedimentos clásticos.

**Fertilização por CO<sub>2</sub>** – Aumento do crescimento das plantas como resultado do aumento da concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera. Dependendo do seu mecanismo de fotossíntese, certos tipos de plantas são mais sensíveis às mudanças de concentração do CO<sub>2</sub> atmosférico (IPCC).

**Fertilizantes Minerais** – São materiais naturais ou manufaturados que contêm nutrientes essenciais para o crescimento normal e o desenvolvimento das plantas. Nutrientes de plantas são alimentos para as espécies vegetais (Isherwood, 2000).

**Fertirrigação** – Aplicação dos elementos nutritivos de que as culturas necessitam, junto com a água de irrigação.

**Floresta Boreal** – *Forests of pine, spruce, fir, and larch stretching from the east coast of Canada westward to Alaska and continuing from Siberia westward across the entire extent of Russia to the European Plain* (IPCC).

**Fonólito** – Rocha microcristalina composta essencialmente por feldspato alcalino e nefelina (equivalente extrusivo de nefelia sienito).

**Fotossíntese** – Forma natural de transformar os elementos inorgânicos absorvidos pelas plantas, do ar e do solo, em matéria orgânica devido à luz solar: a energia da luz transforma-se em energia química. A importância fundamental da fotossíntese deve-se ao fato de o dióxido de carbono e a água, que não têm valor energético, converterem-se em carboidratos que são os materiais básicos para a síntese de todas as outras substâncias orgânicas produzidas pelas plantas. Sem a fotossíntese não haveria vida na Terra.

**Gases de Efeito Estufa (GSEE)** – Gases constituintes da atmosfera, naturais ou antropogênicos

que absorvem e emitem radiações com comprimentos de onda específicos no espectro das radiações térmicas infravermelhas emitidas pela superfície da Terra, pela atmosfera e pelas nuvens. É a causa do 'efeito estufa'. Vapor de água (H<sub>2</sub>O), anidrido carbônico (dióxido de carbono – CO<sub>2</sub>), óxido de nitrogênio (N<sub>2</sub>O), metano (CH<sub>4</sub>) e ozono (O<sub>3</sub>) são os gases de efeito estufa primários. Há gases inteiramente resultantes da atividade humana como o hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>), os hidrofluorcarbono (HFCs) e os perfluorcarbono (PFCs).

**Gray (Gy)** – Dose de radiação ionizante absorvida uniformemente por uma porção de matéria, à razão de 1 joule por quilograma de sua massa.

**Guano** – Do quíchua, *wánu*, 'esterco'. Acumulação de fosfato de cálcio resultante de excrementos de aves marinhas.

**Hidroponia** – É um sistema de cultivo, dentro de estufas sem uso de solo. Os nutrientes de que a planta precisa para seu desenvolvimento e produção são fornecidos somente por água enriquecida (solução nutritiva) com os elementos necessários: nitrogênio, potássio, fósforo, magnésio etc., dissolvidos na forma de sais.

**Isótopos** – São átomos de um elemento químico cujos núcleos têm o mesmo número atômico designado por "Z", mas que contêm diferentes números de massas atômicas, designadas por "A". A palavra *isótopo*, que significa "no mesmo lugar", vem do fato de que os isótopos se situam no mesmo local na tabela periódica. O número atômico corresponde ao número de prótons num átomo. Assim, os isótopos de um certo elemento contêm o mesmo número de prótons. A diferença nos pesos atômicos resulta de diferenças no número de neutrons nos núcleos atômicos. Os isótopos são designados pelo nome do elemento seguido por um hífen e pelo número de núcleos (prótons e nêutrons) no núcleo atômico (ex: ferro-57, urânio-238, hélio-3). Na forma simbólica, o *número de núcleos* é escrito como um prefixo subido do símbolo químico (ex: <sup>238</sup>U).

**Macronutriente** – Nutrientes necessários para um desenvolvimento vegetal. São eles, os elementos N, P e K.

**Magma** – Material rochoso em fusão, originada em profundidades crustais a mantélicas, que ascende na crosta terrestre e que, ao resfriar, se solidifica como rocha magmática.

**MB-4** – Produto comercializado no Brasil, proveniente da moagem de rochas silicatadas formado por diversos silicatos, nomeadamente de magnésio, cálcio e ferro, com, fósforo, potássio, enxofre e vários micronutrientes.

**Metano (CH<sub>4</sub>)** – O metano, um dos seis GsEE a serem mitigados, como foi especificado no “Protocolo de Kioto”, é o maior componente do gás natural e está associado com todos os hidrocarbonetos combustíveis, à indústria pecuária e agrícola.

**Micotoxinas** – Substâncias químicas tóxicas produzidas por fungos.

**Neossolos quartzarênicos** – Em geral, são solos originados de depósitos arenosos, apresentando textura de areia ou areia franca ao longo de, pelo menos, 2 m de profundidade. Esses solos são constituídos essencialmente de grãos de quartzo, sendo, por conseguinte, praticamente destituídos de minerais primários pouco resistentes ao intemperismo.

**NORM** – *Naturally Occurring Radioactive Material* - Material radioativo de ocorrência natural aumentado tecnologicamente, incluindo todos os radionuclídeos cujas propriedades físicas, químicas, radiológicas ou concentração de radionuclídeos foi alterada do seu estado natural”. Resulta da concentração de nuclídeos radioativos em certos materiais, durante vários processos não nucleares. Exemplo: emissão de rádio através das cinzas de carvão em usinas termelétricas, o radônio no gás natural, etc.

**‘Operação Tatu’** – Experiência desenvolvida no Rio Grande do Sul no final da década de 60, para demonstrar ao agricultor as vantagens da fer-

tilização e calagem, quando bem aplicadas, no aumento da produtividade.

**Pirólise** (do grego *pyr*, *pyrós* = fogo + *lysis* = dissolução) – é um processo em que ocorre uma ruptura da estrutura molecular original de um determinado composto pela ação do calor em um ambiente com pouco ou nenhum oxigênio.

**Remineralização** – Restabelecimento da fertilidade do solo por um tempo mais longo que o dos adubos químicos convencionais, utilizando pó de rochas.

**Resiliência** – Capacidade de de um sistema social ou ecológico absorver distúrbios mantendo a mesma estrutura básica e os caminhos de funcionamento; capacidade de organização própria e de adaptação ao *stress* e a mudanças.

**Rochagem** – Utilização de pó de rocha como fertilizante. Termo inspirado no de “calagem” que traduz o uso de calcário na correção da acidez dos solos.

**Rochas ígneas** – Rocha que cristalizaram a partir de um magma.

**Salgema** – NaCl. Cloreto de sódio.

**Salinização** – Acumulação de sais no solo.

**Salmouras** – produto da concentração da água do mar ou lagos salgados por evaporação solar.

**SRES** – São ‘cenários de emissão’ [GsEE] desenvolvidos por Nakicenovic e Swart (2000) e usados, entre outros, como base para algumas das projeções climáticas do *Fourth Assessment Report*

**Segurança alimentar** – situação na qual as pessoas têm acesso garantido a quantidades suficientes de alimentos para uma nutrição normal e saudável. A insegurança alimentar pode ser causada pela não disponibilidade de alimentos, falta de poder aquisitivo, inapropriada distribuição ou inadequado uso doméstico.

**SF<sub>6</sub>** – Um dos seis GsEE a serem cujas emissões devem ser reduzidas, como decidido no acordo de Kioto.

**Sievert (símbolo: Sv)** – Equivalente de dose de uma radiação igual a um joule por quilograma (Nome especial para a unidade SI de equivalente de dose).

**Sistema de Plantio Direto** – baseia-se em três princípios fundamentais: não revolvimento do solo, mantê-lo permanentemente coberto com palha, e fazer rotação de culturas. Devido à ausência de operações para preparo do solo, há uma sensível economia de tempo, combustíveis, trabalho e custos, o que melhora os resultados econômicos.

**Solo** – Termo que designa produtos friáveis e móveis formados na superfície da Terra como resultado da desagregação e decomposição das rochas pela ação do intemperismo. Desenvolve-se em um determinado bioma, relevo e clima, ao longo do tempo. O solo, é um material complexo, constituído de proporções e tipos variáveis de minerais, gases, água e húmus, de difícil definição, cujo conceito varia em função da sua utilização. Pode ser visto sobre diferentes óticas. Para um agrônomo, através da edafologia, solo é a camada na qual pode-se desenvolver vida vegetal. **Estrutura do solo**, designa a intensidade e a forma de agregação das partículas mais finas em fragmentos ou unidades maiores. **Profundidade do solo**: espessura do solo acessível ao sistema radicular. **Complexo de adsorção**: componentes do solo que retêm, de forma disponível para as plantas, os nutrientes. **Capacidade de adsorção** – capacidade do solo em reter uma certa quantidade de nutrientes. **Solução do solo** – fase líquida (água) que contem os nutrientes numa forma disponível para as plantas.

**Stakeholder** – Pessoa ou organização que tem legítimo interesse num projeto ou uma entidade que seja afetada por uma ação particular ou política.

**Surfactante** – substância capaz de diminuir a tensão superficial de líquidos.

**Temperatura do solo** – Habitualmente refere-se à temperatura do solo nos primeiros 10 cm

**TENORM** – Quando os nuclídeos radioativos associados aos materiais naturais surgem após processos industriais, estes são denominados - *Technologically Enhanced Natural Occurrence Radioactive Material*.

**TENR** – *Technologically Enhanced Natural Radiation* – Os nuclídeos radioativos aparecem, por exemplo, no processo de produção do petróleo e do gás através da mobilização dos radionuclídeos que ocorrem naturalmente em rochas e em reservatórios em profundidade, os quais se depositam como TENR em instalações de produção, tratamento e transporte ou aparecem na água produzida.

**Terpenos** – são os compostos de fórmula geral  $(C_{10}H_{16})_n$  que se encontram como componentes, de óleos essenciais e resinas extraídas das raízes, dos caules, das folhas e das flores de várias plantas. Os terpenos são compostos incolores de odor penetrante, sólidos ou líquidos.

**Tinguaíto** – Variedade textural de fonólito.

**UN-Energy** – É o principal mecanismo interagências no campo da energia. Ajuda a assegurar: (a) coerência na resposta multidisciplinar ao sistema WSSD (*World Summit on Sustainable Development*); e (b) compromisso coletivo dos não usuários da UN. (Ver, em especial: *Sustainable Bioenergy: A Framework for Decision Makers* – [ [www.fao.org/docrap/](http://www.fao.org/docrap/) ]). Seguem-se os agentes, programas e membros da *UN-Energy*:

— Economic Commission for África [ [www.uneca.org](http://www.uneca.org) ] ;

— Economic Commission for Europe [ [www.unece.org](http://www.unece.org) ] ;

— Economic Commission for Latin America and de Caribbean [ [www.eclac.cl](http://www.eclac.cl) ] ;

— Economic and Social Commission for Asia and Pacific [ [www.unescap.org](http://www.unescap.org) ] ;

— Economic and Social Commission for Western Asia [ [www.escwa.org.lb](http://www.escwa.org.lb) ] ;

— FAO [ [www.fao.org](http://www.fao.org) ] ;

- IAEA [[www.iaea.org](http://www.iaea.org)];
- U.N. Human Settlements Programme (HABITAT) [[www.unhabitat.org](http://www.unhabitat.org)];
- U.N. Conference on Trade and Development [[www.unctad.org](http://www.unctad.org)];
- U.N. Development Programme [[www.undp.org](http://www.undp.org)];
- U.N. Framework Convention on Climate Change [[www.unfccc.int](http://www.unfccc.int)];
- UNESCO [[www.unesco.org](http://www.unesco.org)];
- UNEP [[www.unep.org](http://www.unep.org)];

- UNIDO [[www.unido.org](http://www.unido.org)];
- World Health Organization [[www.who.org](http://www.who.org)];
- World Meteorological Organization [[www.wmo.ch](http://www.wmo.ch)];
- World Bank [[www.worldbank.org](http://www.worldbank.org)];
- Department of Economic and Social Affairs [[www.un.org/esa](http://www.un.org/esa)].

**Ustulação** – queima de sulfetos em fornos especiais com passagem de corrente de ar quente.

**WWF** – *World Wildlife Fund*.

# **Análise do Mercado de Fertilizantes**

**José Alberto Montenegro Franco**  
**Petrobras**

**Rio de Janeiro, 17/11/2009**



## **1 – Alimentação e Agroenergia**

**1.1 – Contexto Mundial**

**1.2 – Contexto Nacional**

## **2 – Fertilizantes**

**2.1 – Histórico**

**2.2 – Matriz de Produção de Fertilizantes**

**2.3 – Produção e Mercado Mundial**

**2.4 – Produção e Mercado Brasileiro**

**2.5 – Preços**

**2.6 – Desafios de Oportunidades Futuras**



# Alimentação e Agroenergia Contexto Mundial



## Os dez maiores problemas para a humanidade nos próximos 50 anos

### **AGRICULTURA**

**Energia**

**Água**

**Alimentos**

**Meio ambiente**

**Pobreza**

**Educação**

**Democracia**

**População**

**Doenças**

**Terrorismo & guerra**



## Tendências Demográficas

	1990	2000	2025
<b>População mundial (bilhões)</b>	<b>5,20</b>	<b>6,20</b>	<b>8,30</b>
Demanda por alimento (bilhões de ton)	1,97	2,45	3,97

Fonte: Bourlaug, N., *Agroanalysis*, Vol 27, nº03, Março 2007

**1960 a 1990**

- Redução da fome em 20%
- Crescimento na produção de alimentos em 1000%
- Crescimento no consumo *per capita* em 25%

(maior crescimento na Ásia)





## **“AGROENERGIA: um novo paradigma agrícola”**

**“A agricultura não é apenas uma questão de segurança alimentar. Hoje, tem a oportunidade de garantir parte da segurança energética do mundo.”**



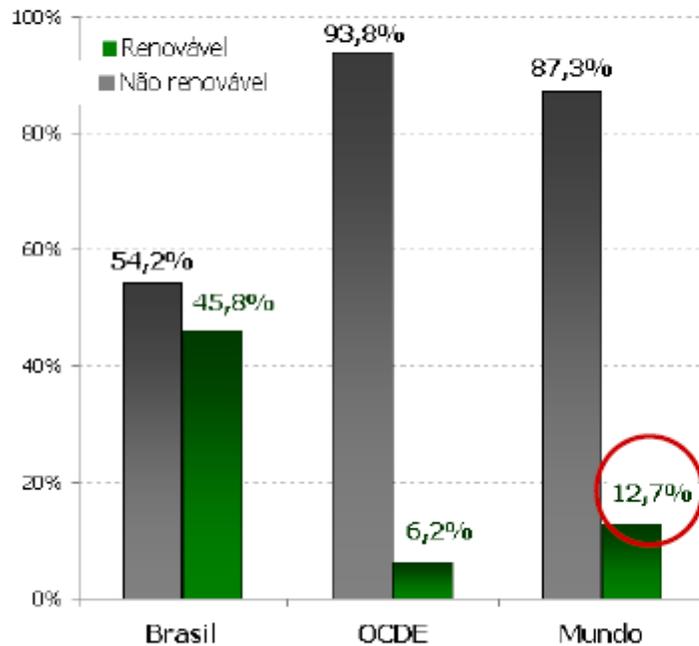
Fonte: FGV / GV AGRO



# Matriz energética – Brasil e Mundo

## Mundo

Participação no consumo total		
Renovável	2,1%	100%
Não renovável	48,5%	



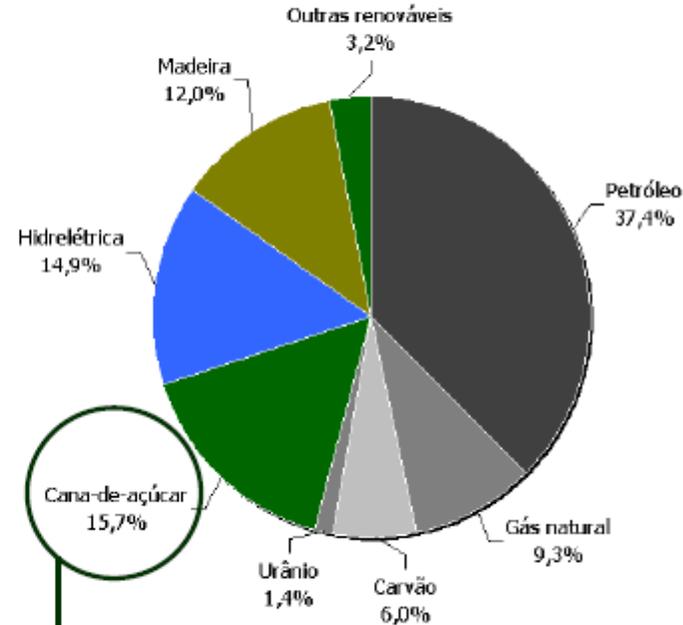
Total do Mundo: 11.434 Mtep

Fonte: MME/BEN (2007)

Elaboração: GV Agro

## Brasil

Fontes renováveis:	
Renovável	45,8%

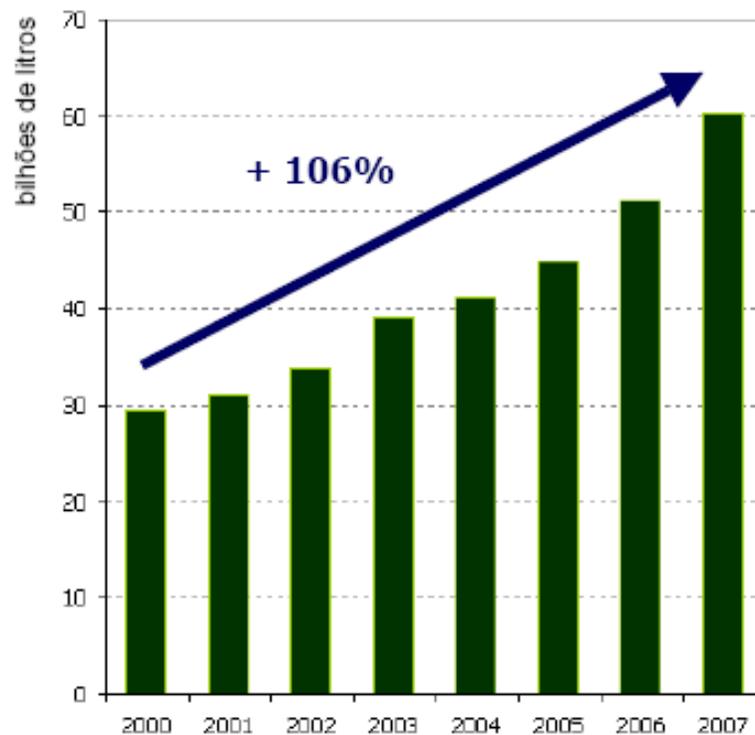


A canha-de-açúcar passou a ser a 2ª principal fonte de energia em 2007.

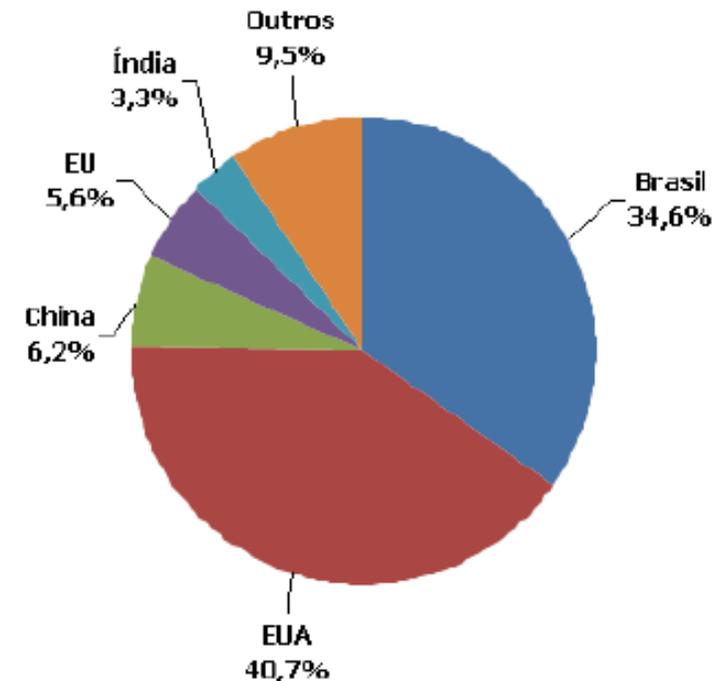


# Mundo: produção de etanol

## Evolução da produção



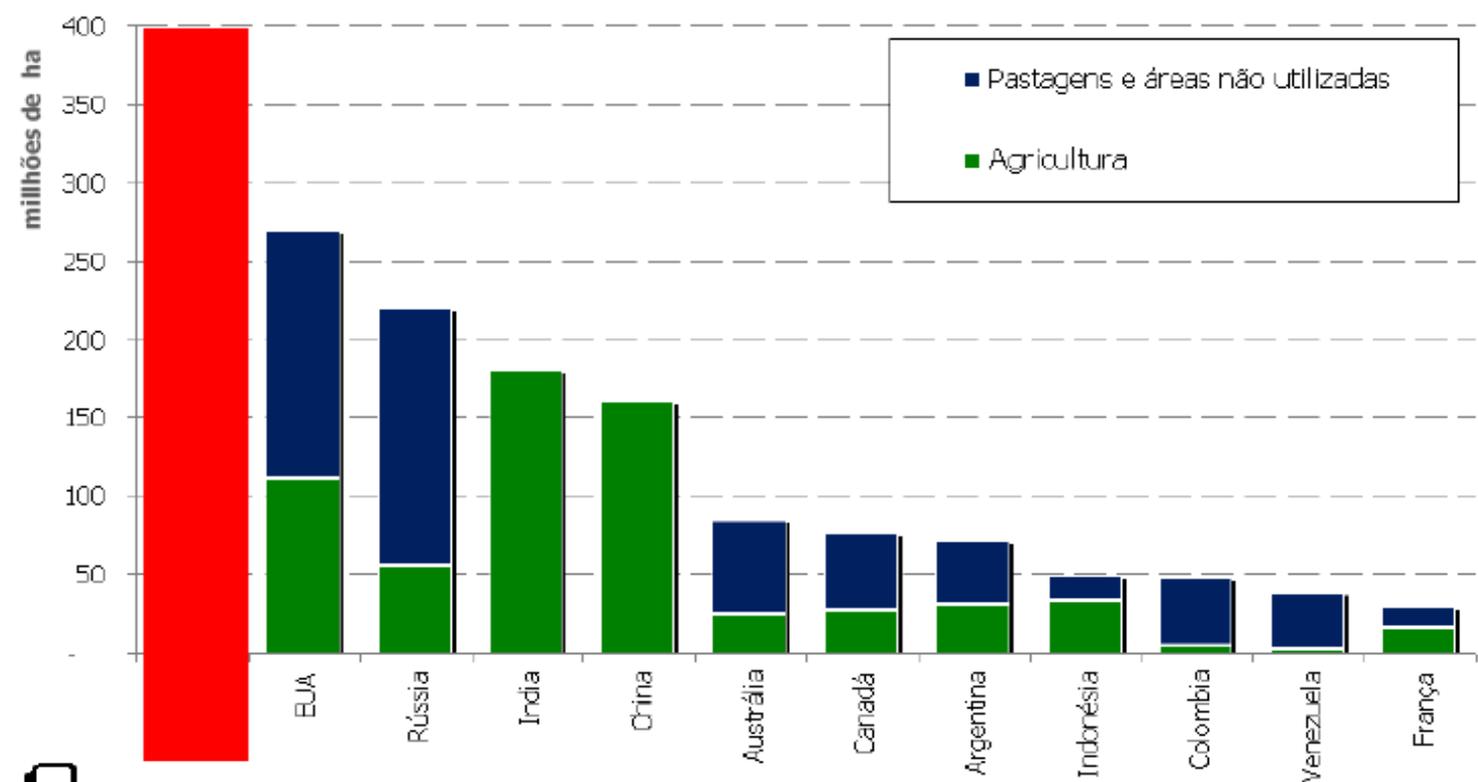
## Principais produtores - 2007



Fonte: F.O Licht Elaboração: GV Agro



# Áreas disponíveis no Mundo



No mundo, a área utilizada na produção de biocombustíveis representa 0,07% dos 1,3 bilhões de hectares destinados à agricultura.

Fonte: FAO - 2004



# Produção com sustentabilidade

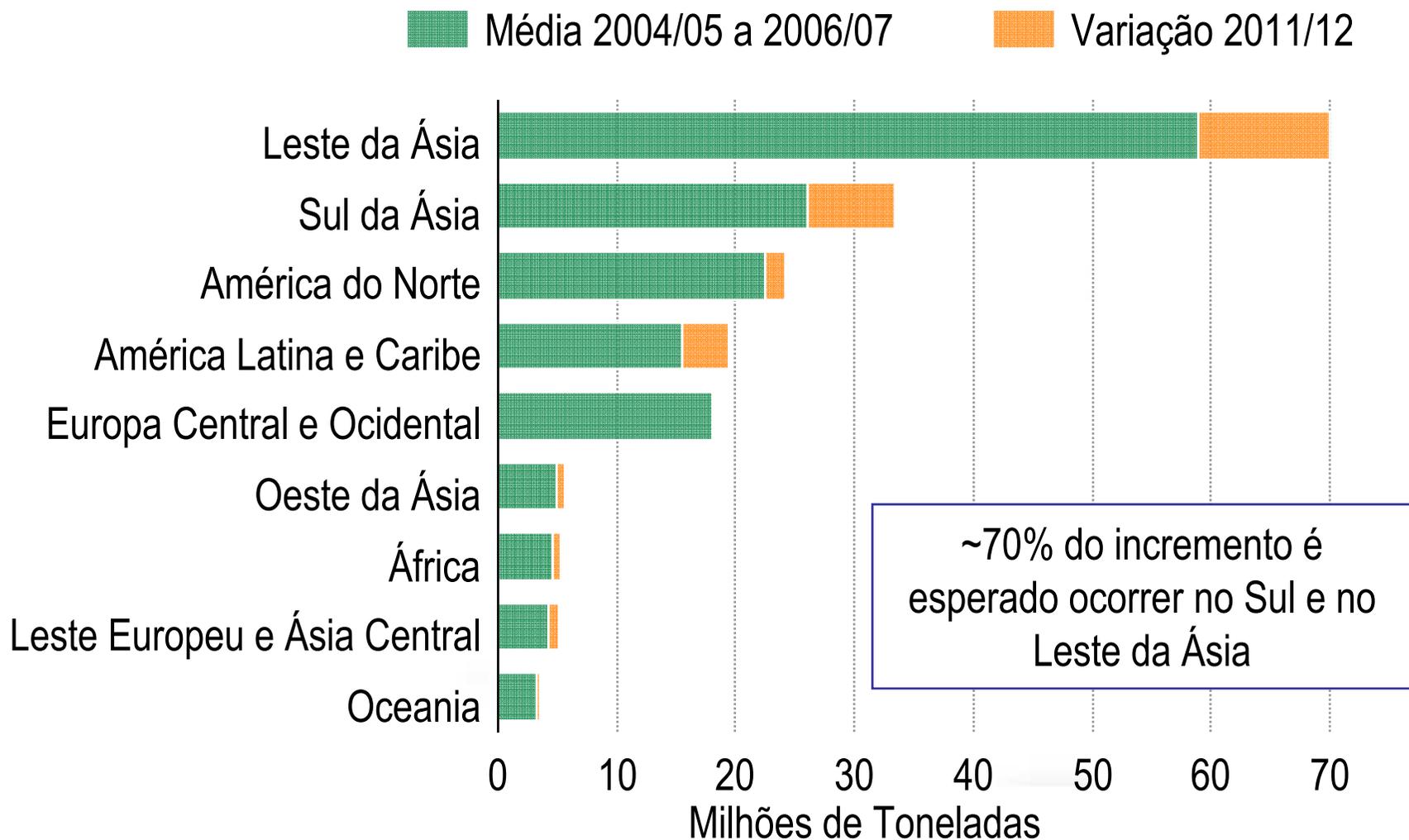


Fontes: IBGE e CONAB; Adaptação: GV Agro; Dados estimados

Elaboração: Adaptado da Revista VEJA, edição 03/03/2004



# Evolução da Demanda por Região

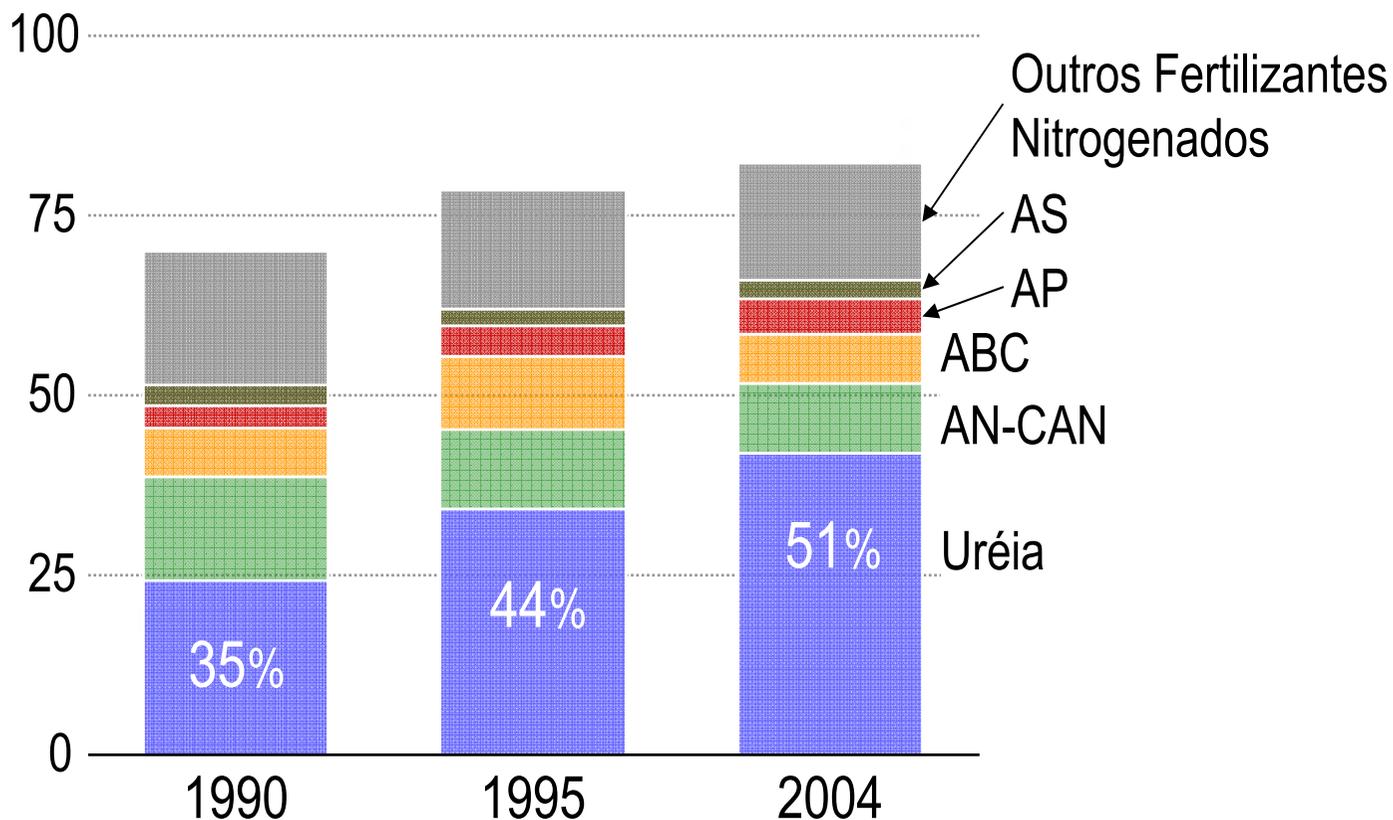


Fonte: IFA



## Distribuição do Consumo de Fertilizantes Nitrogenados no Mundo

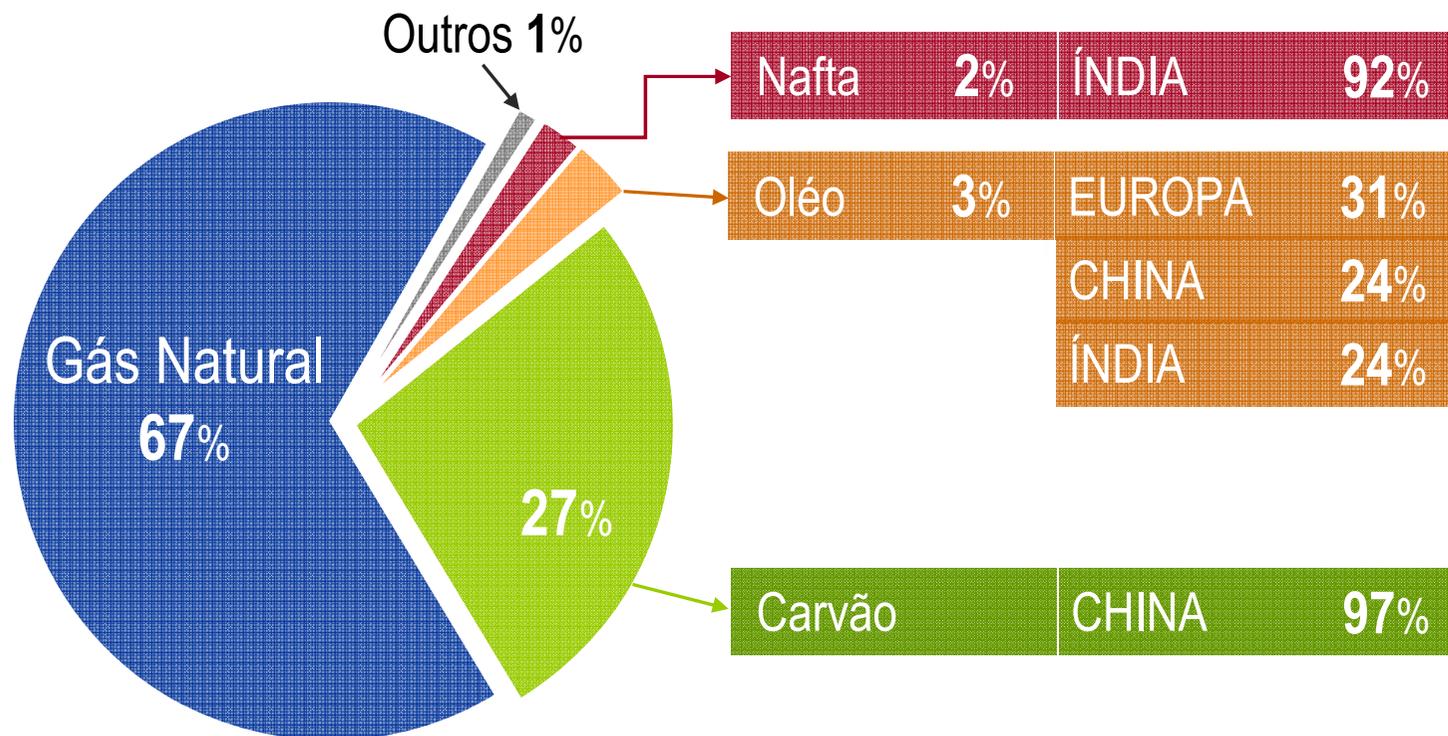
Milhões de Toneladas de Nitrogênio



Fonte: IFA



## Capacidade de Produção de Amônia por Tipo de Matéria Prima em 2007

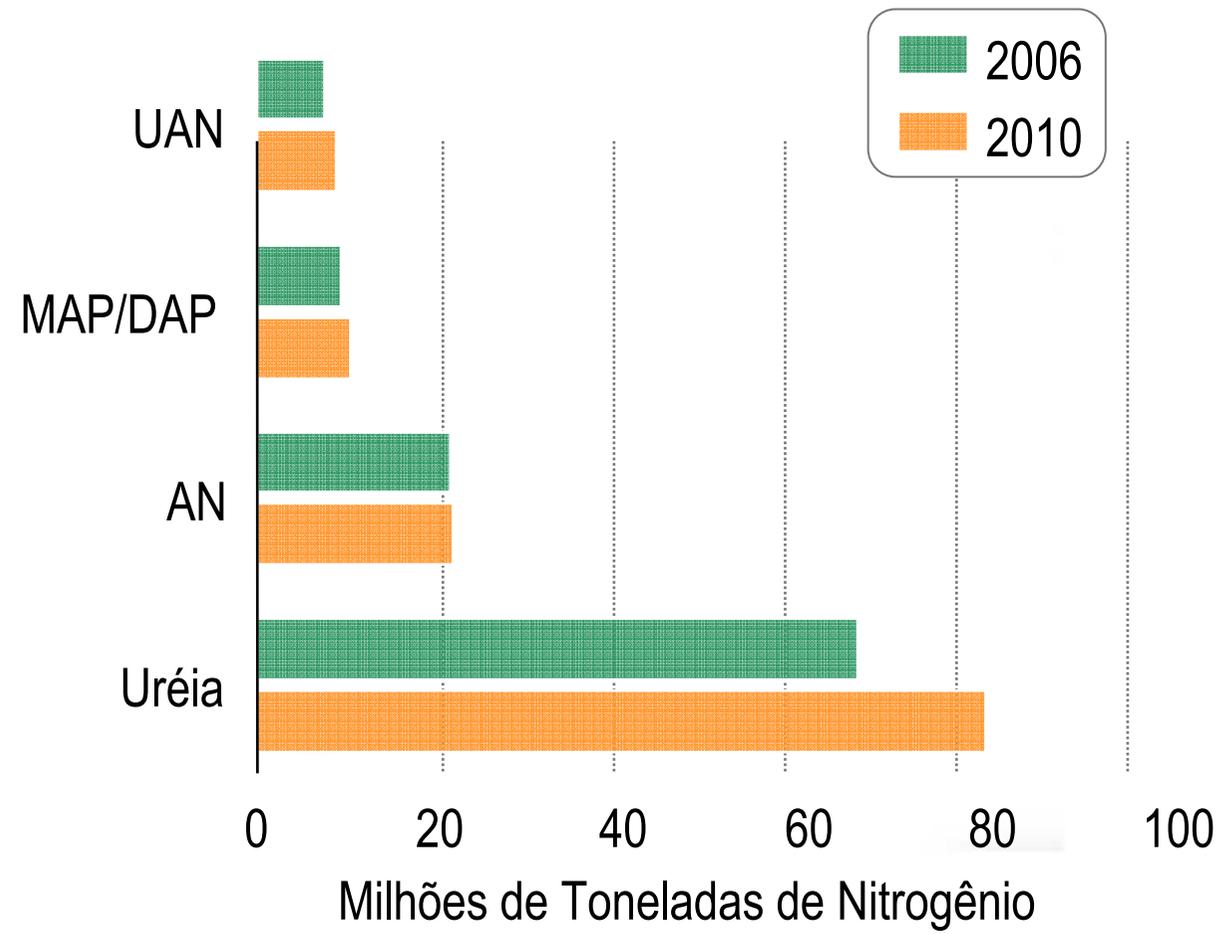


145.8 milhões de toneladas de Nitrogênio

Fonte: IFA



## Evolução da Capacidade de Produção dos Fertilizantes Nitrogenados



Fonte: IFA

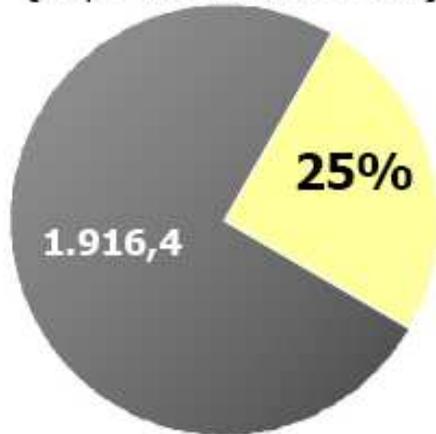


# Alimentação e Agroenergia Contexto Nacional



# O Agronegócio no Brasil

**PIB em 2007**  
(R\$ 2.559 bilhões)



**PIB do Agronegócio**  
(R\$ 642,63 bilhões)

**Agricultura**  
R\$ 456,8 bilhões  
(71,1%)

**Pecuária**  
R\$ 185,7 bilhões  
(28,9%)

## Distribuição do PIB no Sistema Agroindustrial

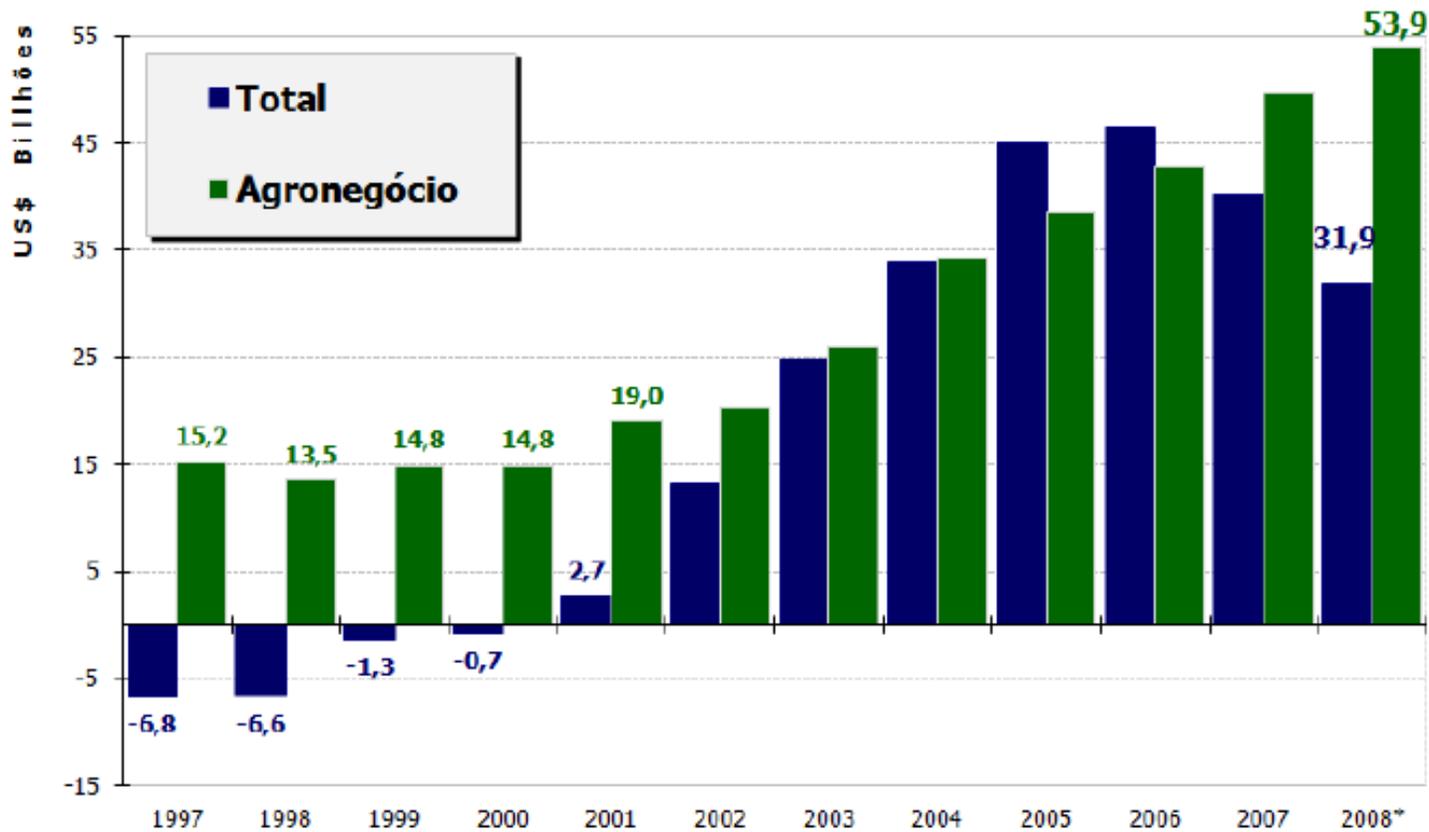
**Antes da Porteira**  
R\$ 40,5 bilhões  
(6,3%)

**Dentro da Porteira**  
R\$ 185,3 bilhões  
(28,8%)

**Depois da Porteira**  
R\$ 416,8 bilhões  
(64,9%)



## Balança comercial brasileira: evolução do saldo



Fonte: AgroStat Brasil

Elaboração: GV Aqro

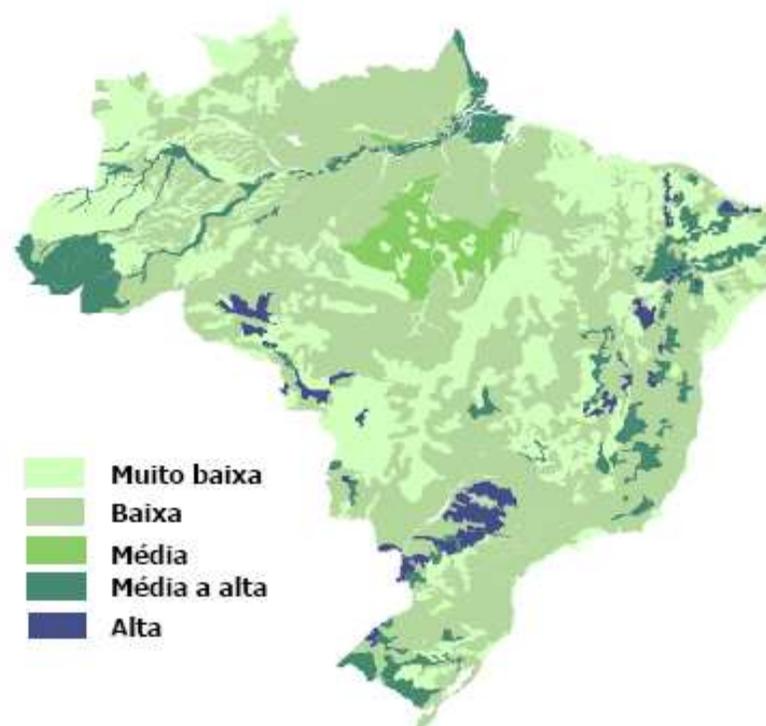
\*junho/2007 a maio/2008



# Fertilizantes – necessidade dos solos brasileiros

Mapa da fertilidade dos solos brasileiros

- ➔ Os solos são pobres
- ➔ Há necessidade de construir a fertilidade dos solos
- ➔ É preciso investir em fertilizantes

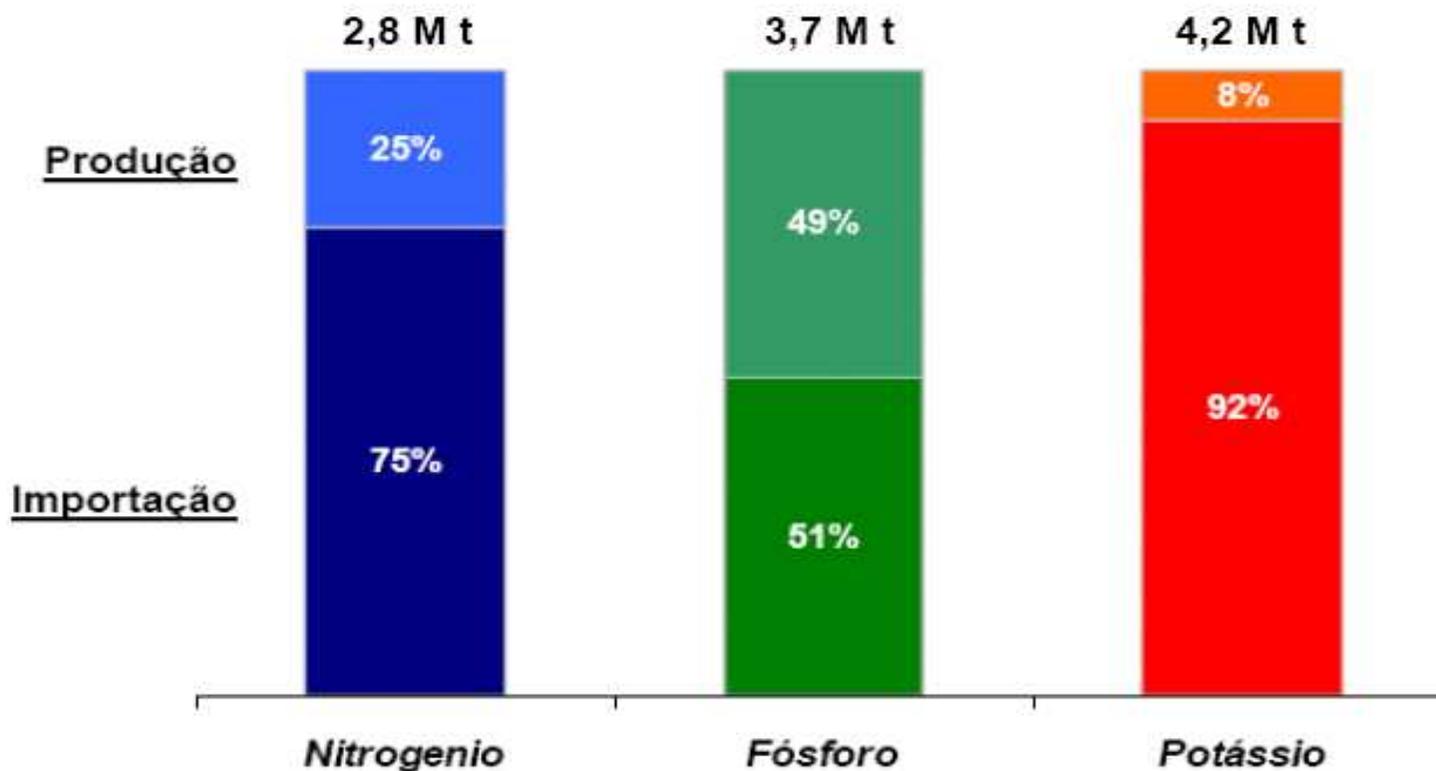


Fonte IBGE 2002, Elab. MBAgro



## Fertilizantes – dependência do mercado externo

### Consumo brasileiro de nutrientes (2007)



Fonte: ANDA



# Fertilizantes – Histórico



## Investimentos no país – Fertilizantes Nitrogenados

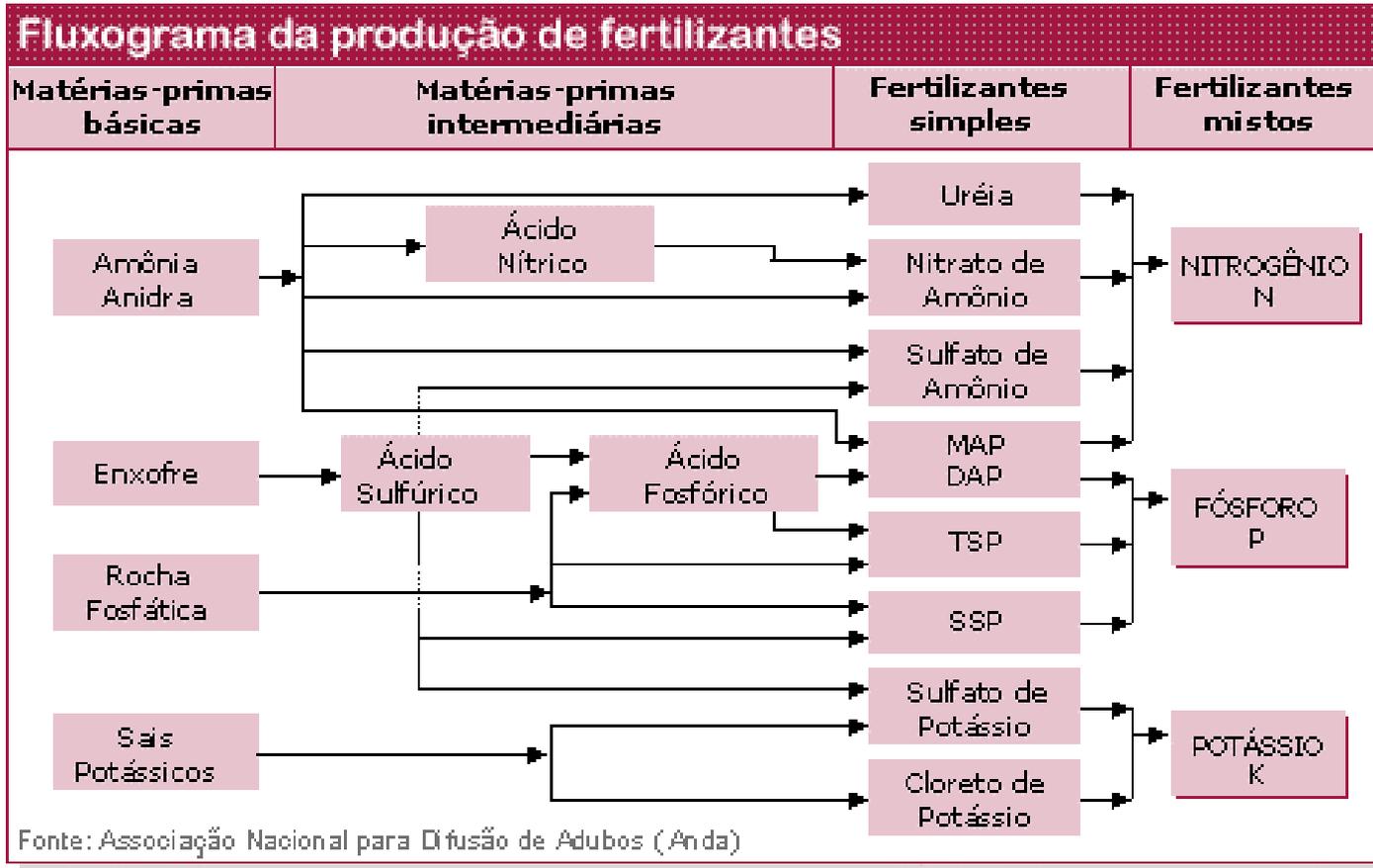
1958	FAFER / RPBC – 1ª Fábrica de Amônia e Nitrato de Amônia
1970	ULTRAFÉRTIL – (ULTRA x PHILLIPS x IFC) – Maior complexo de fertilizantes na AL
1971	Petrobras – COPEB I – 1ª Fábrica de Uréia no Brasil
1974	Petrobras assume controle acionário da Ultrafertil (Petroquisa)
1976	Constituição da Petrofertil (Nitrofertil, Ultrafertil, Goiasfertil, Fosfertil, ICC)
1978	Nitrofertil – COPEB II – Fábrica de Camaçari
1982	Nitrofertil – Fábrica de Laranjeiras
1983	Ultrafertil – Fábrica de Araucária
1993	Incorporação da Nitrofertil à Petrobras (FAFEN) Privatização da Ultrafertil e posterior incorporação na Fosfertil
2006/09	Estudos para definição de novas unidades de Amônia e Uréia



# Fertilizantes - Matriz de Produção de Fertilizantes



# Matriz de Produção de Fertilizantes

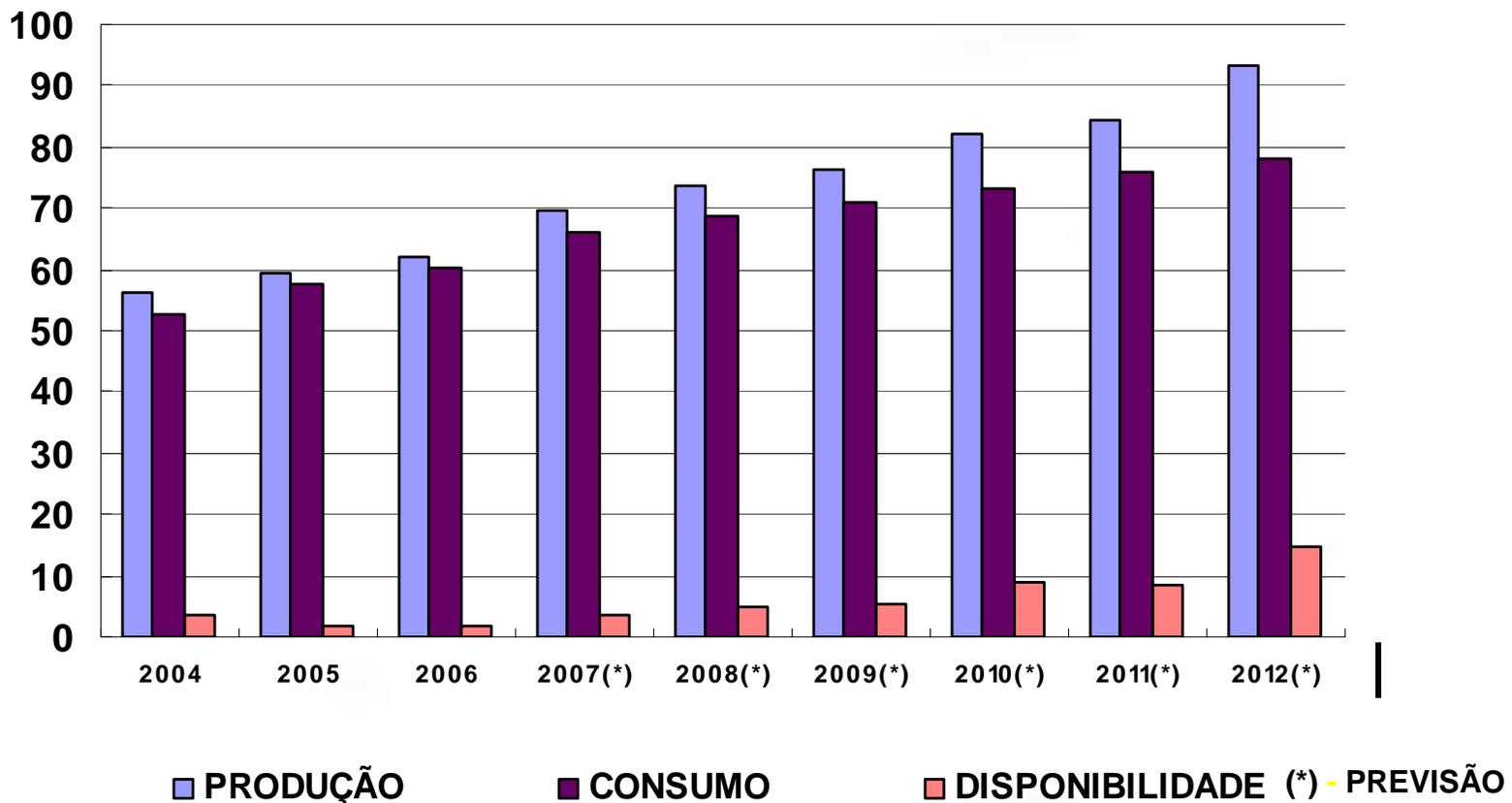


# Produção e Mercado Mundial



# MUNDO – PRODUÇÃO E CONSUMO DE URÉIA

Mil Ton de N

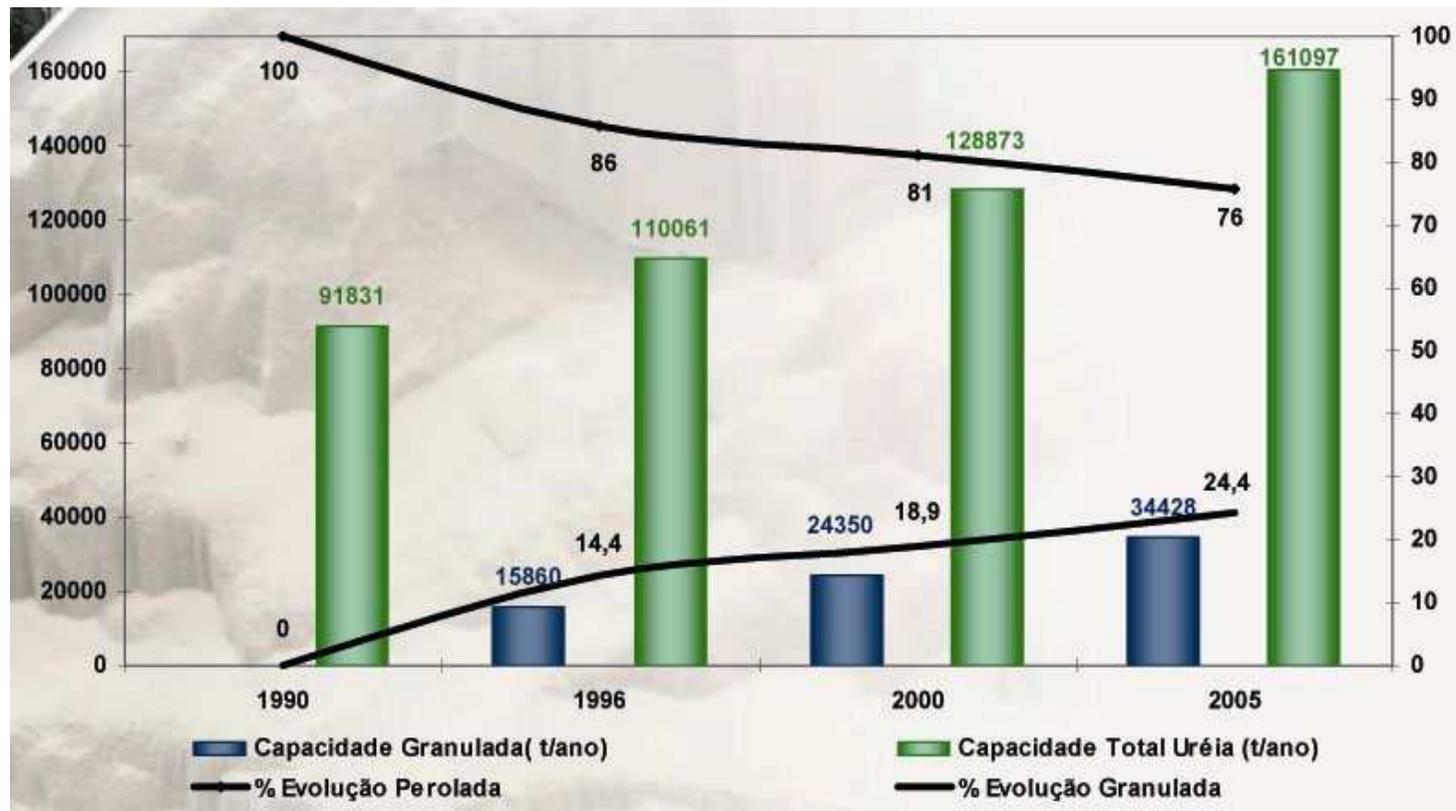


Fonte : FERTECON

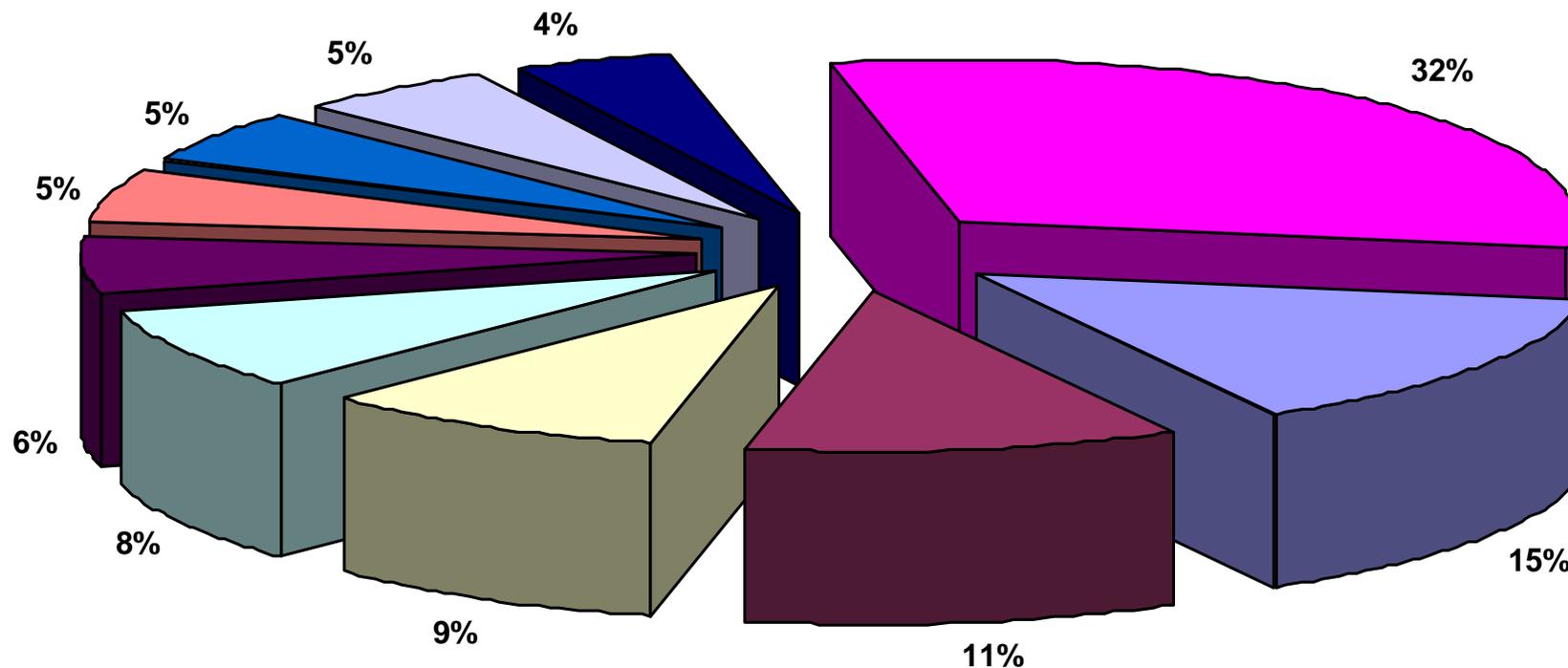


## Capacidade de produção de Uréia no Mundo

Uréia Granulada como novo padrão. O processo de perolação está sendo substituído pelo de granulação nos novos projetos de fábricas no mundo inteiro.



# PARTICIPAÇÃO DOS PAÍSES NAS EXPORTAÇÕES MUNDIAIS DE URÉIA



■ RÚSSIA  
■ CANADA  
■ VENEZUELA

■ UCRÂNIA  
■ EGITO  
■ OUTROS

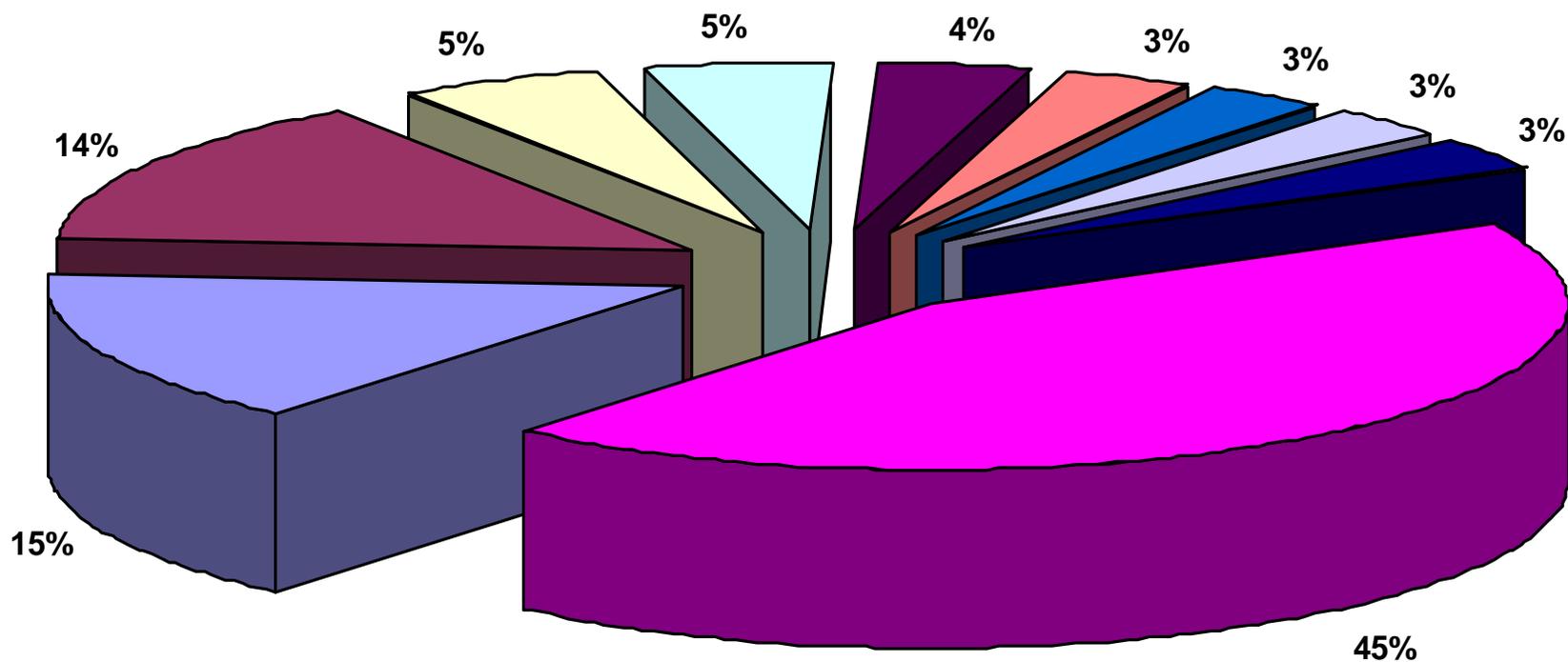
■ QUATAR  
■ OMAN

■ ARABIA SAUDITA  
■ CHINA

Fonte : FERTECON



## PARTICIPAÇÃO DOS PAÍSES NAS IMPORTAÇÕES MUNDIAIS DE URÉIA



- |                  |           |          |             |
|------------------|-----------|----------|-------------|
| ■ ESTADOS UNIDOS | ■ ÍNDIA   | ■ BRASIL | ■ TAILÂNDIA |
| ■ MÉXICO         | ■ TURQUIA | ■ FRANÇA | ■ ITÁLIA    |
| ■ AUSTRALIA      | ■ OUTROS  |          |             |

Fonte : FERTECON



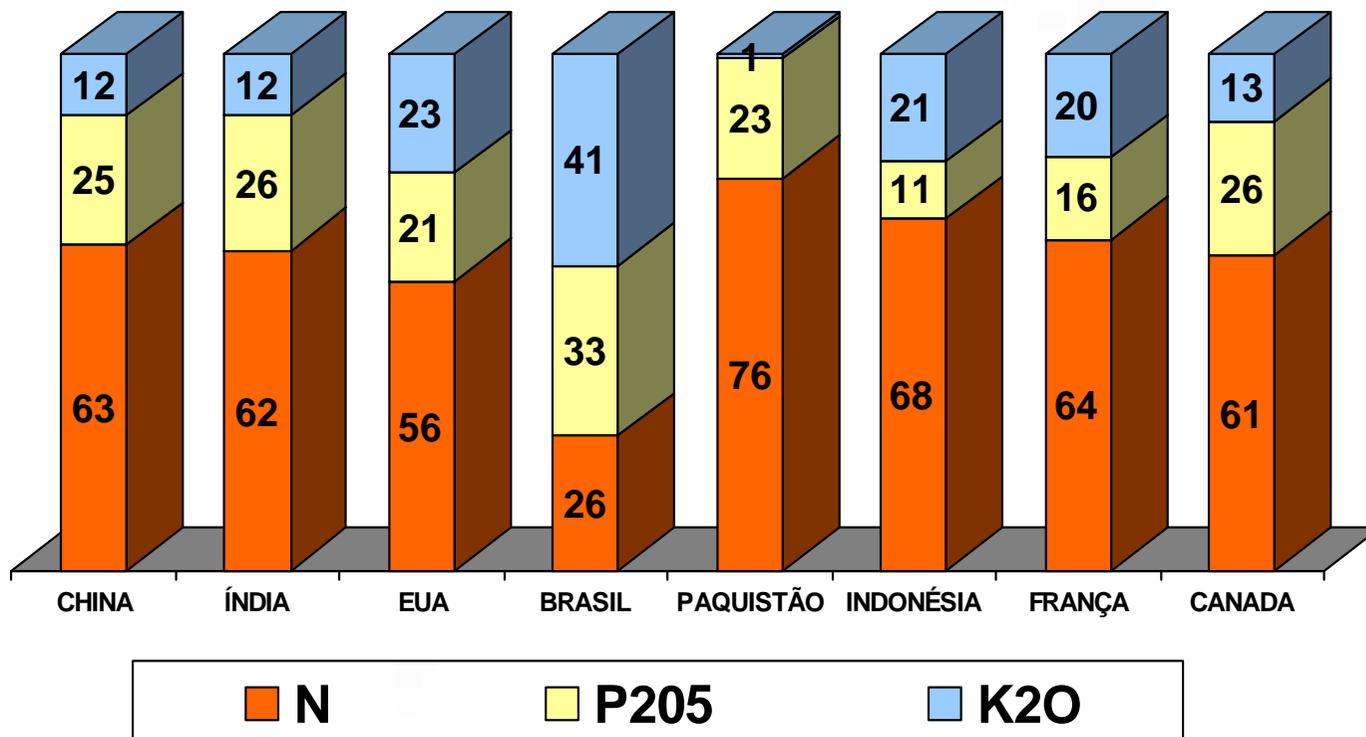
- Razões para o crescimento das exportações mundiais:
  - 1° Construção de grandes plantas destinadas à exportação em países com baixo custo de gás natural;
  - 2° A expansão do consumo (fertilizantes e industrial) em áreas com limitados recursos em gás natural.
- O grande aumento nas exportações decorrente do aumento, nos últimos anos, do preço do gás nos EUA; fechando plantas responsáveis por uma produção de 7,5 milhões ton /ano.
- Metade do crescimento, previsto, da produção mundial de amônia e uréia, até 2015, será em países com alto consumo interno de fertilizantes (China, Paquistão e Egito). O restante será em países com preços baixos de gás natural (Norte da África e Oriente Médio).



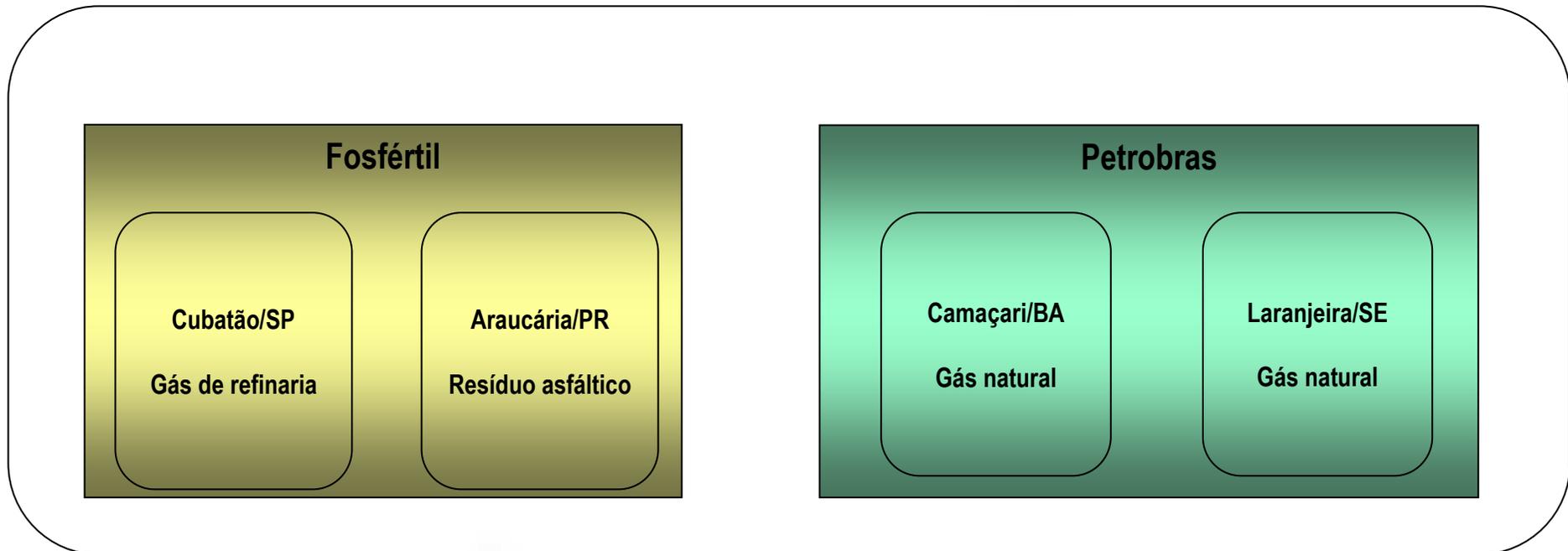
# Produção e Mercado Brasileiro



## PARTICIPAÇÃO DOS NUTRIENTES NO CONSUMO DE FERTILIZANTES ( Em % - 2007)



## Unidades de Produção de Uréia e Amônia no Brasil e Matérias-Primas Utilizadas

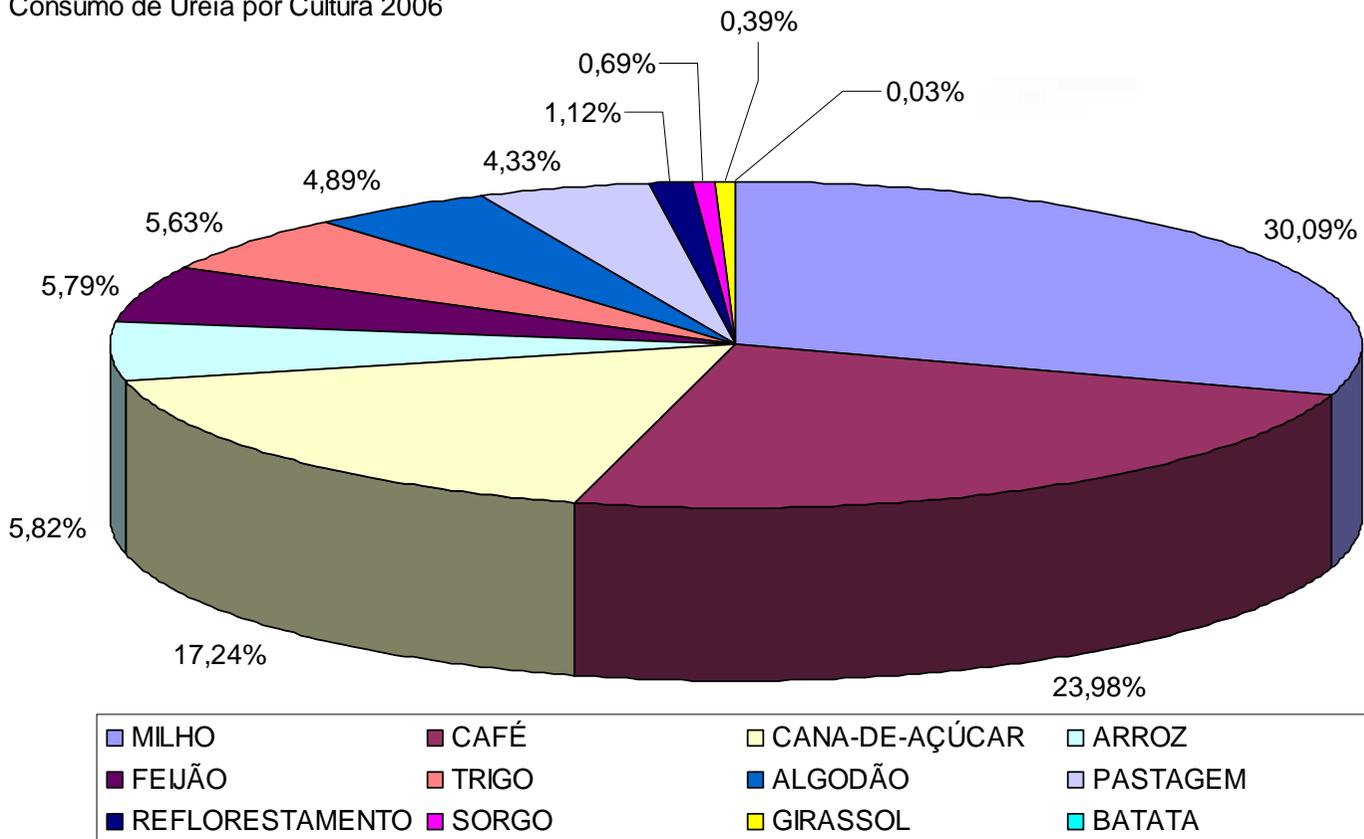


Aproximadamente 90% da produção mundial é baseada no gás natural. O restante divide-se em iniciativas como a utilização de carvão, na China, e nafta, na Índia.



## Distribuição do Consumo de Uréia Por Cultura no Brasil

Consumo de Uréia por Cultura 2006

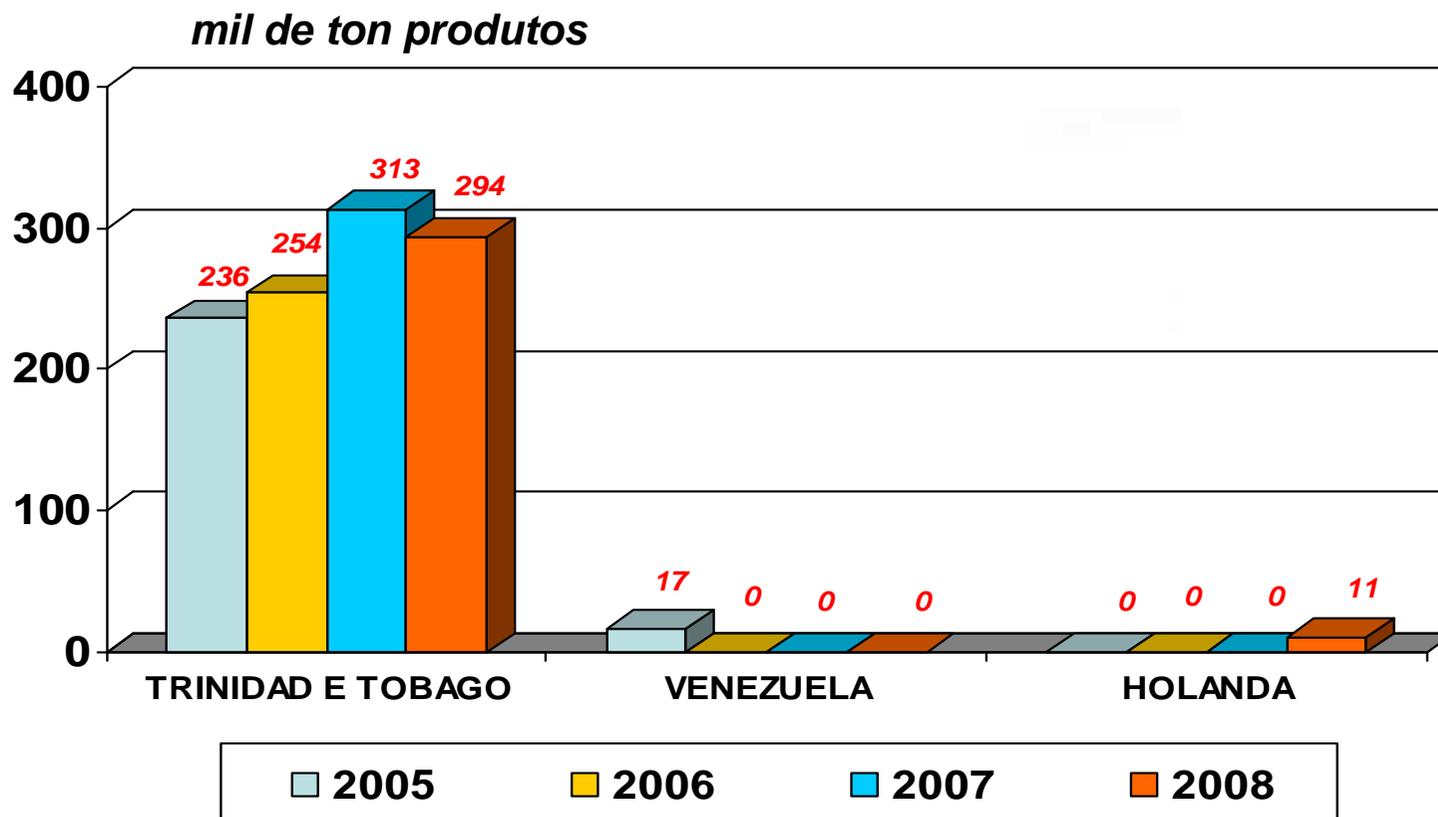


**Milho, café e cana-de-açúcar representam cerca de 71% do consumo de uréia**

FONTE: ANDA/SIACESP



# IMPORTAÇÕES DE AMÔNIA



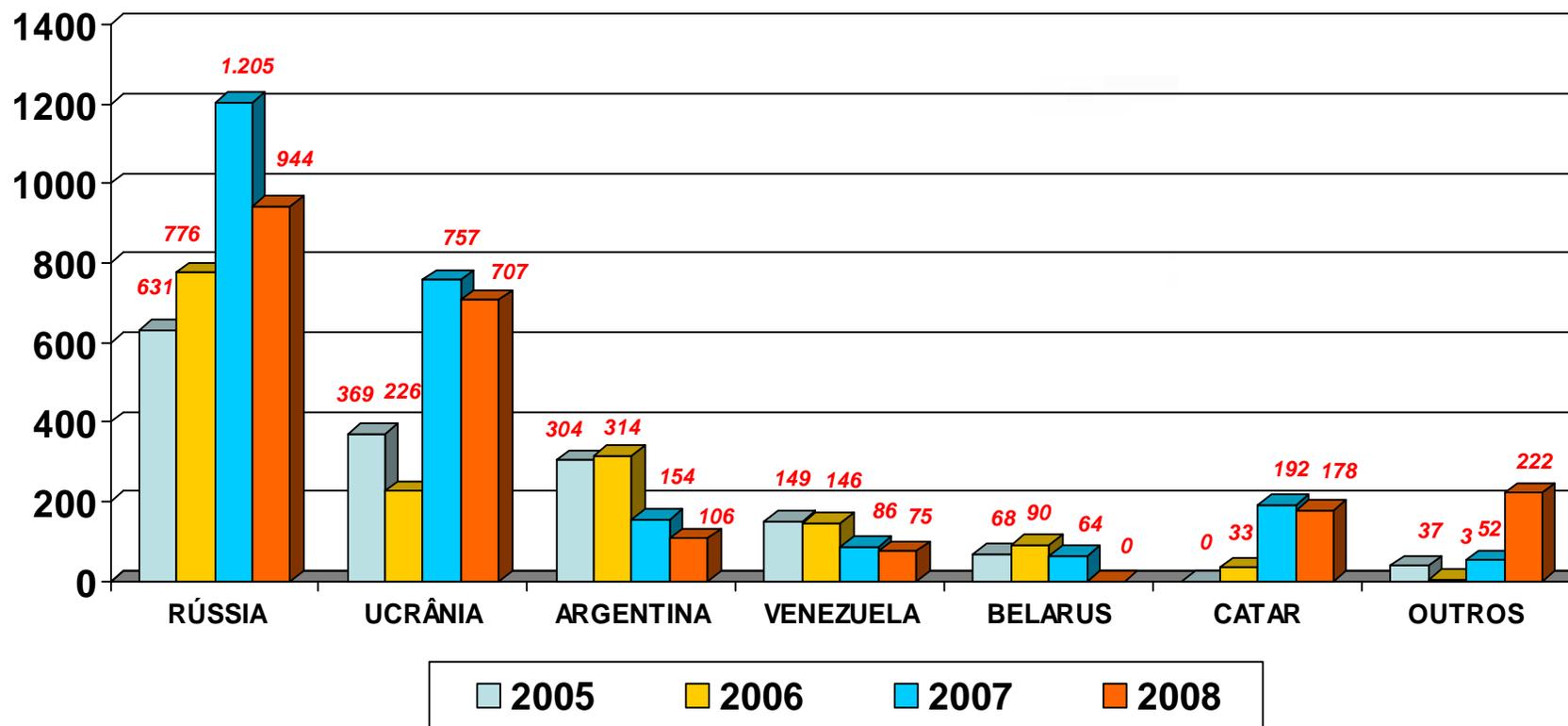
**Total importado (mil ton) : 2005 : 253    2006 : 254    2007 : 313    2008 : 307**

**FONTE: MDIC/SECEX**



# IMPORTAÇÕES DE URÉIA

*mil de ton produtos*

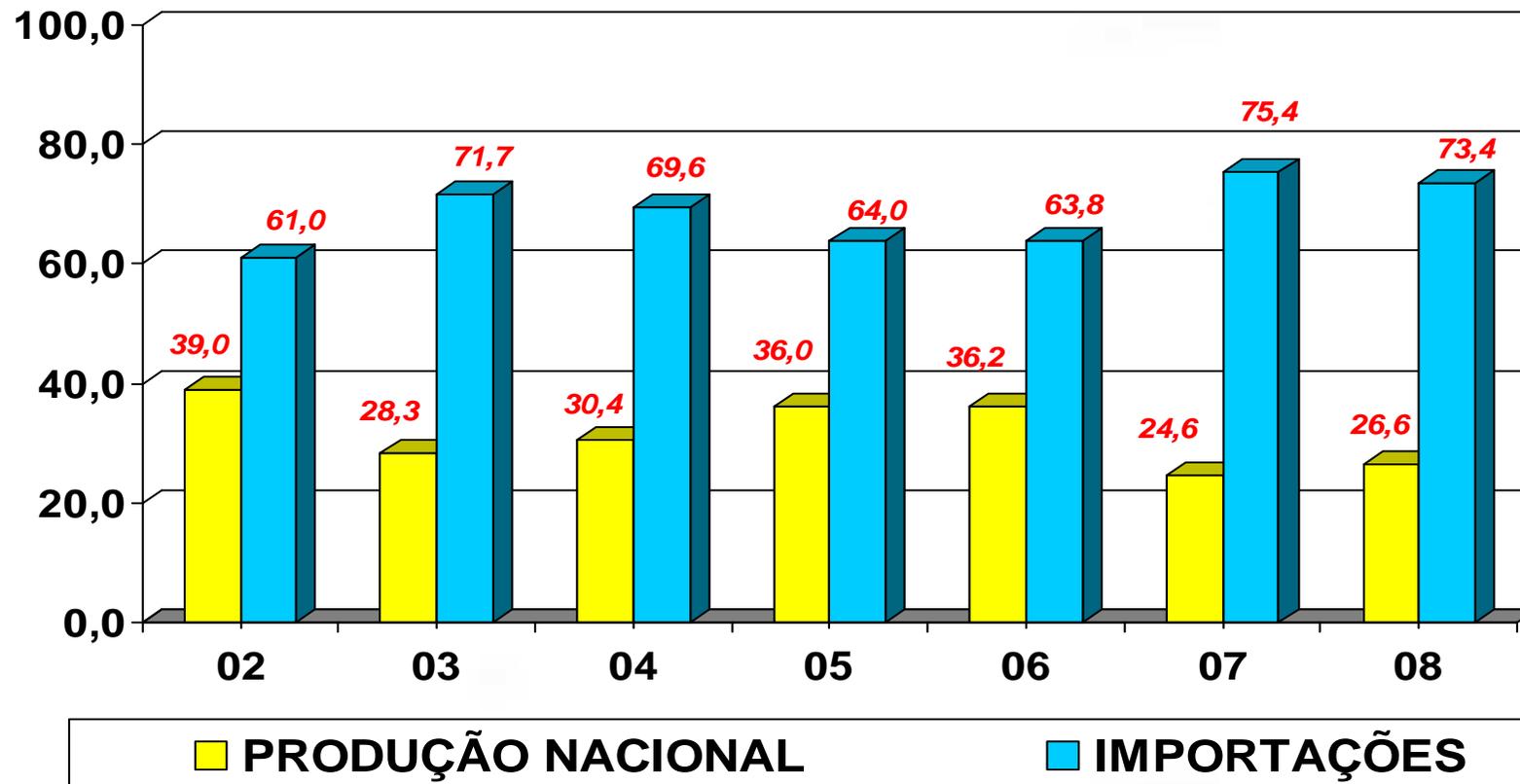


**Total importado (mil ton) : 2005 : 1.558    2006 : 1.588    2007 : 2.510    2008 : 2.102**

**FONTE: MDIC/SECEX**



## PARTICIPAÇÃO DA PROD.NACIONAL E IMPORTAÇÕES NA OFERTA DE FERTILIZANTES NITROGENADOS

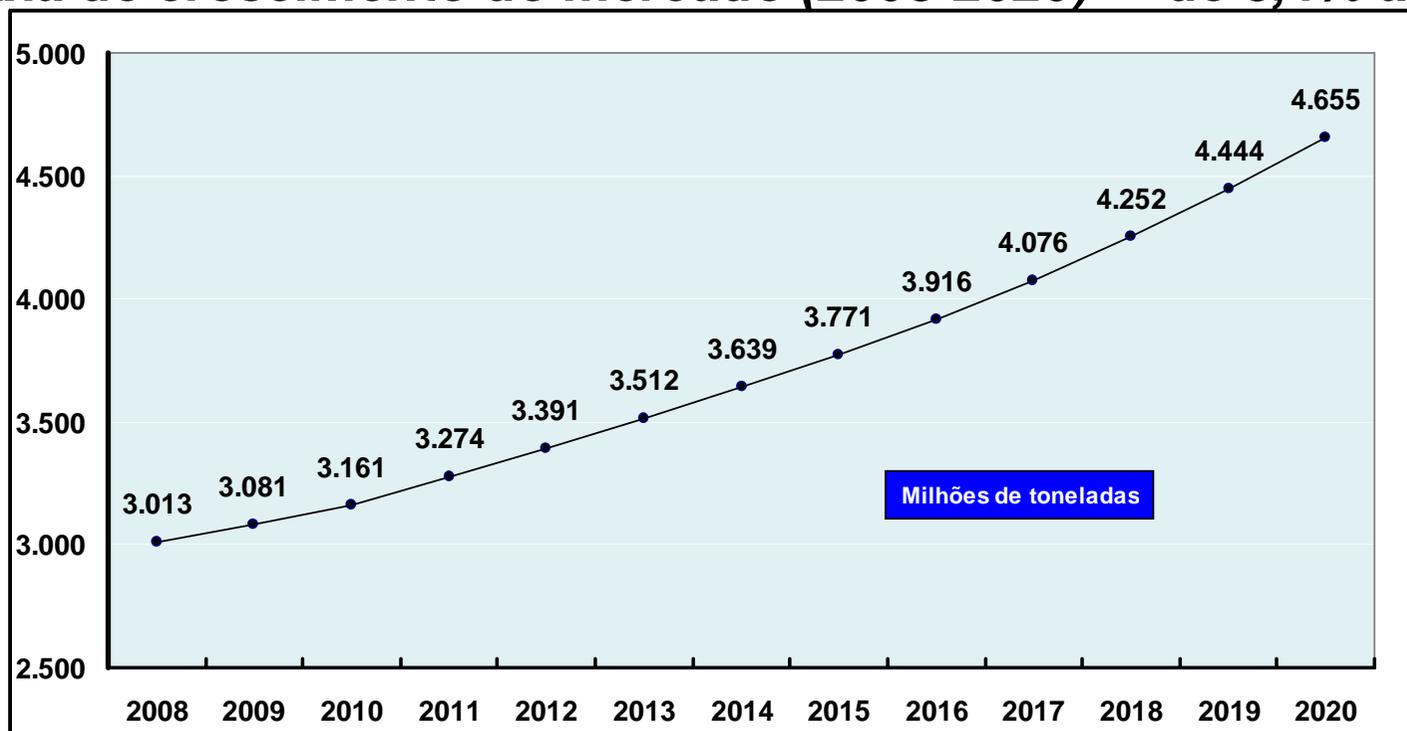


FONTE: ANDA/SIACESP



# URÉIA - PERSPECTIVAS DE CRESCIMENTO DO MERCADO BRASILEIRO

*Taxa de crescimento do mercado (2008-2020) - de 3,4% a.a.*



	Fosfertil	-	570.000 t/a			
CAPACIDADE ATUAL	FAFEN-BA	-	420.000 t/a		TOTAL	- 1.500.000 t/a
	FAFEN-SE	-	510.000 t/a			

FONTE: PETROBRAS



## Características do Mercado Nacional

- Mercado mundial, aberto e competitivo;
- Demanda derivada – depende da demanda por produtos agrícolas;
- Fertilizantes e petroquímicos são commodities;
- Vários produtores mundiais;
- Preços voláteis (balanço oferta-demanda, mercado sazonal e competitivo);
- **Tomadora de Preços** : A indústria nacional de amônia e uréia, em decorrência das características do mercado nacional (baixa barreira tarifária, vantagem tributária aos importados, demanda oposta a do hemisfério norte) atua como “*Tomadora de Preços*”, isto é, pratica preços compatíveis aos das importações.



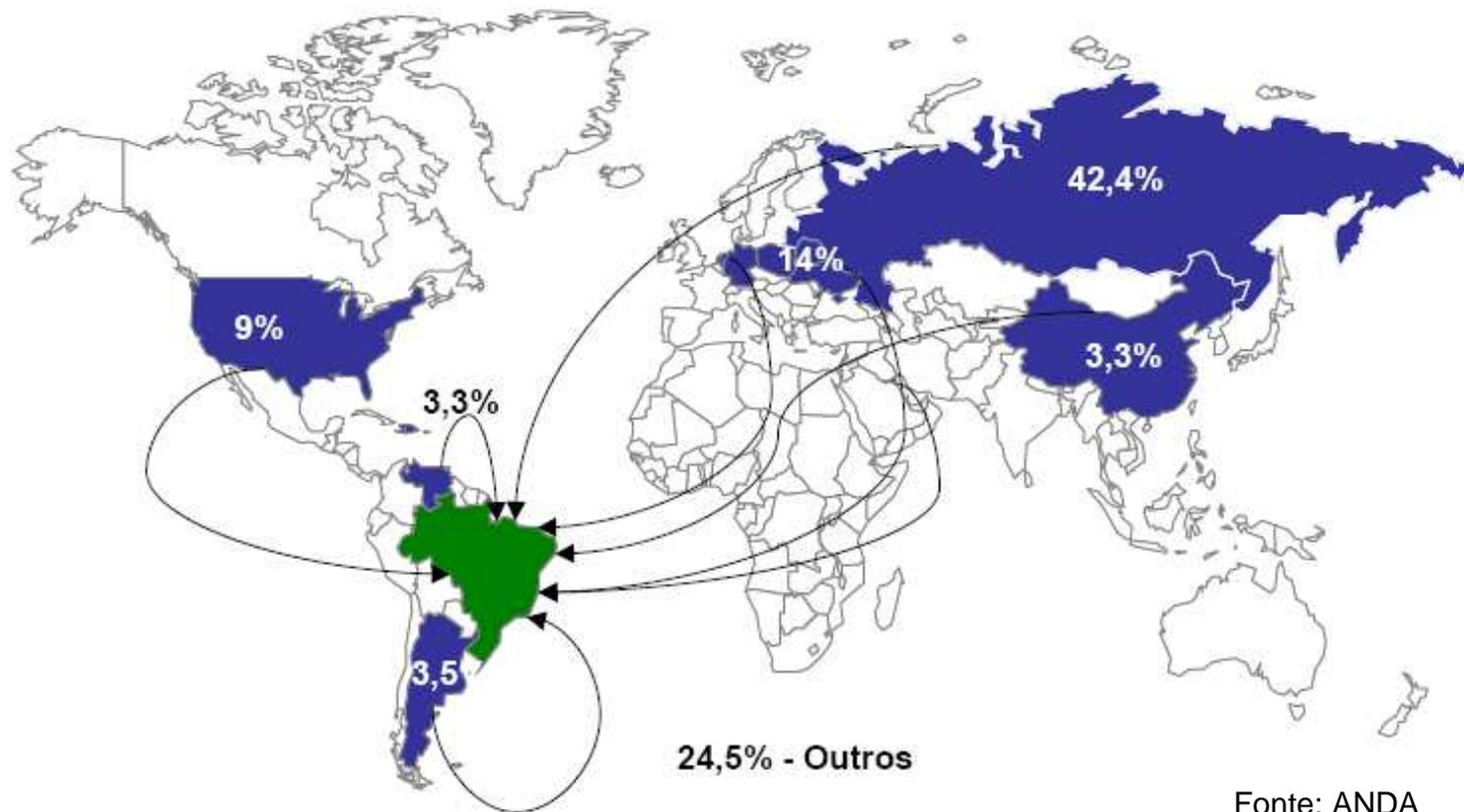
# Preços

## Contexto Globalizado



# Preços Internacionais e Dependência

Principais origens das importações brasileiras nitrogênio

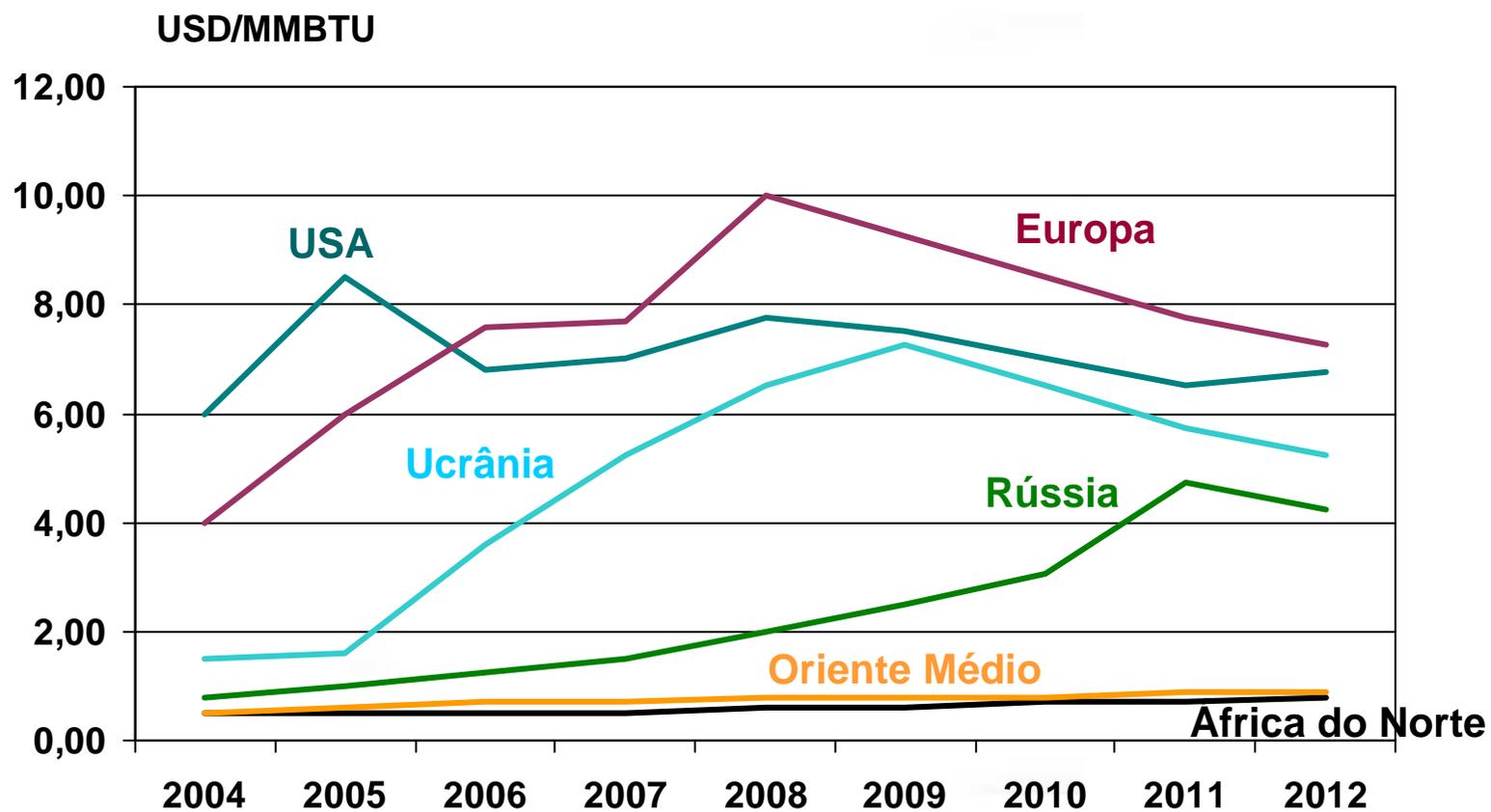


Fonte: ANDA



## Preço (Gás Natural)

Histórico e previsão de preços - Gás Natural - até 2012



Fonte: FERTECON/ Amônia Outlook 3T/2007



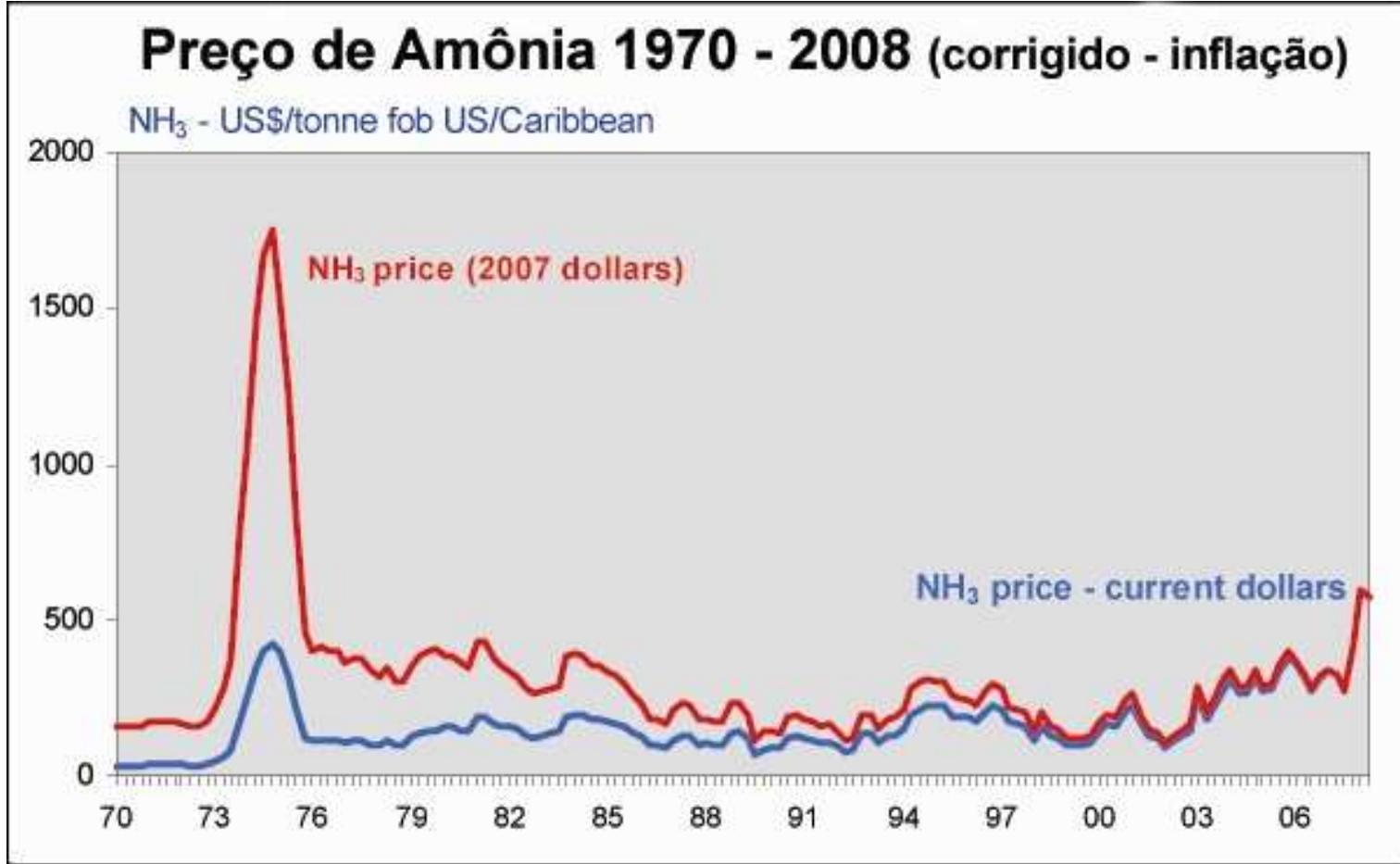
# Preço de Nitrogenados



Fonte: FERTECON Amônia 2008



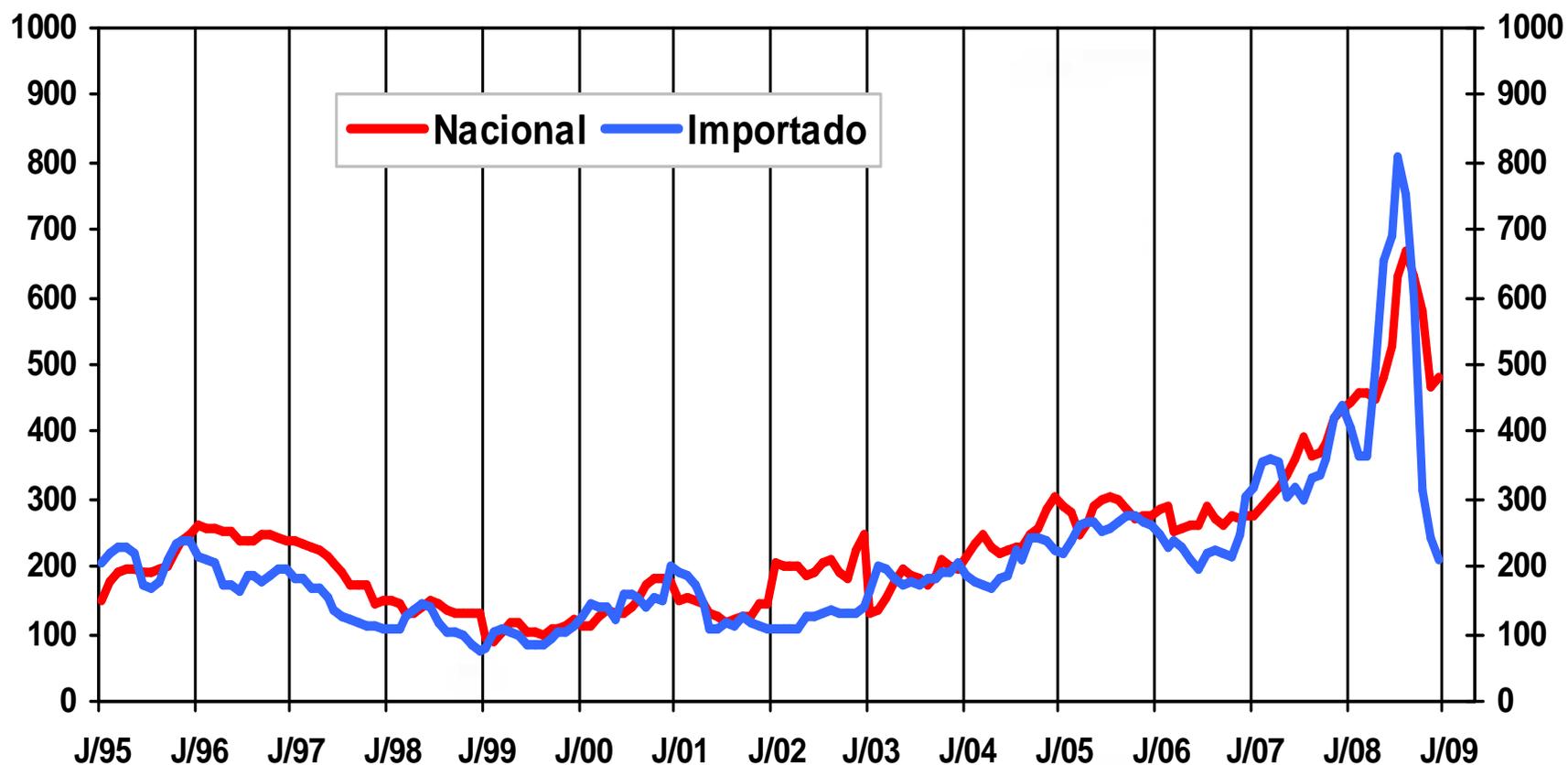
# Preço de Amônia



Fonte: FERTECON Amônia 2008



## PREÇOS REFERENCIAIS DA URÉIA – 1995/2008 ( US\$/TON-FOB,À VISTA,EX-IMPOSTOS/TAXAS)



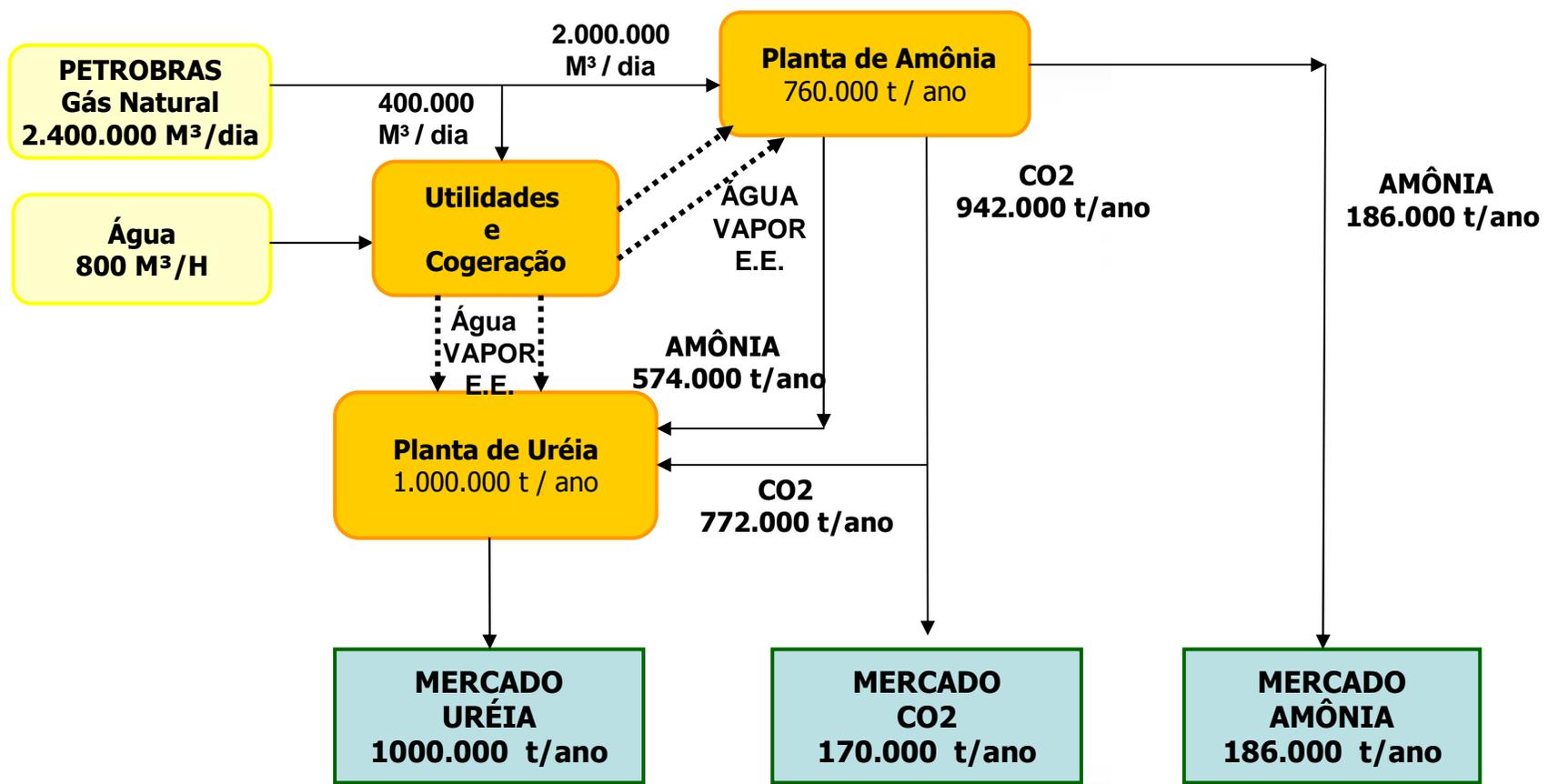
Fonte: ANDA (**Nacional**- Preço médio-Araucária; **Importado**-Preços médios- EUA/Golfo- na última semana do mês)



# **Desafios e Oportunidades para a expansão de produção de amônia e uréia no Brasil**



# Proposta para um novo Complexo de Amônia e Uréia



Fonte: PETROBRAS



**Condições atuais do mercado nacional de fertilizantes: várias barreiras, dificultando a viabilidade econômica de novos projetos de unidades industriais. Abaixo as principais:**

- **Fornecimento e preço de matéria-prima** – a redução no fornecimento do gás boliviano e, conseqüentemente, o aumento do preço é a maior barreira para a aprovação de novos projetos;
- **Isonomia** – Falta de tratamento isonômico entre produtos nacionais e importados, garantindo uma justa competição no mercado, que hoje é totalmente favorável ao produto importado.
- Elevado **nível de investimentos** requeridos.
- Criação de **linhas de financiamento** para aquisição do produto nacional nos mesmos padrões de prazo e juros das concedidas internacionalmente.



O Brasil reúne as maiores áreas agrícolas disponíveis, bem como 20% do volume de água doce do mundo. Daí, há efetivas possibilidades do Brasil se tornar o maior produtor de grãos, carnes e biocombustíveis do mundo.

- Necessidade de **redução da dependência externa** de fertilizantes nitrogenados.
- Elevado potencial do país para **se tornar o maior produtor** agrícola mundial.
- Nível de **prioridade governamental** dado ao projeto.
- Perspectivas de **novas descobertas de gás** no país.



# Obrigado!

**Palestrante: José Alberto Montenegro Franco**

**Consultor Sênior**

**Telefone: (71) 3642-4786**

**Ramal: 828-4786**



SEMINÁRIO FERTILIZANTES: AGROINDÚSTRIA E SUSTENTABILIDADE  
17 de Novembro de 2009, CETEM/MCT - PETROBRAS

# Aplicação dos produtos da pirólise rápida de biomassa como fertilizante

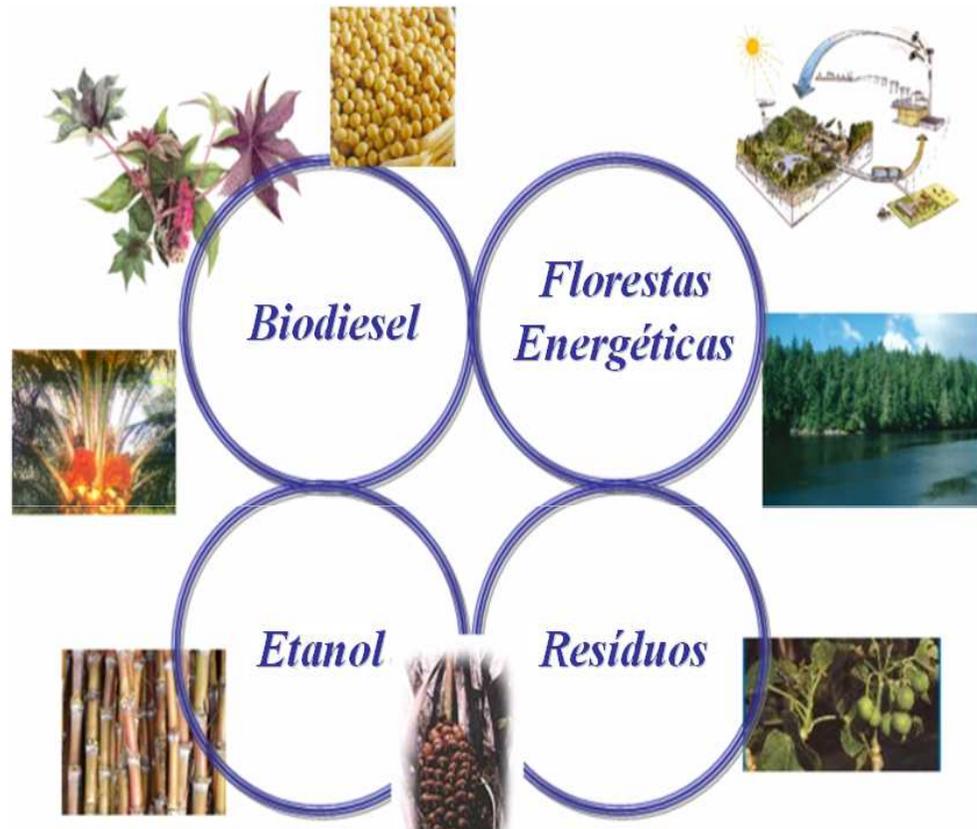
José Dilcio Rocha



# Plano Nacional de Agroenergia

2006 – 2011

## Plataformas:



### 3 vertentes principais:

- . Desenvolvimento de **Tecnologia Agronômica** (sistemas de produção sustentáveis)
- . Desenvolvimento de **Tecnologia Industrial** (processos de eficiência de conversão)
- . **Estudos transversais** (ambientais, sócio-econômicos, mercado, gestão, políticas públicas)

# Alguns Resíduos Brasileiros

- Caroço de açaí
- Casca de caju
- Endocarpo de babaçu
- Casca de arroz
- Resíduos da palma
- Resíduos do tabaco
- Palha de cana
- Bagaço de cana
- Casca de café
- Casca e fibra de coco
- Palhada de capim da produção de semente
- Bagaço de laranja
- Sabugo, colmo e folhas de milho
- Resíduos de bambu
- Resíduos florestais – eucaliptus e pinus
- Resíduos florestais – espécies nativas
- Casca de eucalipto
- Madeira de acácia
- Podas de árvores urbanas
- Resíduos de cacau
- Caroço de pêsego
- Casca de macadâmia
- Casca de amendoim
- Resíduos de pinhão-manso, torta e casca
- Resíduos de mamona
- Resíduos de algodão
- Aguapé e algas
- Capim elefante
- Sorgo

# Processos de Conversão de Biomassa

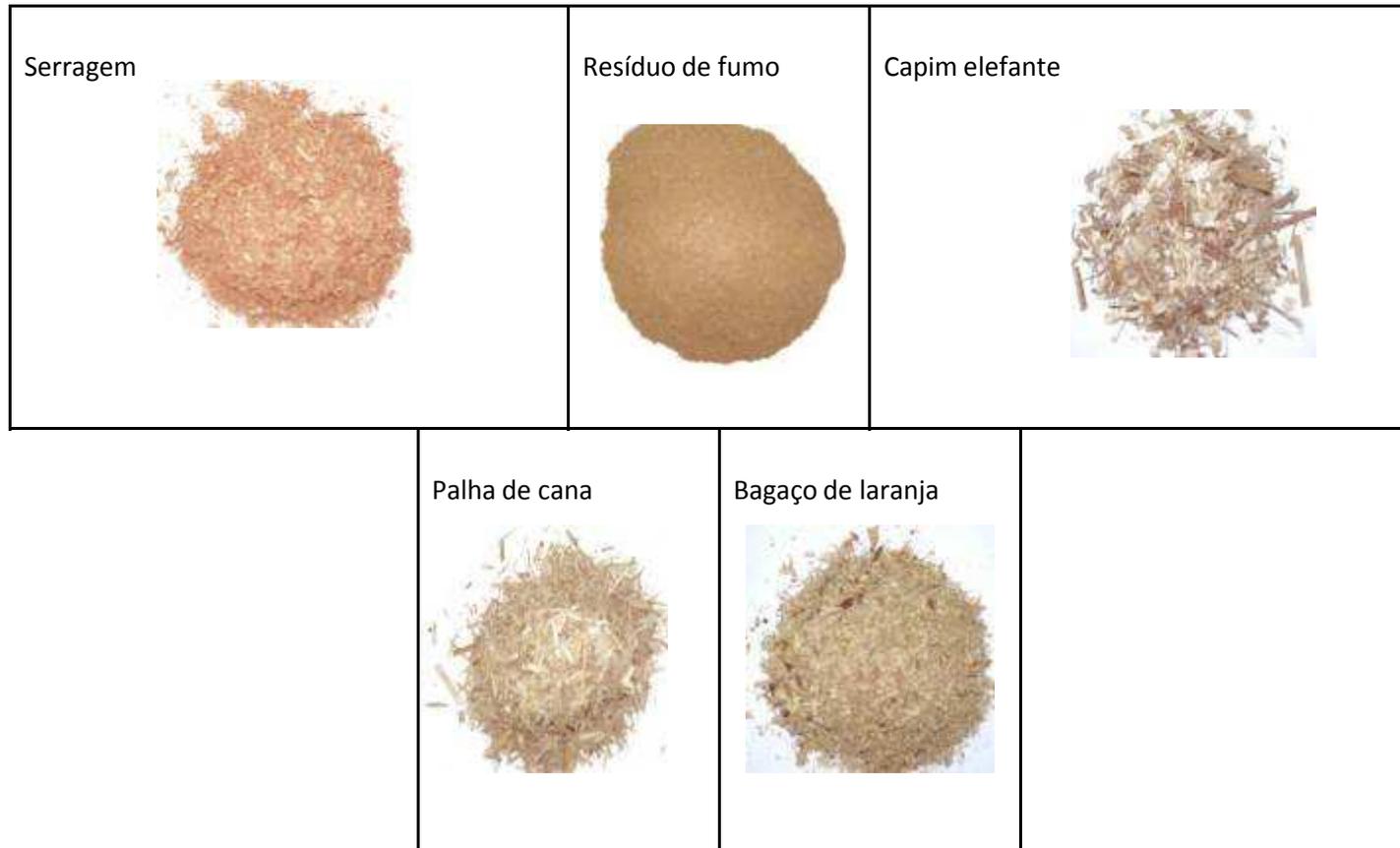
- Combustão
- Gaseificação
- Pirólise  
(Carbonização)
- Liquefação
- Torrefação

- Fermentação
- Hidrólise
- Biodigestão
- Extração de Óleos
- Transesterificação
- Compactação

# Leito Fluidizado 200 kg/h de Biomassa (Unicamp/Bioware)



# Matérias-primas testadas na pirólise rápida



# APLICAÇÕES DO BIO-ÓLEO

Figure 10: Applications for bio-oil

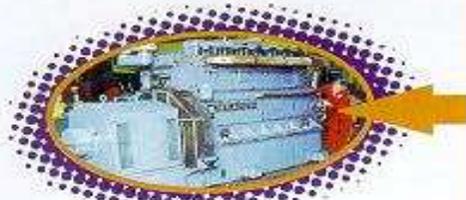
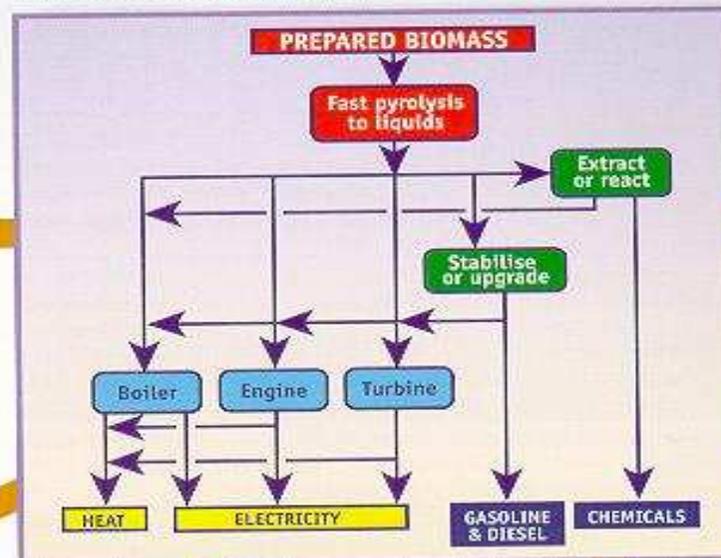


Figure 11: 250 kW Dual fuel diesel engine modified by Ormrod Diesels, UK, to run on bio-oil



Figure 12: 2.5 MWe Gas turbine modified by Orenda, Canada

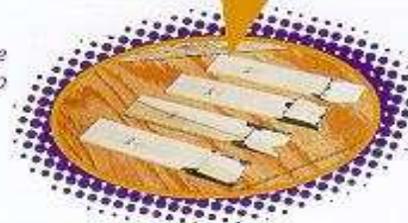


Figure 13: Wood products made from phenol-formaldehyde resins derived from bio-oil at NREL, USA



Figure 14: Products produced with phenol-formaldehyde resins made with bio-oil at ARI, Greece



Figure 16: Slow release fertiliser from whole bio-oil



Figure 15: Fine chemicals

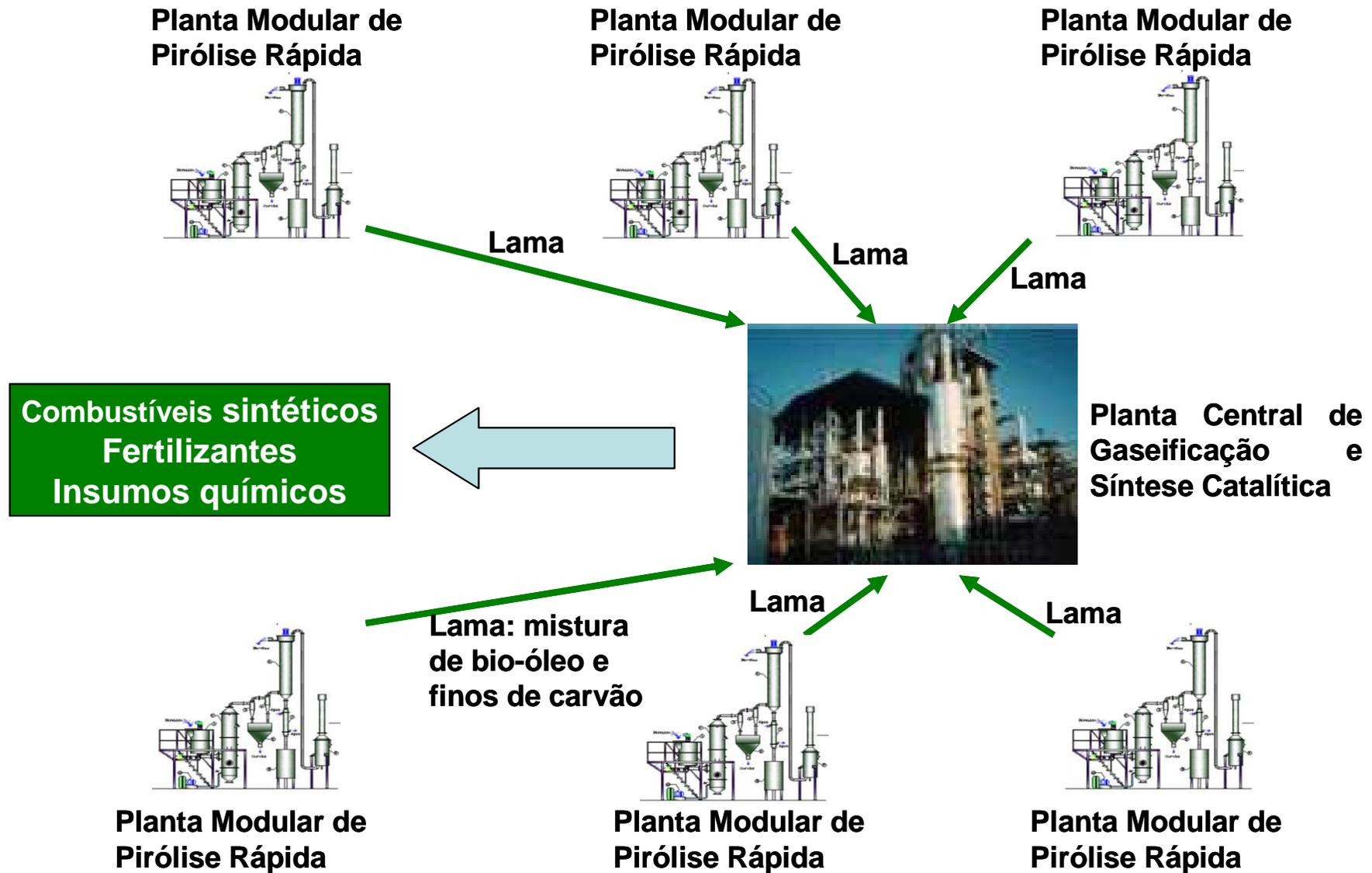
# Properties of Bio-oil

Property	Unit	Bio-oil
Specific gravity, 20/20°C	-	1.1493
Higher heating value	MJ.kg <sup>-1</sup>	31.41
Copper corrosion, 3h @ 100°C	-	1b
Pour point	°C	9.0
Flash Point	°C	70
pH		2.2
Total number of acids	mgKOH.g <sup>-1</sup>	30.4
Ash	% (wt)	0.55
Moisture content (Karl Fischer method)	% (wt)	2.21
	Carbon	70
	Hydrogen	7.1
Elemental Analysis (%)	Oxygen (by dif.)	21.05
	Nitrogen	1.7
	Sulphur (total)	0.15

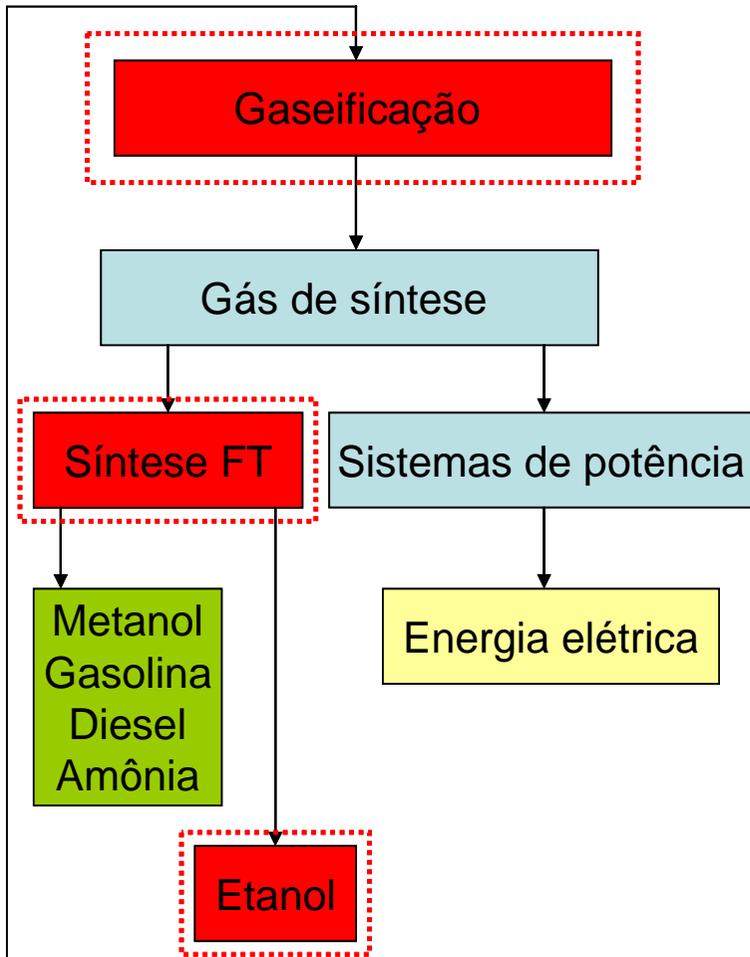
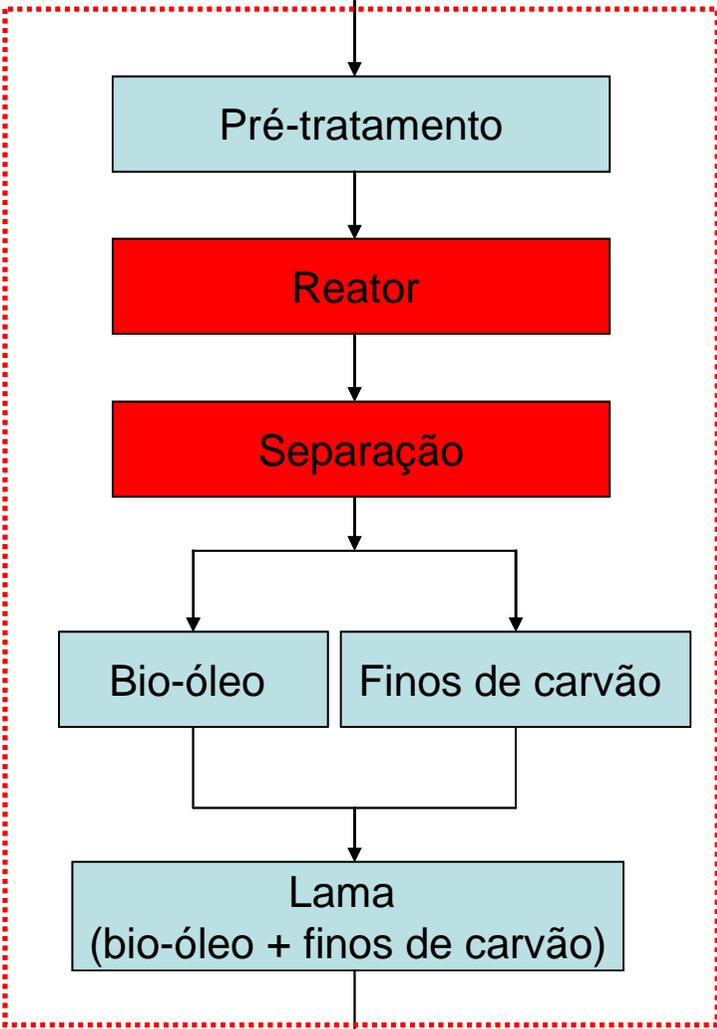
# Planta de Pirólise Rápida 200 kg/h



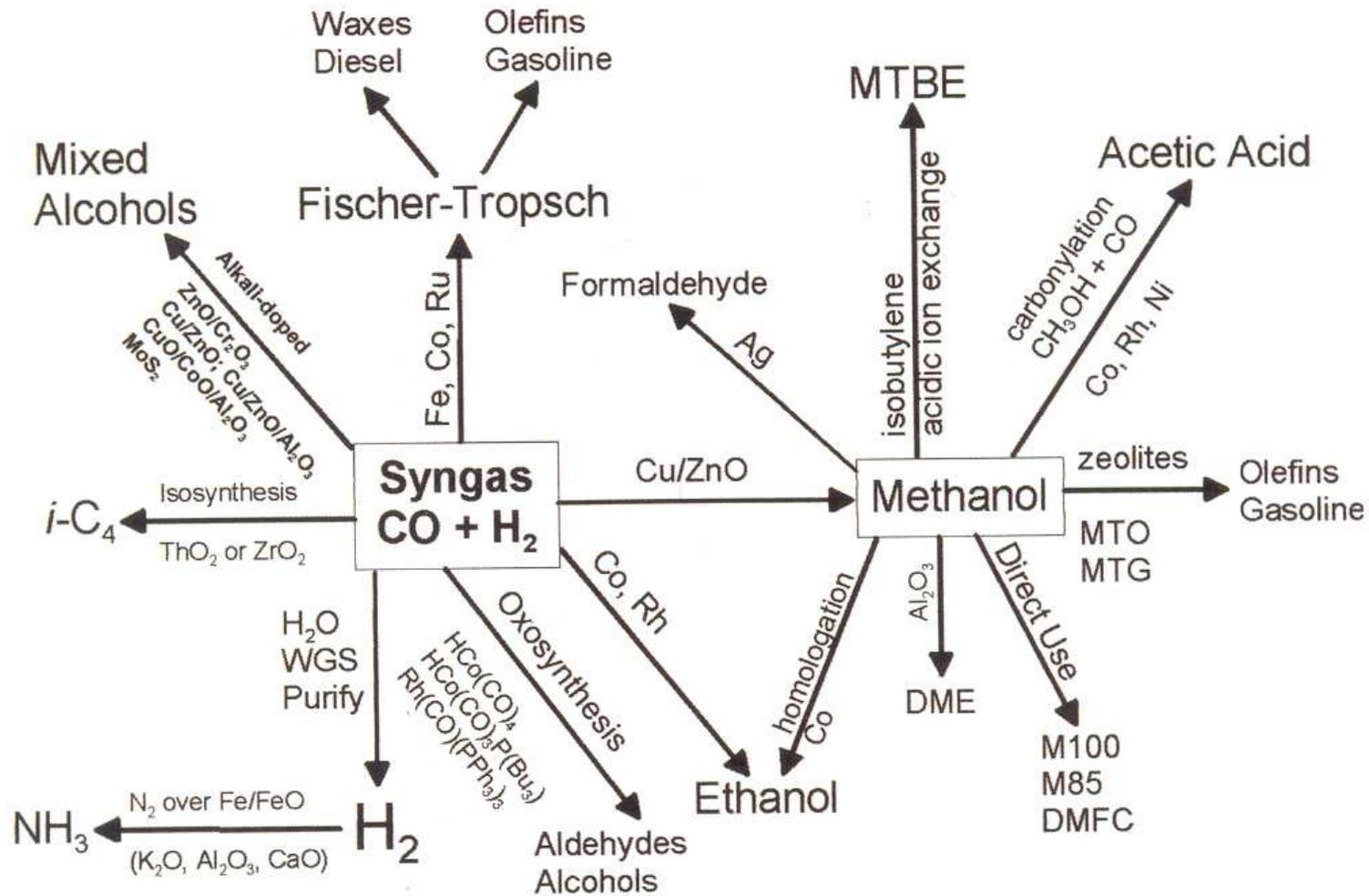
# Arranjo Proposto para Pirólise/Gaseificação/Síntese - BTL



**Pirólise** Palha



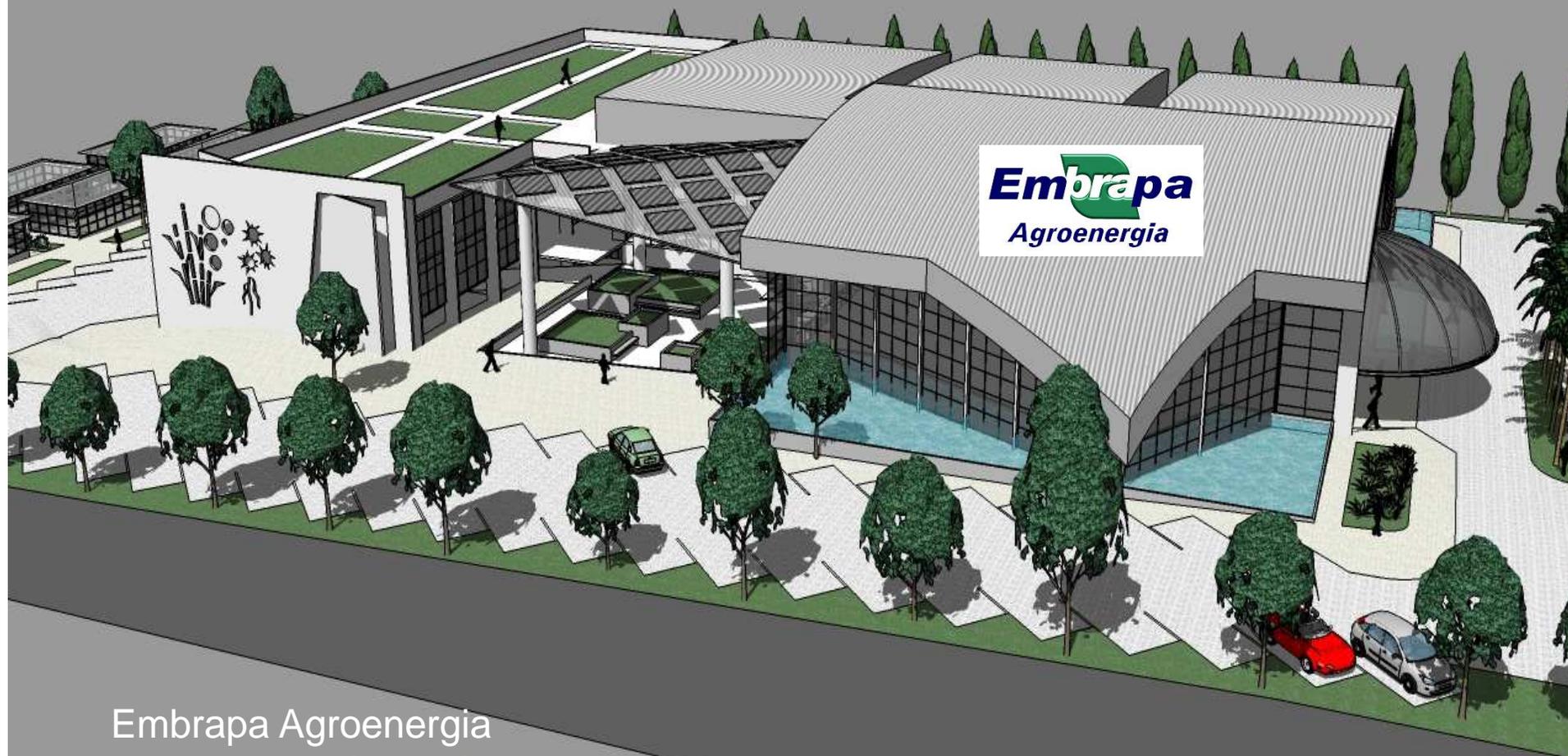
# Rotas de Síntese Catalítica (NREL/TP-510-34929)



# REFLEXÕES FINAIS

- ✓ existe potencial de aproveitamento de resíduos no Brasil
- ✓ existe tecnologia de aproveitamento no Brasil
- ✓ falta sistematização para conhecer melhor os resíduos de biomassa no Brasil
- ✓ geralmente ainda não tem viabilidade econômica o aproveitamento dos resíduos
- ✓ o uso local como fertilizante é uma alternativa para os resíduos

# MUITO OBRIGADO



Embrapa Agroenergia  
[www.cnpae.embrapa.br](http://www.cnpae.embrapa.br)  
[Jose.rocha@embrapa.br](mailto:Jose.rocha@embrapa.br)



## Oportunidades para o Fortalecimento da Indústria Brasileira de Fertilizantes

Marcelo Alves Pereira, Bunge Fertilizantes

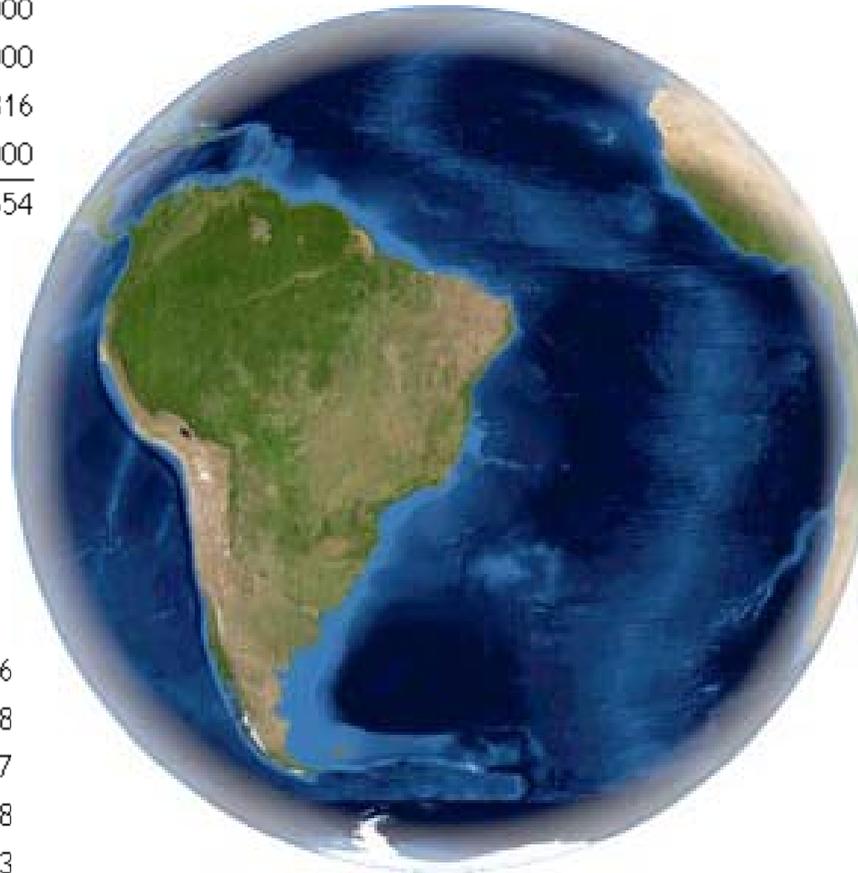
Novembro - 2009

**BUNGE**

# Estimativas da ONU indicam que a população mundial em 2050 será de 9,5 bilhões de habitantes

## Population 1950

China	562,579,779
India	369,880,000
USA	152,271,000
Russia	101,936,816
Japan	83,805,000
World	2,555,948,654



## Population 2050

India	1,807,878,574
China	1,424,161,948
USA	420,080,587
Indonesia	313,020,847
Pakistan	295,224,598
Bangladesh	279,955,405
Ethiopia	278,283,137
Nigeria	264,262,405
Brazil	260,692,493
Congo, DR.	189,310,849
World	9,538,988,263

## Population 2009-04-14

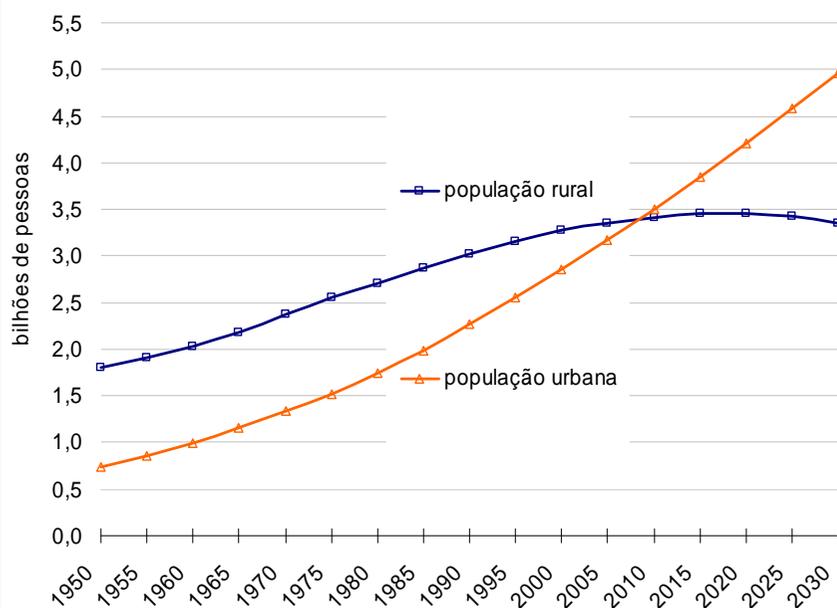
1. China	1,336,622,726
2. India	1,162,240,048
3. USA	305,934,107
4. Indonesia	239,706,738
5. Brazil	198,238,433
World	6,768,115,542



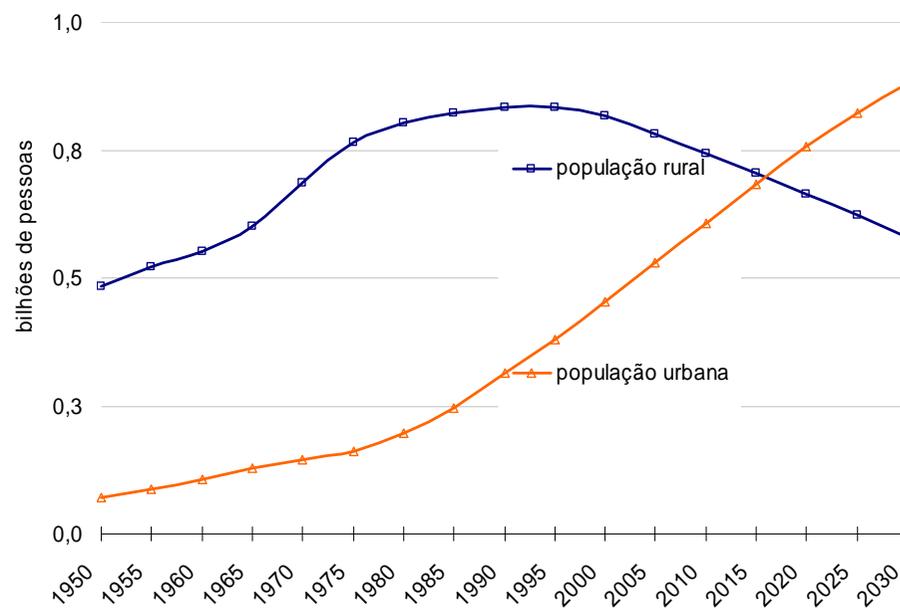
# Drivers da demanda

## Urbanização da População Mundial

### Mundo



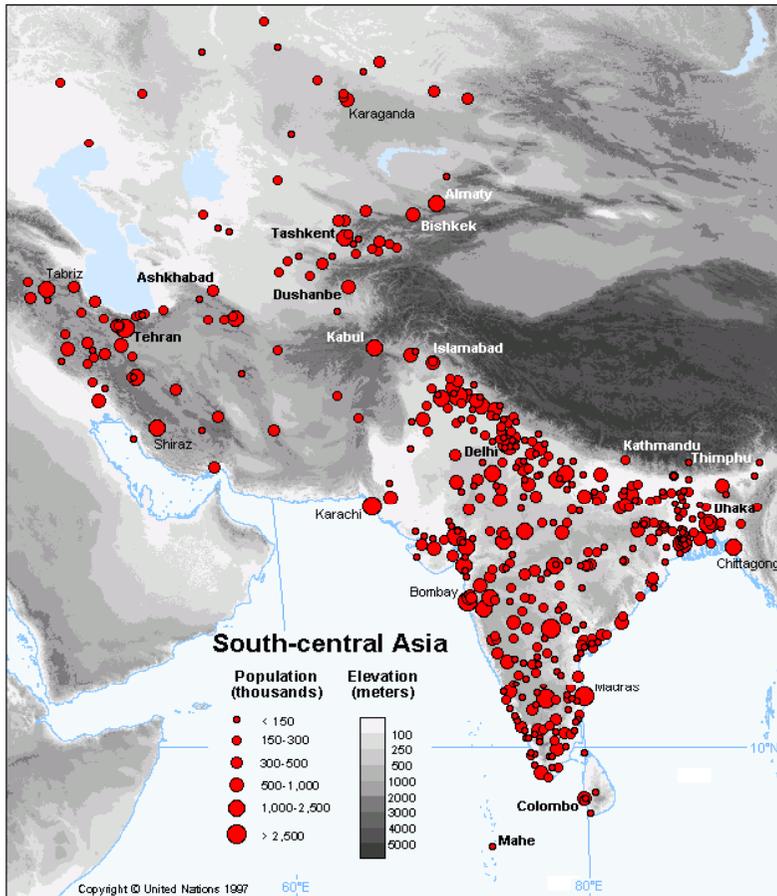
### China



As terras agricultáveis no mundo estão cada vez mais escassas, e principalmente nos países onde a demanda por alimentos é maior a cada ano.

### Centro – Sul Asiático

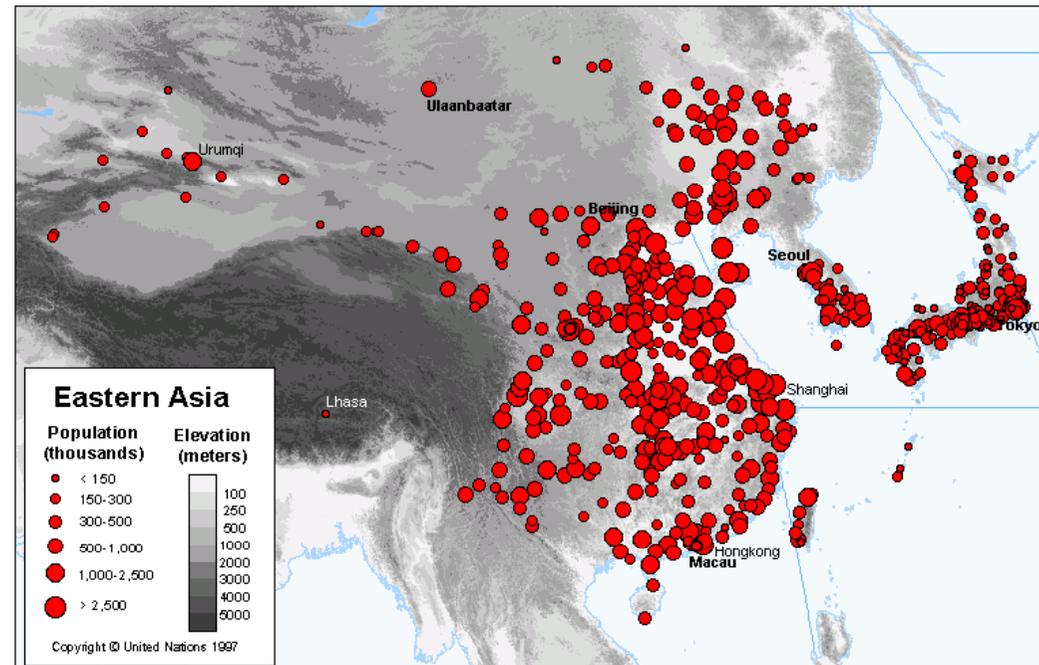
Population of major cities  
(latest available year)



The boundaries and names shown and designations used on this map do not imply official endorsement or acceptance by the United Nations

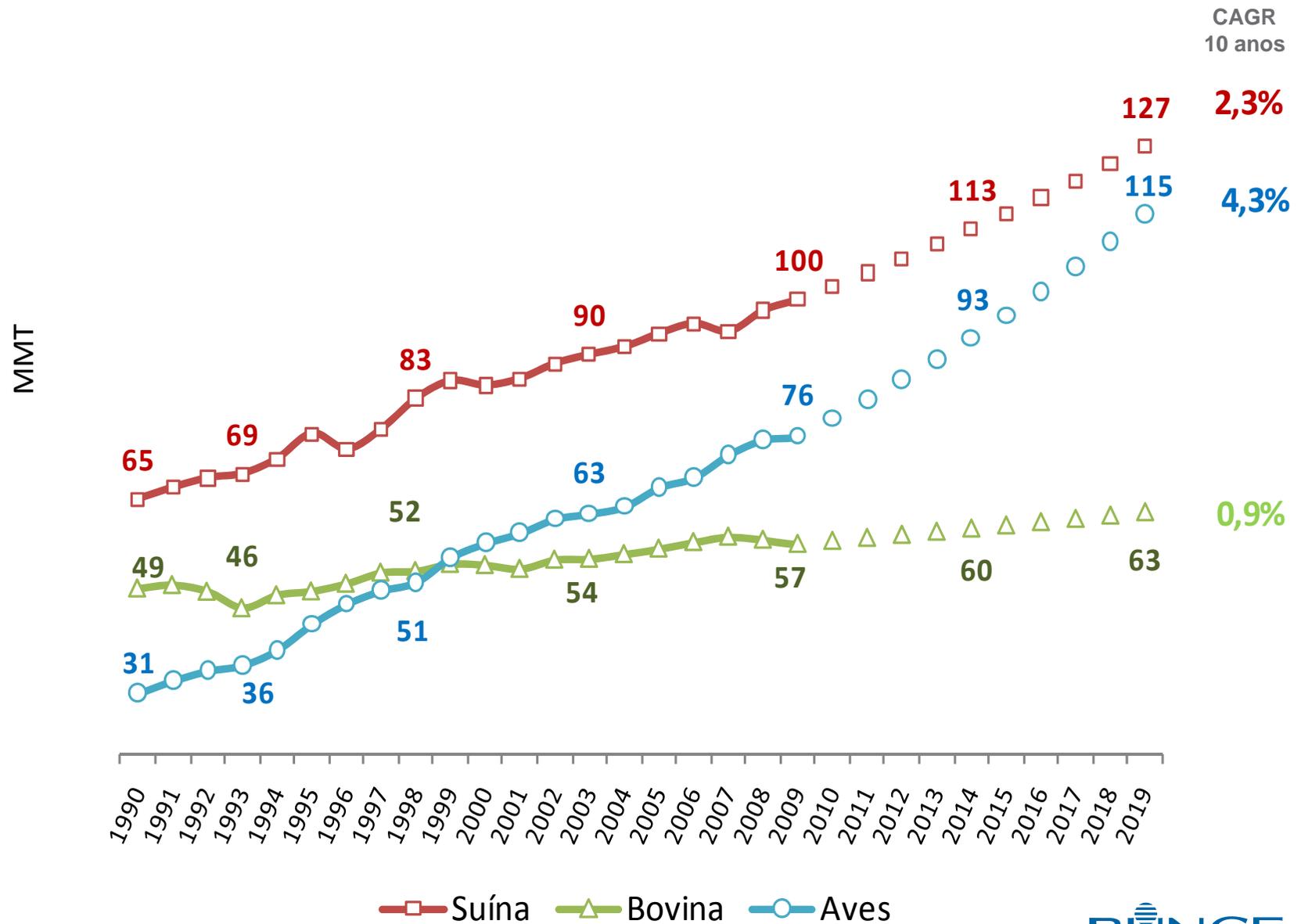
### Ásia Oriental

Population of major cities  
(latest available year)



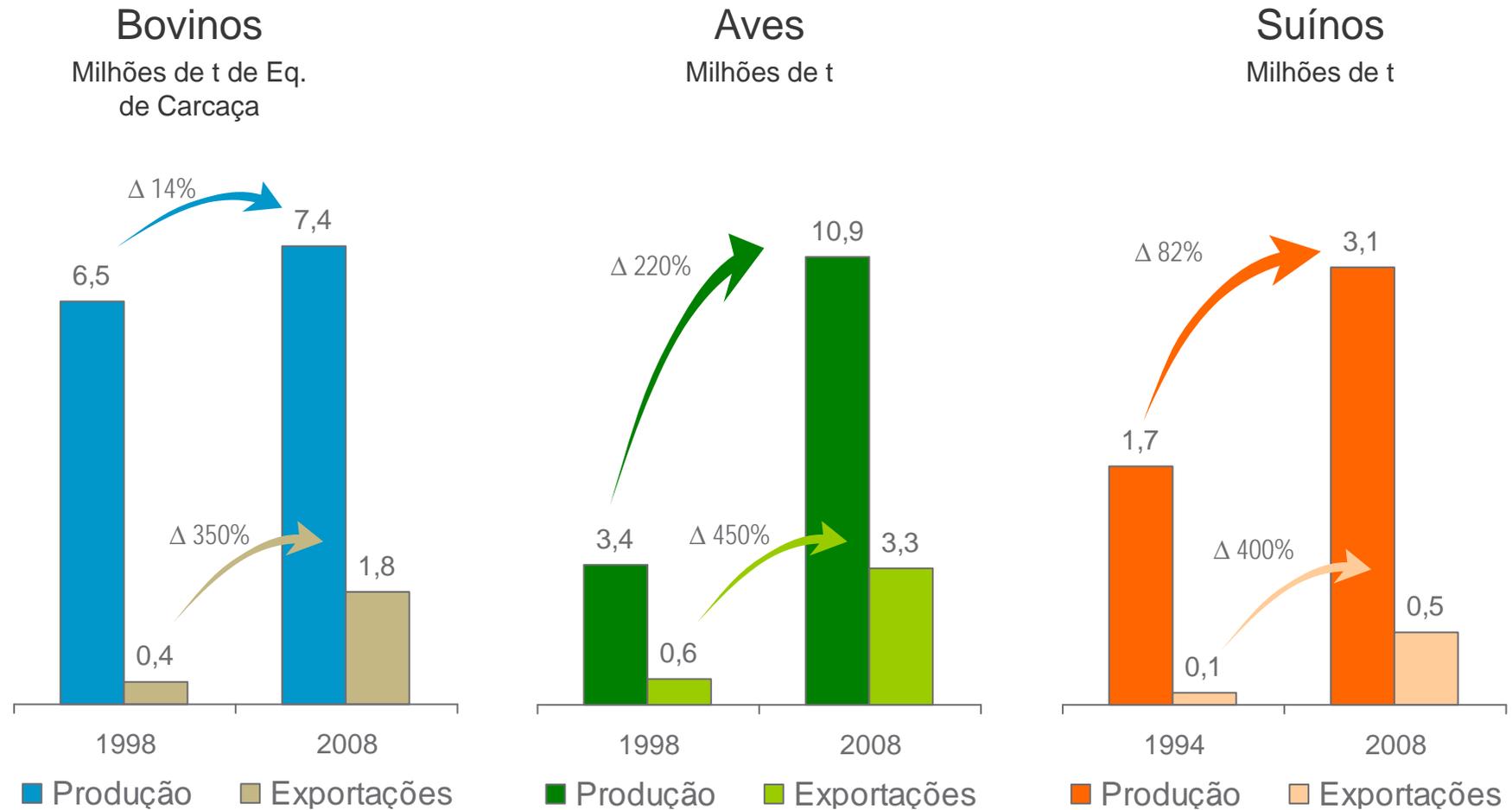
The boundaries and names shown and designations used on this map do not imply official endorsement or acceptance by the United Nations

# Mundo – Consumo de Carnes



# Produção e Exportação Brasileira de Carnes

Menos de uma década foi necessário para o Brasil se destacar no comércio mundial

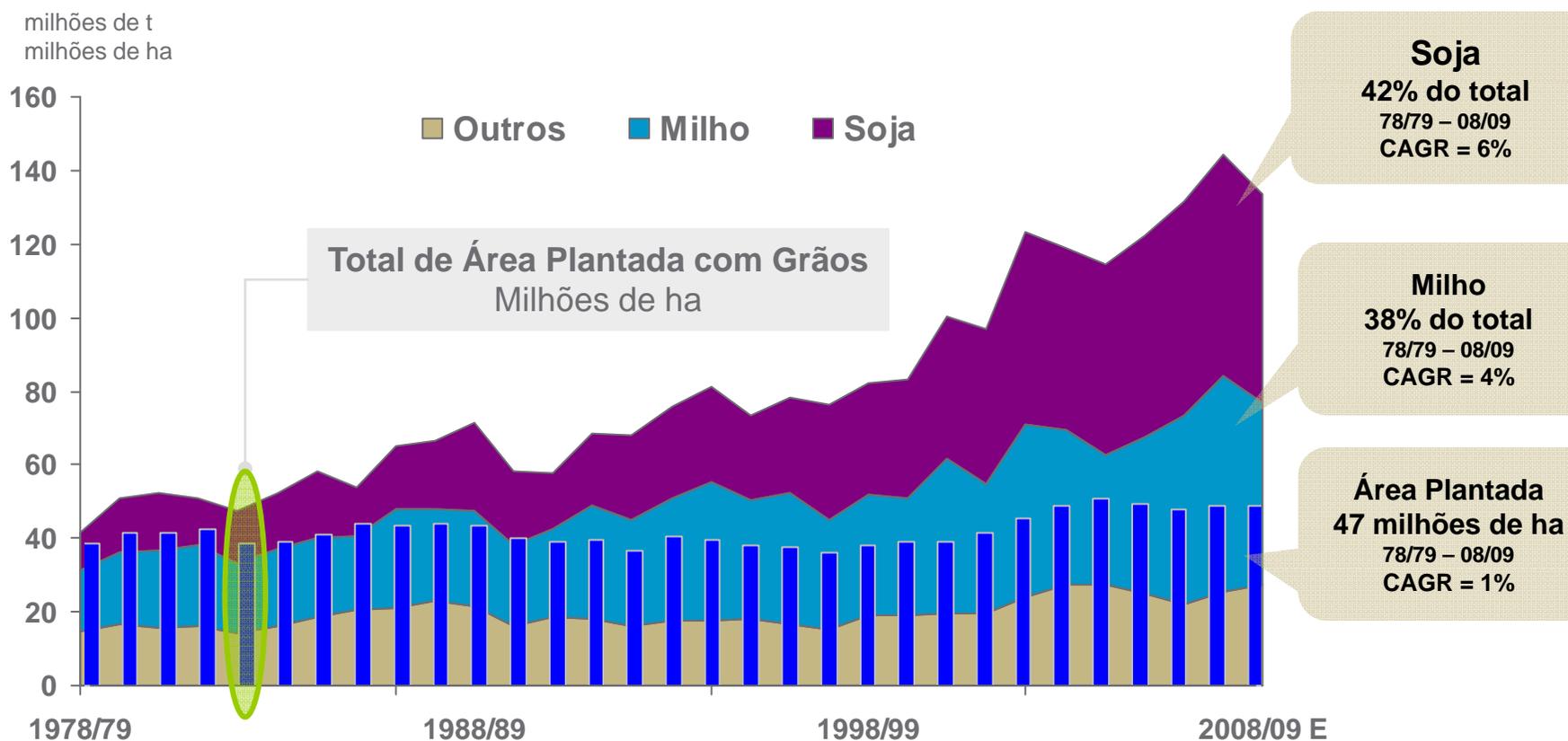


Fonte: MAPA e FNP.

# Produção Brasileira de Grãos

Aumento do uso da tecnologia tem suportado o aumento da produção de grãos. Cerca de 40 % do acréscimo da produção está relacionada ao uso de fertilizantes.

**A Produção Brasileira de Grãos na Safra 2008/09 foi de 134 M t.  
Soja e Milho representaram 80% do total.**



# Agronegócio Brasileiro

O motor da economia brasileira

## No Brasil, o Agronegócio é responsável por:

- ~30% do PIB
- 100% do Superávit da Balança Comercial
- ~40% da Força de Trabalho

## Posição Brasileira nas Exportações Mundiais

2º Complexo Soja

1º Bovinos, Aves e Couro

1º Etanol

1º Fumo

1º Café

1º Açúcar

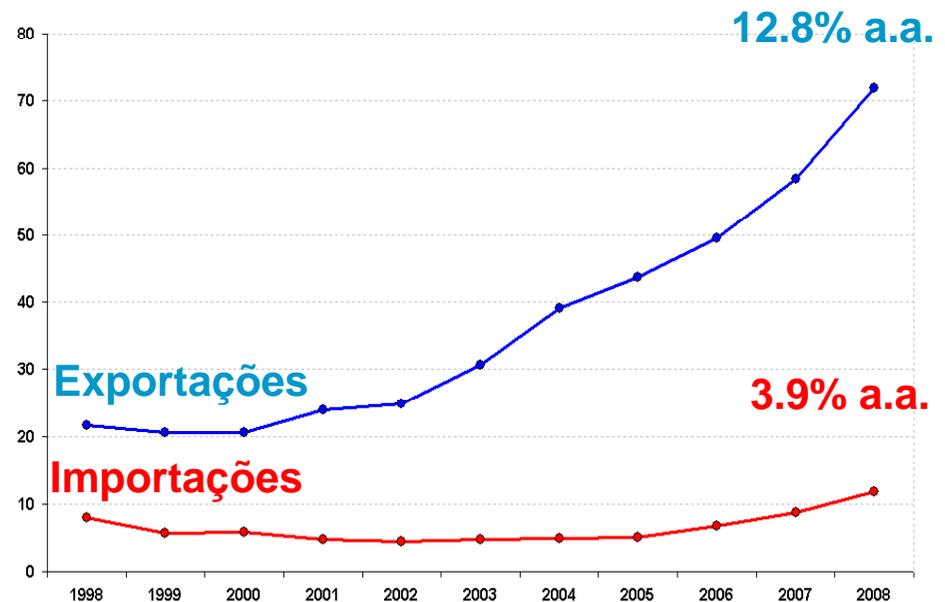
1º Suco de Laranja

1º Celulose

## Balança Comercial do Agronegócio Brasileiro

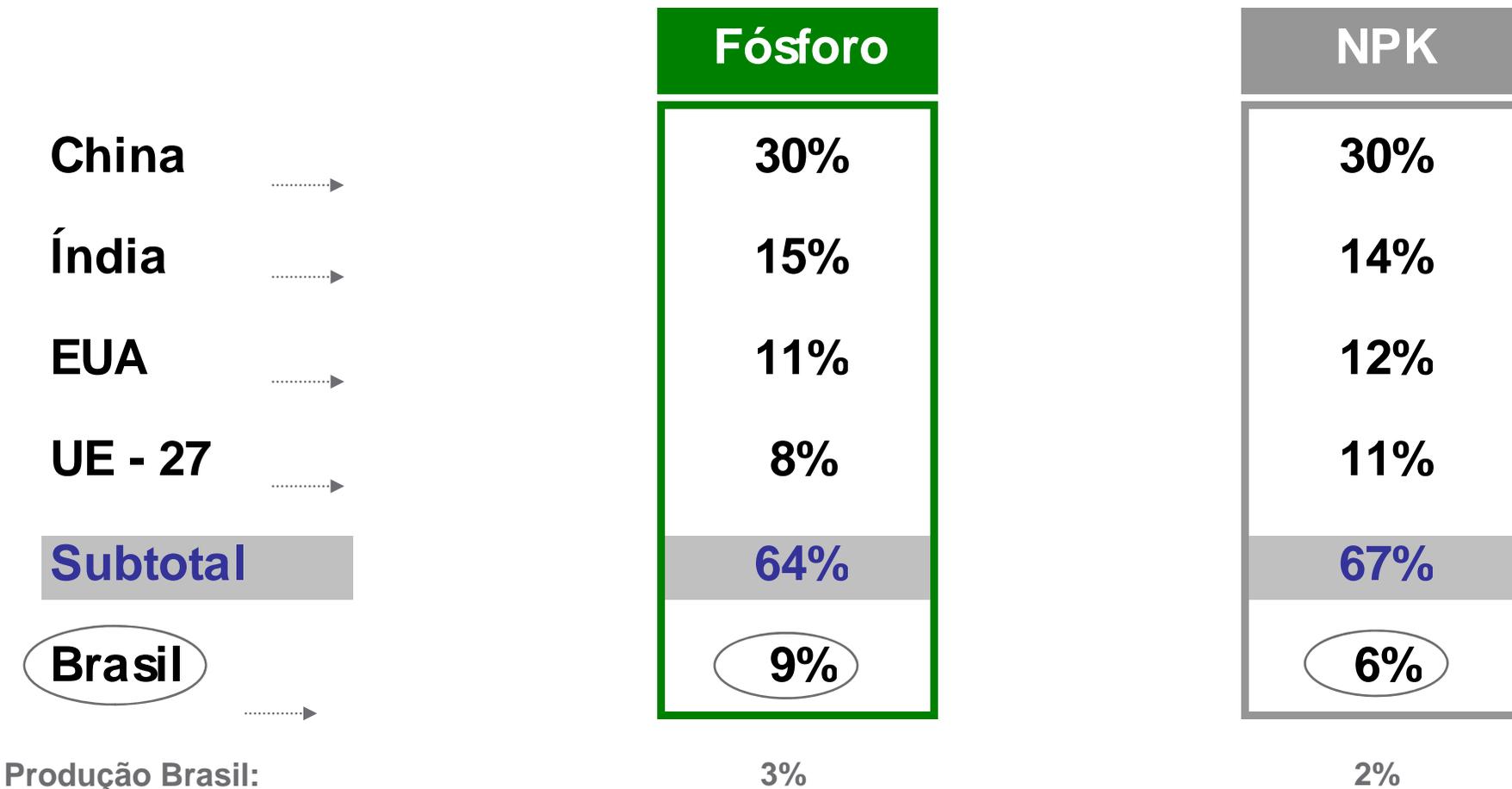
(US\$ billion)

Superávit em 2008: US\$ 60 bilhões



## Ranking Mundial no Consumo de Fertilizantes

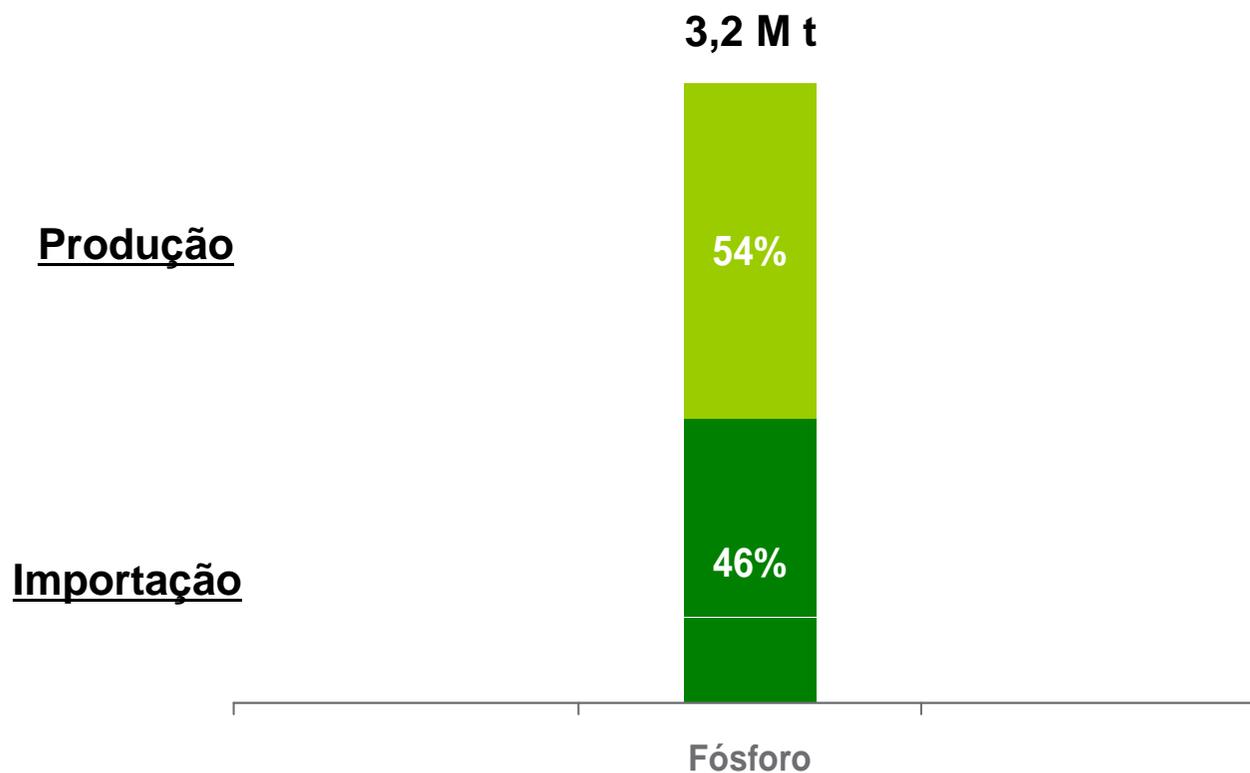
O Brasil é o quarto maior consumidor de fertilizantes do Mundo, mas representa apenas 2% da produção mundial, sendo assim um grande importador.



O consumo mundial 2008: 160 milhões de toneladas de nutrientes

## Em 2008 as importações representaram 72% do suprimento brasileiro de fertilizantes

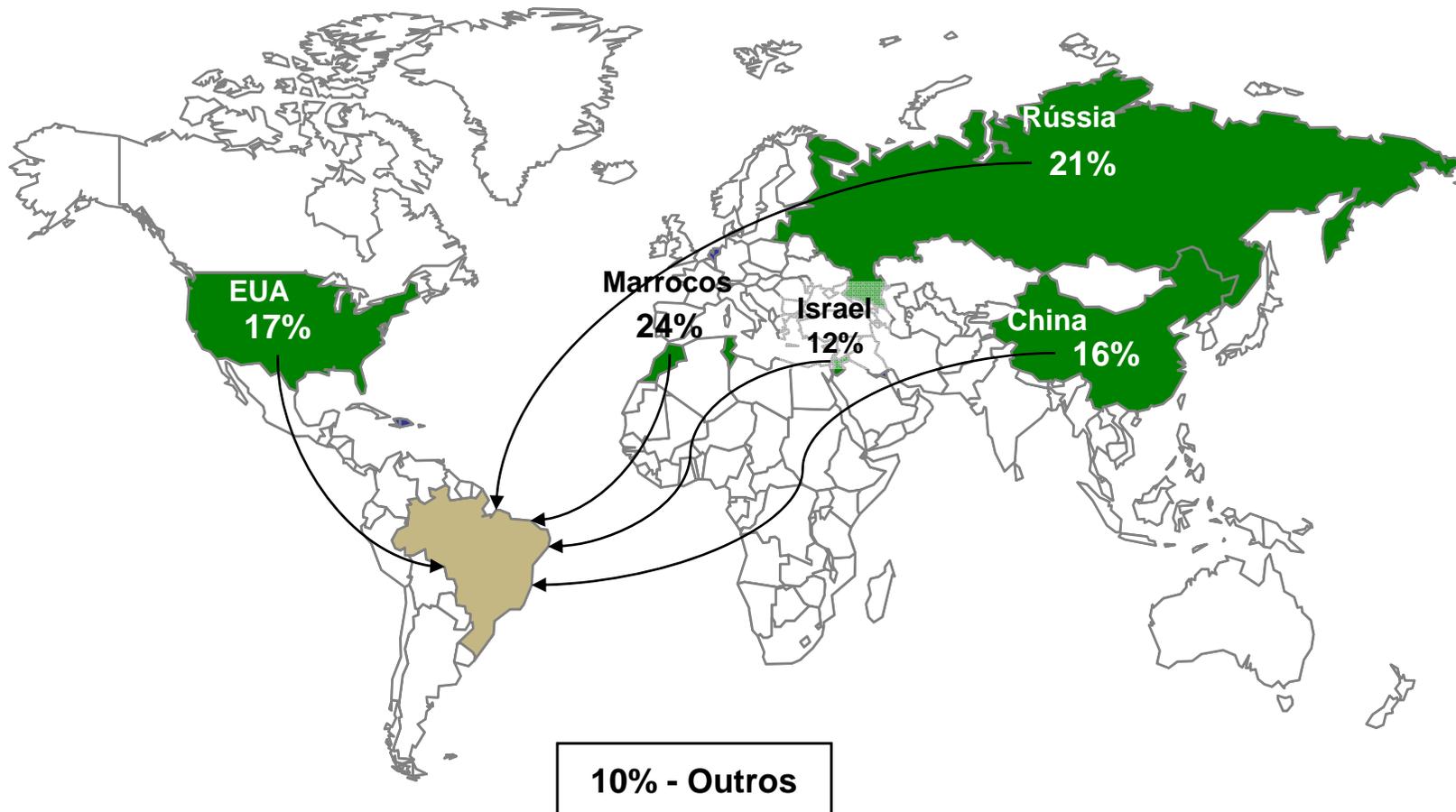
Consumo Brasileiro  
(Milhões toneladas de nutrientes)



Fonte: ANDA e SIACESP.

Nota: "Produção de Fósforo" inclui produção com matérias primas internacionais.

## Origem das Importações Brasileiras de Fósforo



Fonte: IFA (2008)

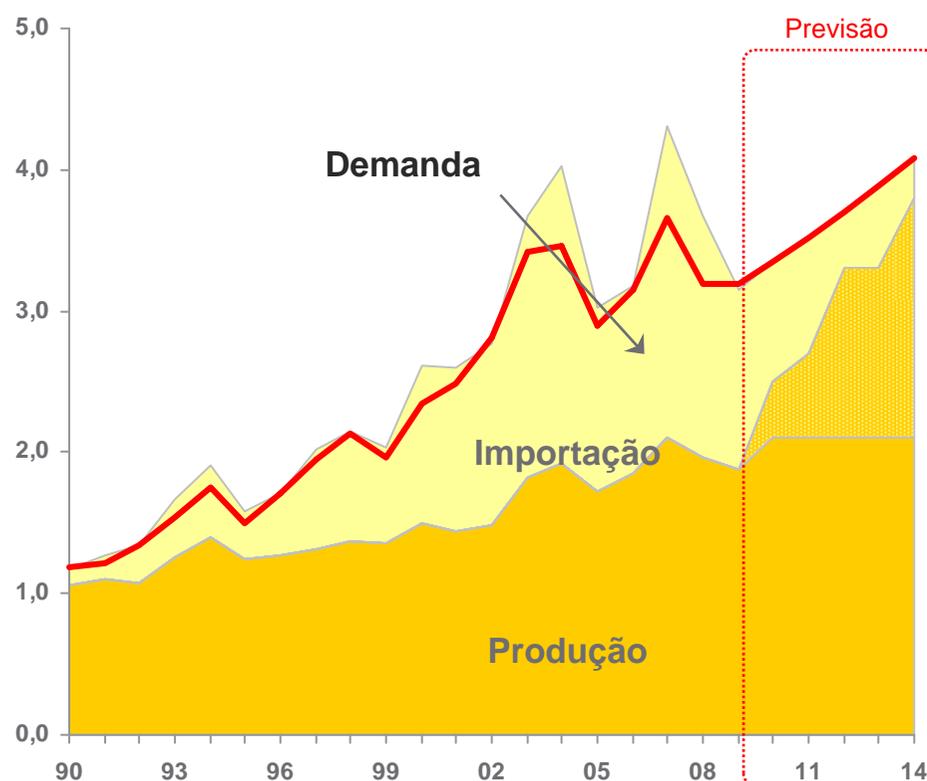
# Panorama da Indústria Mundial de Fertilizantes

	<b><u>Fósforo</u></b>
<b>Reservas Mundiais</b>	Limitadas
<b>Países Produtores/ Empresas</b>	<b>44 / + 100</b> (base rocha)  # 1 – China # 2 – EUA # 3 – Marrocos # 4 – Rússia
<b>Características do Mercado</b>	Global, Players Mundiais
<b>Posição Brasileira</b>	Produção: 3 % Consumo: 9 %
<b>Investimentos Programados</b>	China, Brasil, Marrocos, Peru, Tunísia e Arábia Saudita
<b>Custo de novas capacidades</b>	US\$ 1.5 Bi para cada 1 milhão t de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>

# Mercado Brasileiro de Fósforo

## Balço de Oferta e Demanda de Fósforo

(M t de nutriente - P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)



Fonte: ANDA; Sinprifert. Estimativa de 2009 a 2014.

Nota: Investimentos em aumento de capacidade estimados.

## Variações na Demanda

Período	Var.	CAGR
<b>2008 vs 1990</b>	169%	6%
<b>2014 vs 2008</b>	28%	4%

## Participação na Oferta de Fósforo

(% sobre Importação + Produção)

### Sem Expansão

Aumento de Capacidade	Ano	Produção	Importação
+ 1,7 M t P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<b>1990</b>	90%	10%
	<b>2000</b>	57%	43%
	<b>2008</b>	54%	46%
	<b>2014</b>	51%	49%

### Com Expansão

Ano	Produção	Importação
<b>2014</b>	93%	7%

Obs.: Não considera estoques.

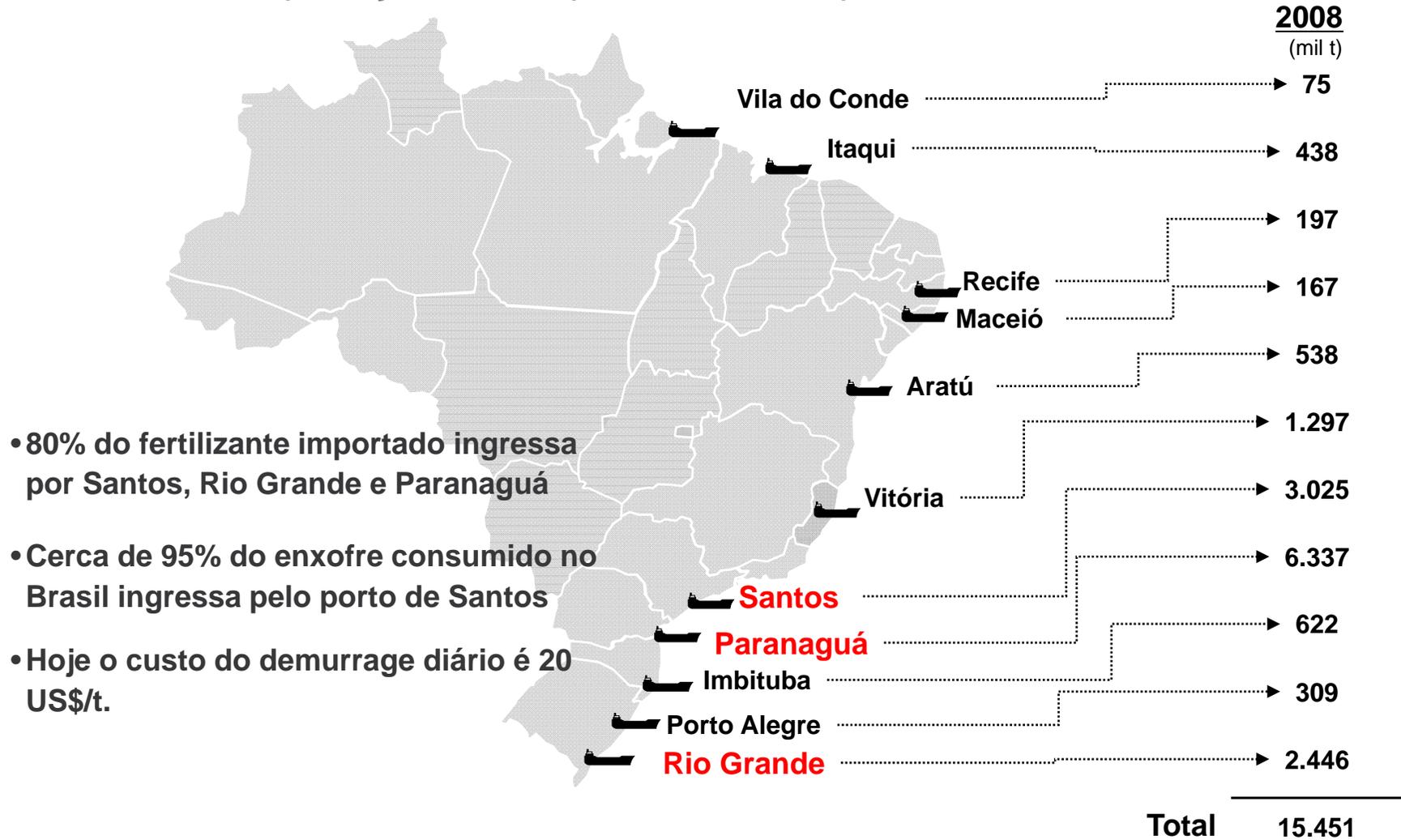
# Oportunidades para o Fortalecimento da Indústria Brasileira de Fertilizantes

O Brasil possui recursos naturais para garantir o suprimento futuro por alimentos no mundo, mas para isto é necessário superar alguns desafios

- **Aumentar a Disponibilidade de Crédito para Financiar o Crescimento da Produção Agropecuária**
- **Tributos / Taxa de câmbio desfavorável à competitividade**
  - O preço do fertilizantes no Brasil é determinado pelo mercado internacional
  - Não há barreiras para importação / A alíquota de importação é zero
  - As importações não são tributadas em ICMS
  - Todos os agricultores e empresas de fertilizantes podem importar
- **Melhorar os Controles Sanitários e a Rastreabilidade da Produção Nacional**
- **Restrições ambientais crescentes x Consciência Social e Ambiental**
- **Intensificar os Investimentos em Infra-Estrutura**
  - Portos, Rodovias, Ferrovias e Capacidade de Armazenagem

# Principais Portos Brasileiros

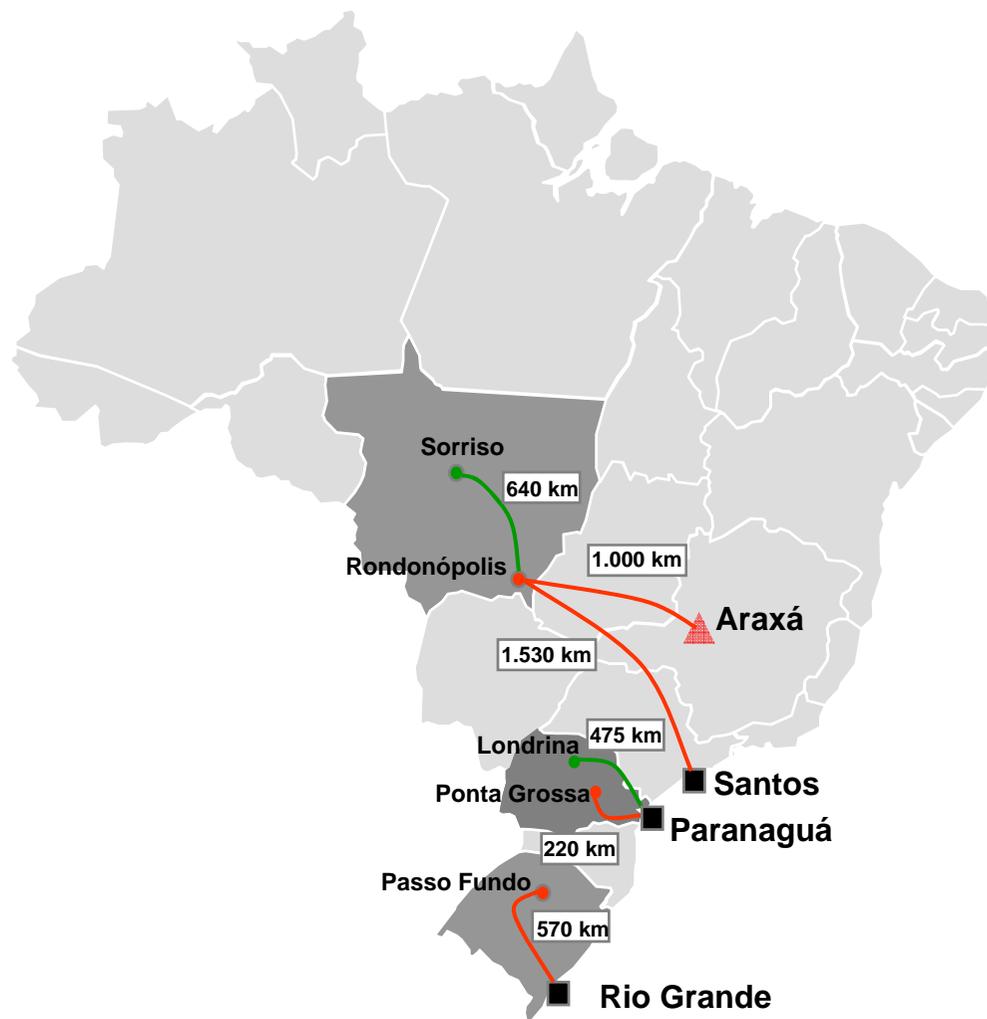
Volume de Importações e Tempo Médio de Espera nos Portos



Fonte: ANDA e BFE

# Logística de Fertilizantes

## Distâncias dos Pólos Agrícolas



Sapezal  
Mato Grosso



Acesso ao  
Porto de Santos

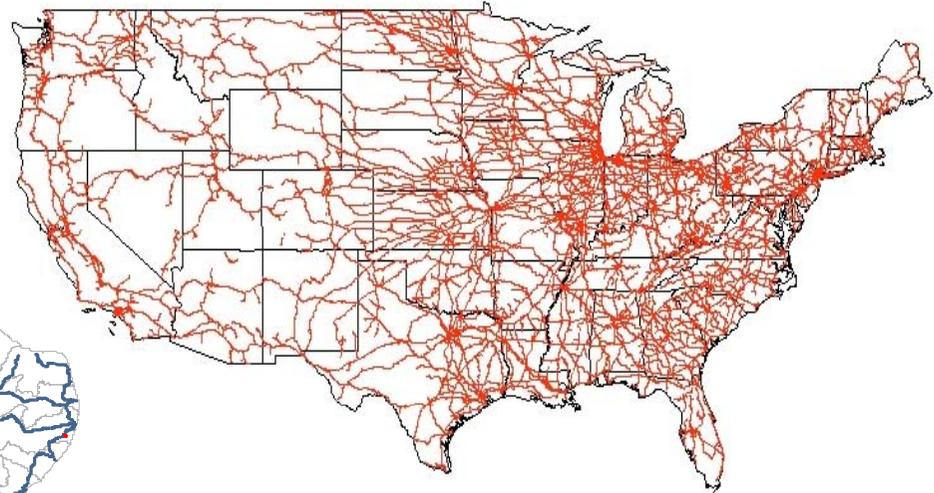


BR-163  
Nova Mutum  
Mato Grosso



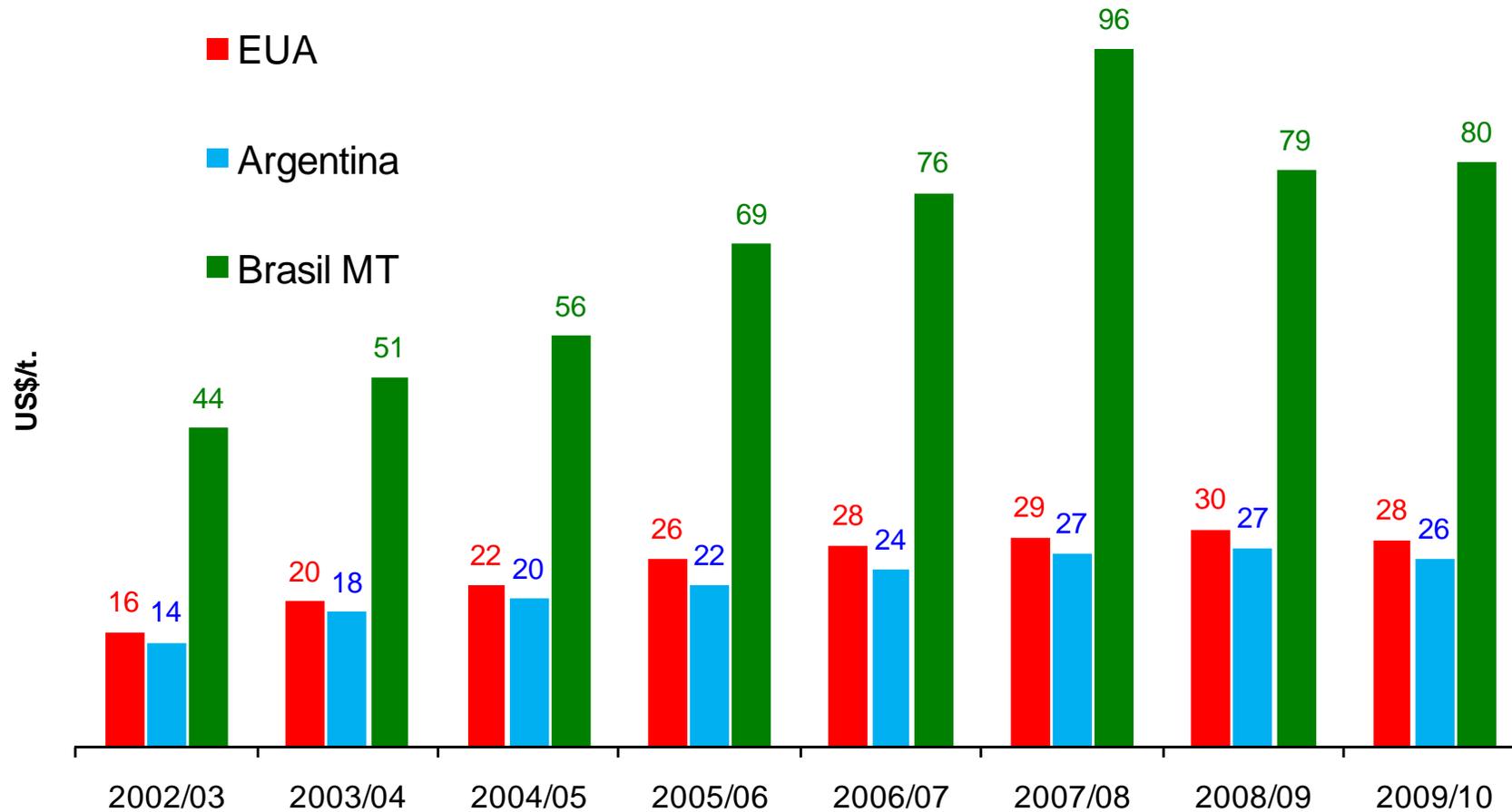
## Ferrovias – Densidade da Malha (km/km<sup>2</sup>)

**Brazil: 3,4**



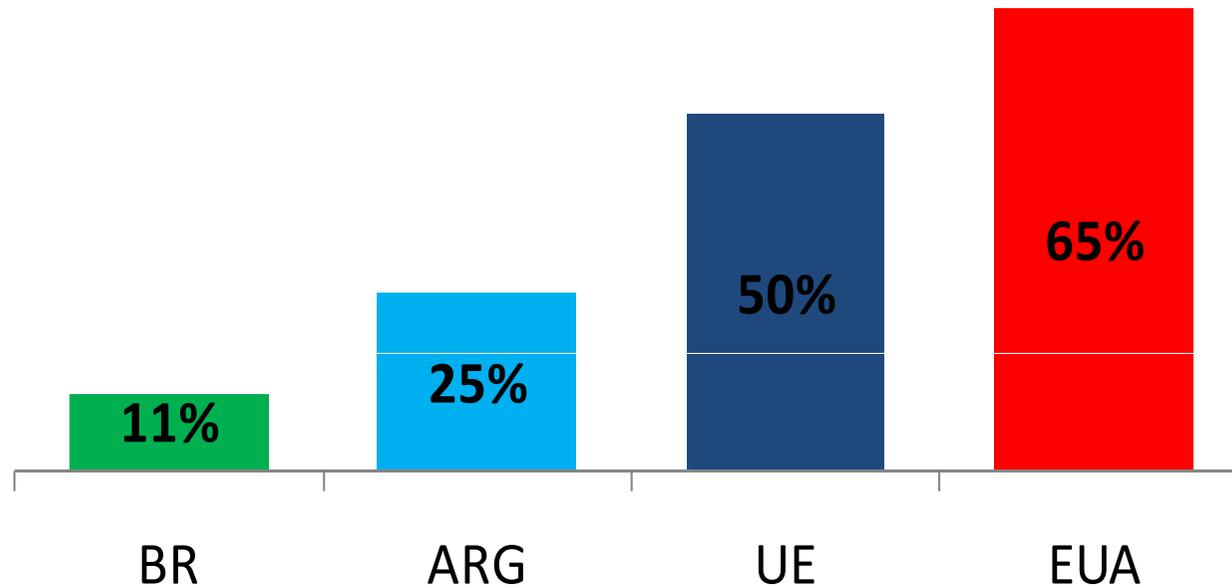
**USA: 29,8**

# Soja – Custo do Frete



# Produção de Grãos x Capacidade de Armazenagem

## Armazenagem em Fazenda



# Oportunidades para o Fortalecimento da Indústria Brasileira de Fertilizantes - Desafios

## ⇒ Aumento produção de fertilizantes fosfatados

- “Revamping” e otimizações operacionais
- Implantação de novos projetos:
  - Implementar os projetos em andamento
  - Fomentar pesquisa na busca de novos prospectos

## ⇒ Aumento da eficiência nas plantas em operação

## ⇒ Desenvolvimento tecnológico

- Pesquisa de novas rotas de processo
- Desenvolvimento circuitos alternativos
- Pesquisa insumos industriais alternativos
- Aproveitamento de subprodutos

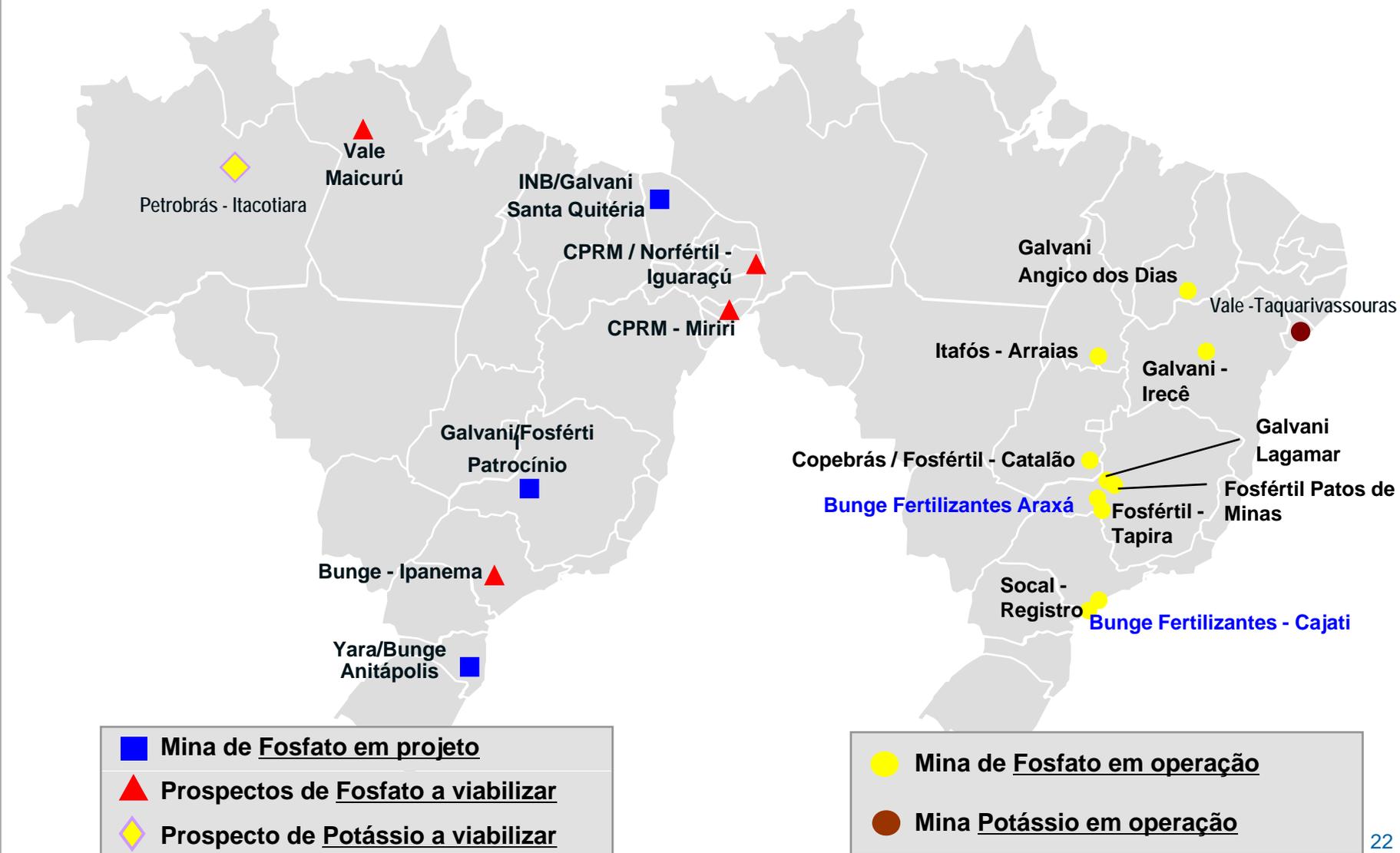
# Fases Empreendimento Mineiros

Etapas	Tempo	9 anos
<b>1) Pesquisa e Portaria de lavra:</b>		4 anos
<ul style="list-style-type: none"> <li>Etapa de pesquisa geológica, caracterização das reservas, estudos de processos, viabilidade econômica e os demais trâmites legais relacionados ao DNPM.</li> </ul>	4 anos	
<b>2) Licenciamento Ambiental:</b>		5 anos
<ul style="list-style-type: none"> <li>Caracterização do empreendimento e orientações básicas</li> </ul>	4 meses	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Elaboração de EIA/RIMA</li> </ul>	12 meses	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Análise do EIA/RIMA e licença prévia</li> </ul>	20 meses	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Licença de instalação</li> </ul>	12 meses	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Licença de operação</li> </ul>	12 meses	
<b>Tempo TOTAL</b>	<b>9 anos</b>	

# Localização das minas de fosfato e potássio no Brasil

## Em projetos

## Em operação



## Projetos em Andamento – P – Bunge/Fosfertil

### Fosfertil:

Expansão da capacidade de produção nas minas de Tapira (MG) e Catalão (GO)

- Capacidade adicional: 200 mil t de rocha fosfática
- Investimento: cerca de R\$ 200 milhões
- Start-up: 2011

Abertura de nova mina de Salitre (MG)

- Capacidade adicional: 2 milhões t de rocha fosfática
- Investimento: cerca de R\$ 2 bilhões
- Start-up: 2013

### Bunge

- Expansão da capacidade de produção em Araxá (MG), com abertura de nova mina
- Capacidade adicional: 800 mil t de rocha fosfática
- Investimento: cerca de R\$ 300 milhões
- Start-up: fase 1 – 2007 / fase 2 - 2010

**IFC** (Indústria de Fertilizantes Catarinense) – abertura de nova mina em Anitápolis (SC)

- Capacidade adicional: 300 mil t de rocha fosfática
- Investimento: cerca de R\$ 800 milhões / Start-up: 2012

# Recursos Naturais: Disponibilidade de Terras

Uma das maiores áreas disponíveis para expandir a agricultura no mundo

<b>Uso da Terra no Brasil</b>	<i>milhões de hectares</i>	<i>%</i>
<b>Pastagens e Campos Naturais</b>	<b>172</b>	<b>20</b>
<b>Culturas Anuais</b>	<b>55</b>	<b>6</b>
<b>Culturas Permanentes</b>	<b>17</b>	<b>2</b>
<b>Florestas Cultivadas</b>	<b>5</b>	<b>1</b>
<b>Áreas de Conservação Federal e Estadual</b>	<b>176</b>	<b>21</b>
<b>Áreas Indígenas</b>	<b>107</b>	<b>13</b>
<b>Áreas com Outros Usos</b>	<b>248</b>	<b>29</b>

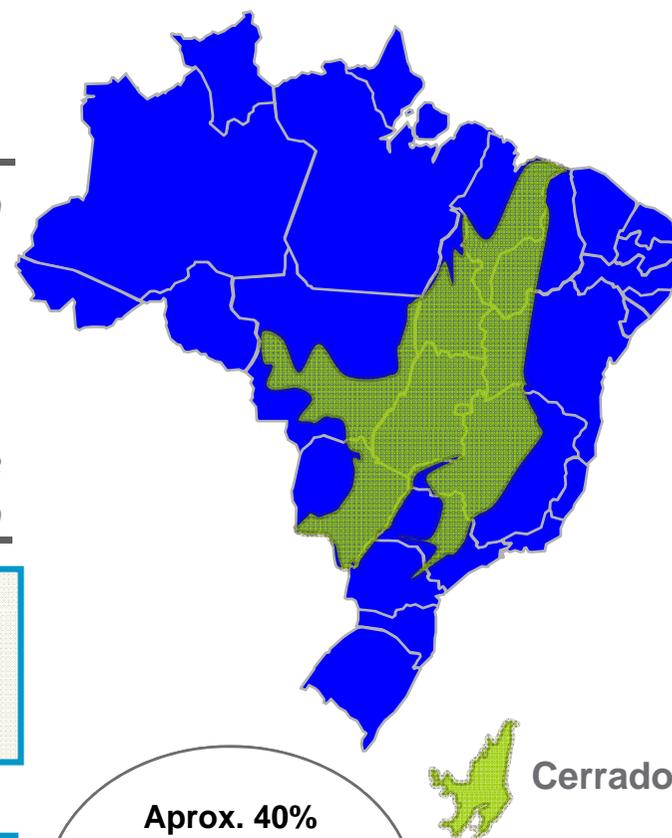
**Área Disponível para Aumentar a Produção Agrícola**

(Desconsiderando a Floresta Amazônica)

**71**      **8**

**Total**

**851**      **100**



**Cerrado**

**Aprox. 40%  
das terras  
agricultáveis  
disponíveis  
no Mundo**



## Oportunidades para o Fortalecimento da Indústria Brasileira de Fertilizantes

Marcelo Alves Pereira, Bunge Fertilizantes

Obrigado!

**BUNGE**



PRODUÇÃO DE POTÁSSIO  
PANORAMA DO BRASIL E DO MUNDO

EVANDRO ARRAIS ALVES  
GERENTE DE TRATAMENTO DE MINÉRIO  
GERÊNCIA GERAL DE FERTILIZANTES  
VALE S.A



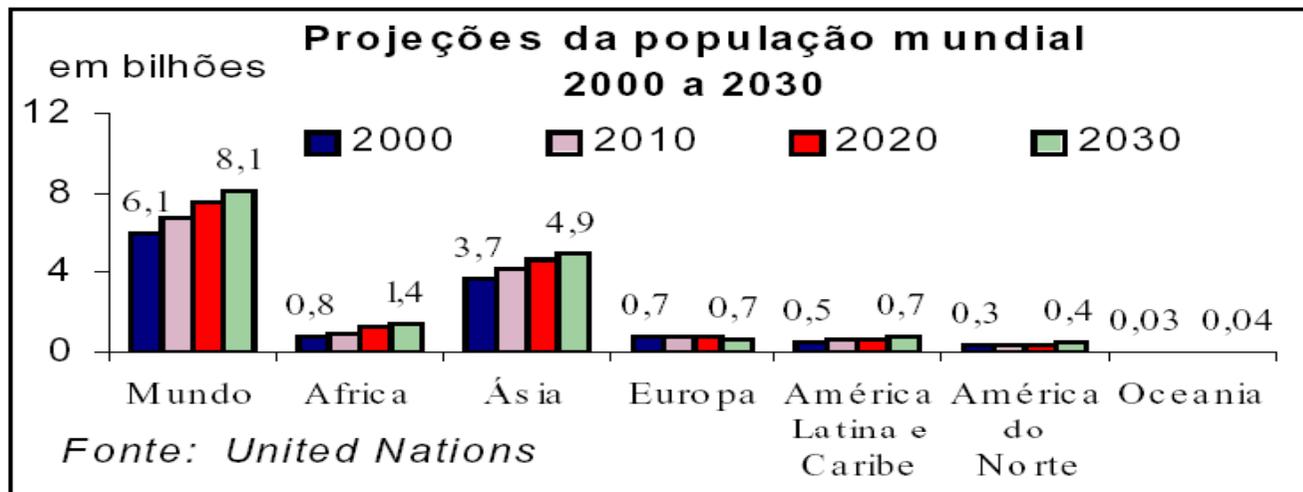
## Introdução



A capacidade do mundo para alimentar a crescente população é incerta, a agricultura tem que atender o desafio, aumentando principalmente a produção de alimentos nas terras já em uso, e evitando a utilização de terras que são marginalmente adequadas para o cultivo.

Os fertilizantes promovem o aumento da produtividade agrícola, preservando e protegendo milhares de hectares de florestas e matas nativas.

O uso adequado de fertilizantes se tornou uma ferramenta indispensável para beneficiar agricultores com o aumento da produtividade, para a melhoria da qualidade dos alimentos e preservação do meio ambiente.

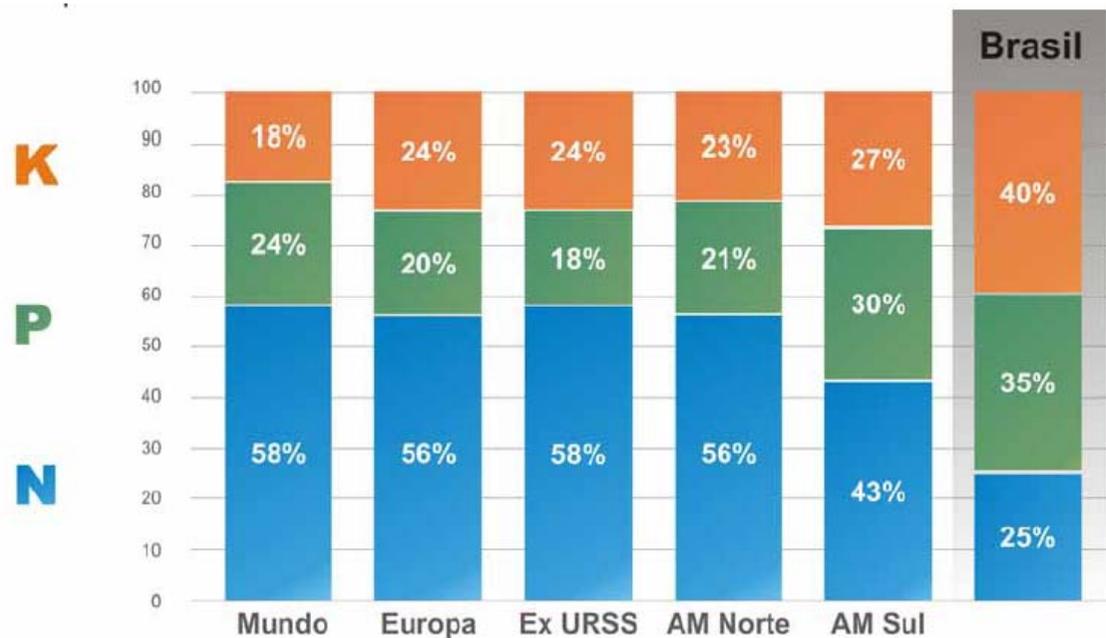


## Usos e aplicações



Os princípios básicos de manejo do solo em sistemas agrícolas sustentáveis são:

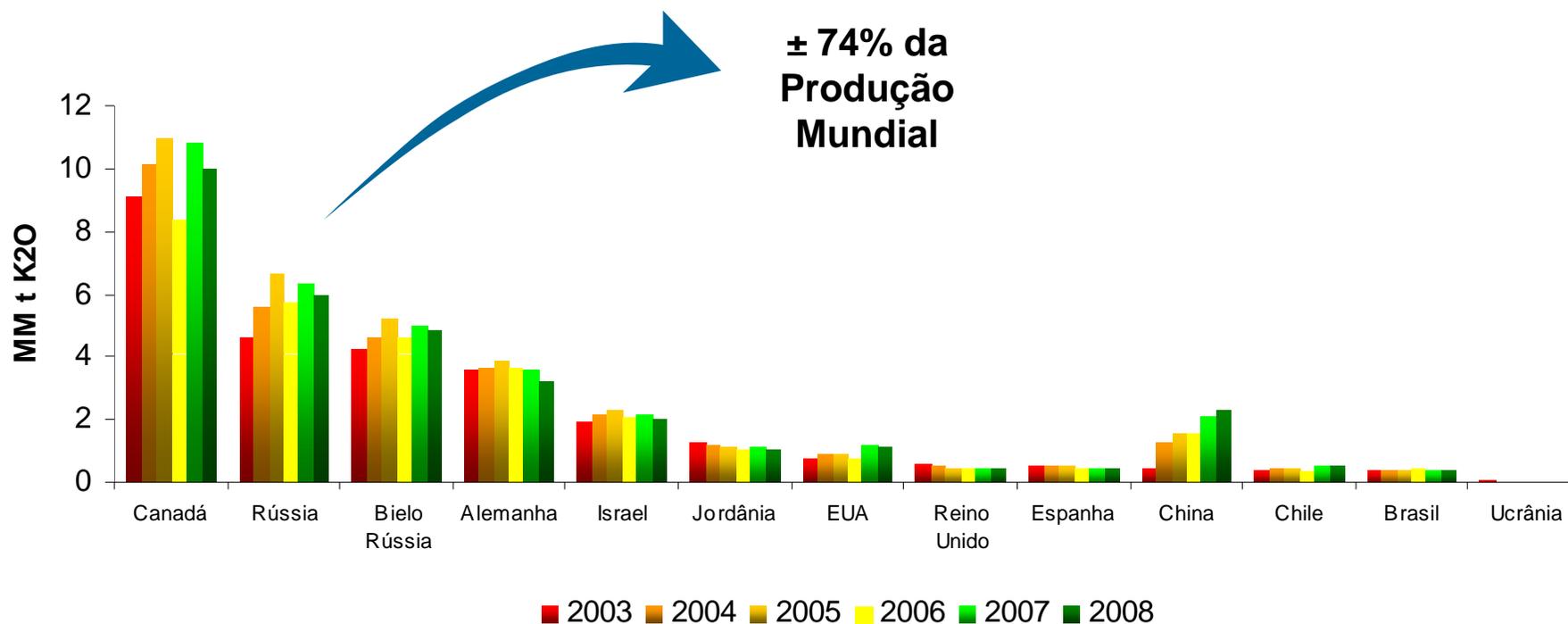
- Repor os nutrientes removidos
- Manter as condições físicas
- Evitar o aumento da incidência de plantas invasoras, pragas e doenças
- Evitar o aumento da acidez do solo e da concentração de elementos tóxicos
- Controlar a erosão de tal modo que essa seja igual ou menor que a taxa de pedogênese (formação do solo).



Fonte: British Sulphur / IFA

# Produção Mundial 2003 a 2008

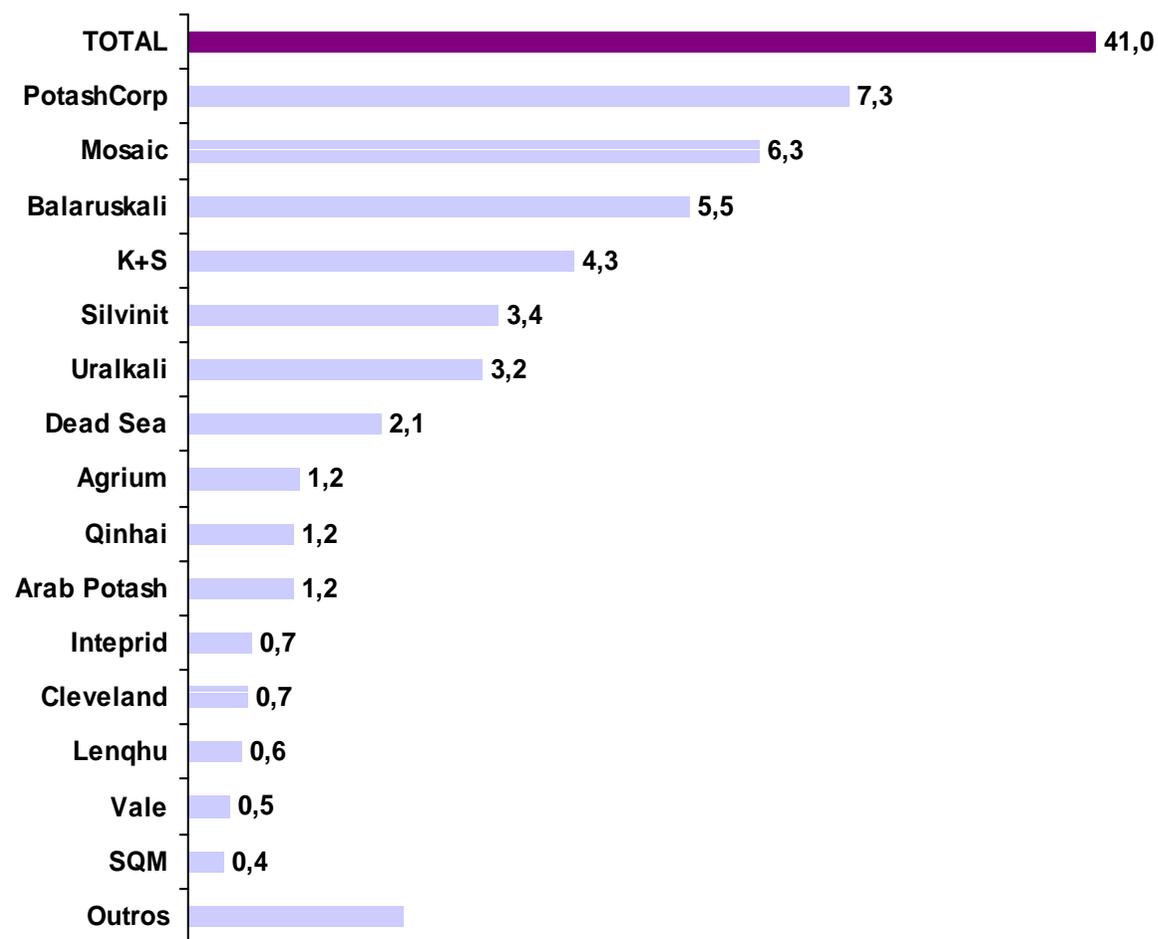
**Cerca de 3/4 da produção Mundial de K<sub>2</sub>O está concentrada em 4 países.**



## Potássio - Oferta

Os 8 maiores produtores têm hoje quase 81% da capacidade de produção instalada no mundo

Capacidade Total Instalada em 2008 = 41 Mt/ano (em K<sub>2</sub>O)

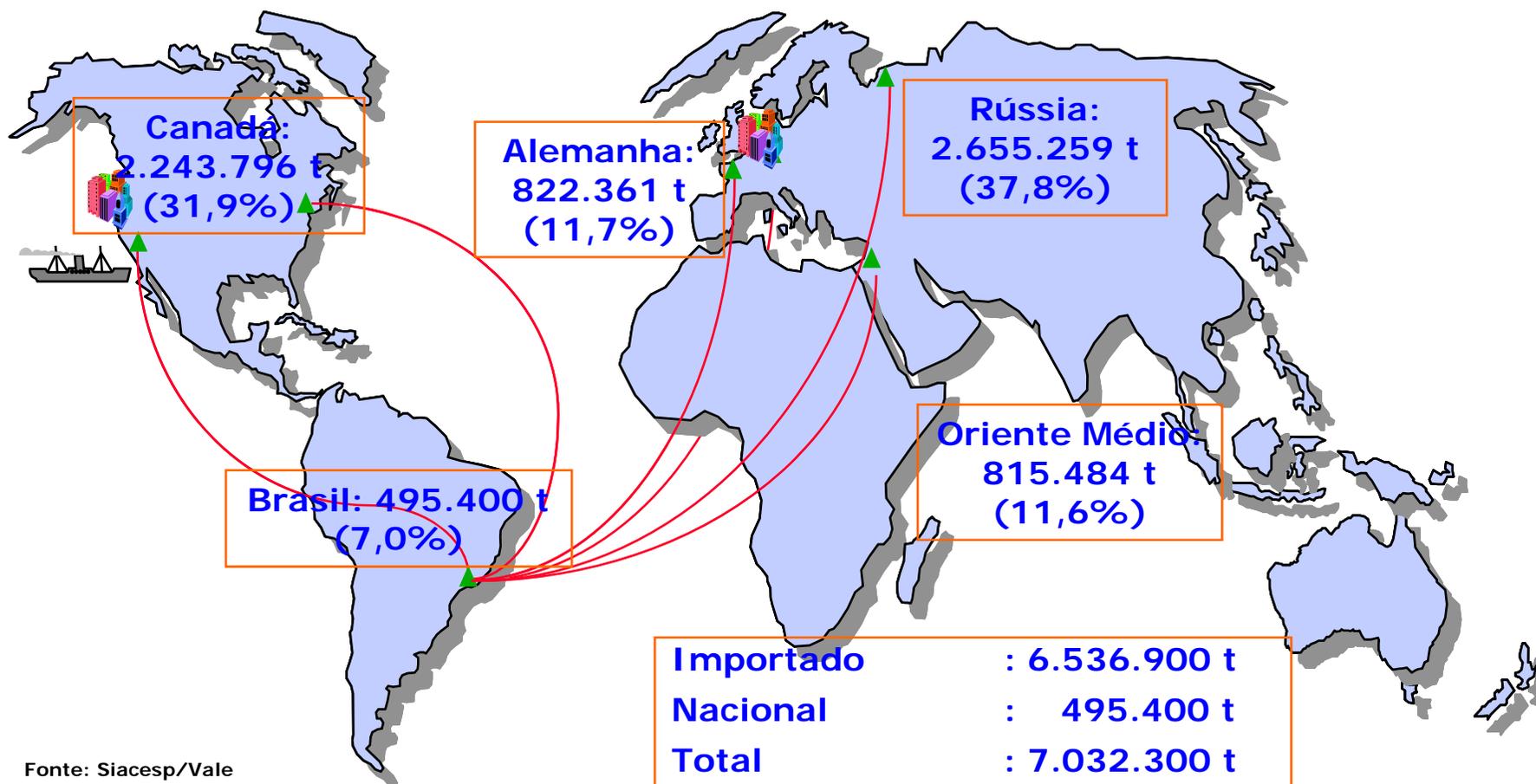


# Oferta de KCl Brasil – Importado e Nacional

## Janeiro-Dezembro/2008



Fins Fertilizantes e Químicos



Fonte: Siacesp/Vale

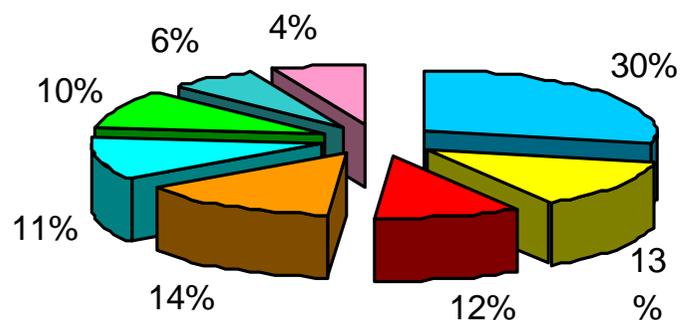
## Mercado 2008

6 Maiores empresas misturadoras com 81% do mercado de KCl.

Grupo Ama Brasil e Outros + de 80 empresas.



Outros

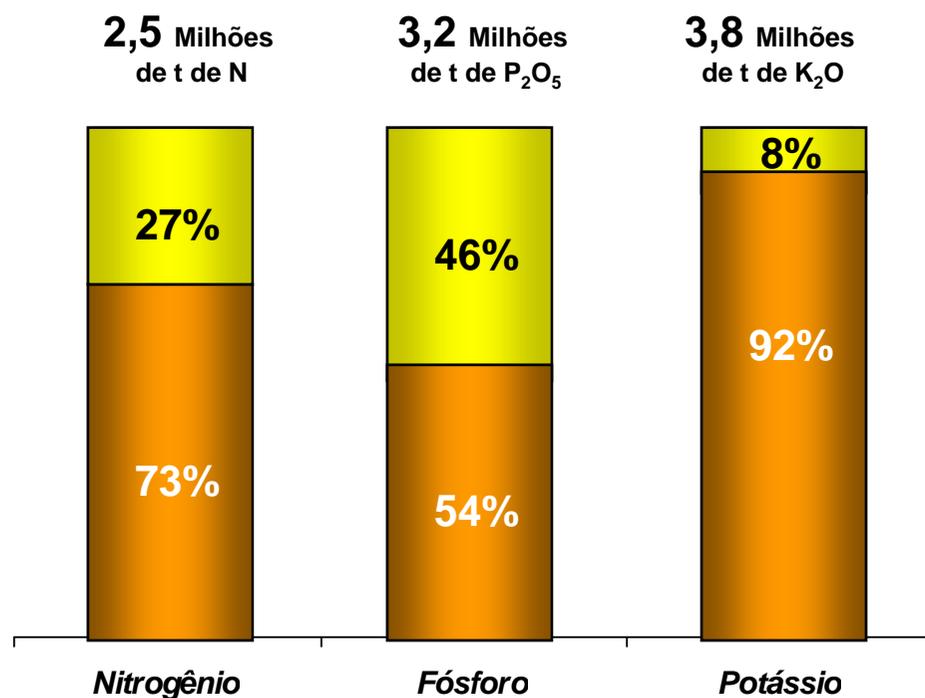


## BALANÇO ENTRE SUPRIMENTO E DEMANDA

*As importações já representam mais de 72% do consumo Brasileiro de fertilizantes. Sem investimentos é esperado um aumento desta participação.*

### Consumo Brasileiro – 2008

(Milhões de toneladas de nutrientes)



Ano	Participação
2008	72%
2007	73%
2006	53%
2000	63%
1990	36%

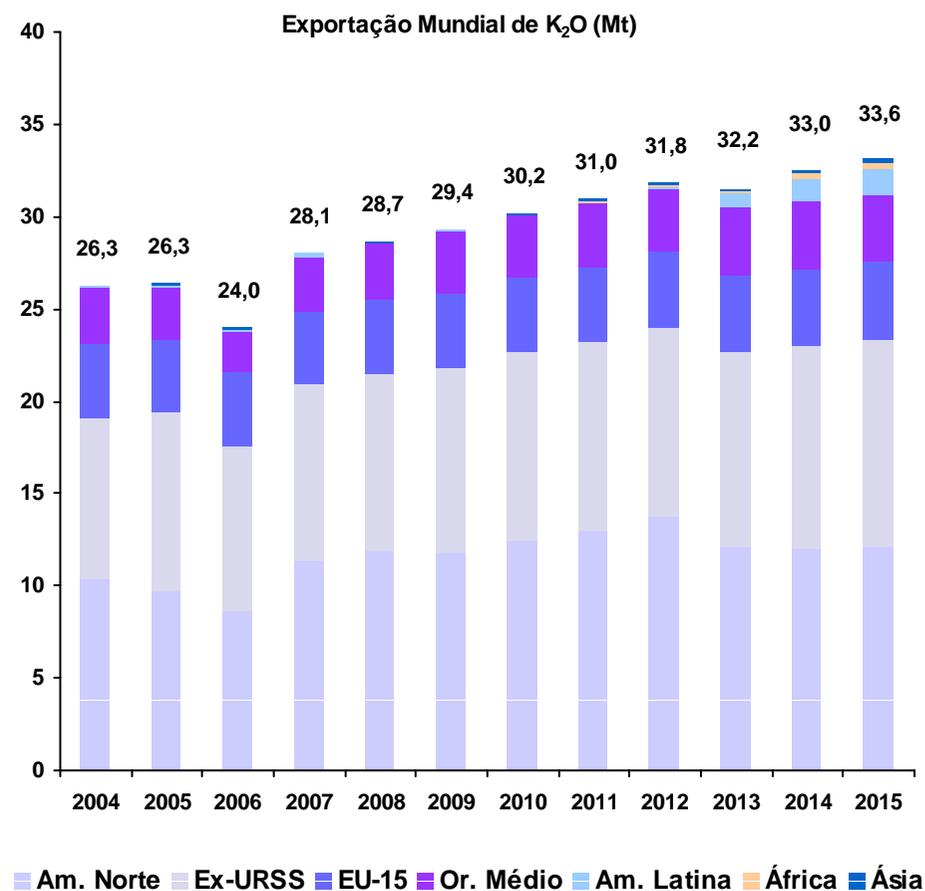
Fonte: ANDA e SIACESP.

## Potássio – Mercado transoceânico

Mercado transoceânico de  $K_2O$  movimentada cerca de 80% da produção mundial e deverá crescer mais de 20% até 2015

- Maiores exportadores são Canadá (40%), Rússia (18%), Bielorrússia (16%) e Alemanha (11%), que juntos respondem por 85% do total mundial;
- Queda das exportações em 2006 se deve à formação de estoques e conseqüente queda das vendas em todo o mundo, em especial na China;
- Em 2008, exportações devem alcançar 28,7 Mt;
- Apesar do crescimento, Rússia sofrerá um declínio de suas exportações em função do fechamento de minas;
- Produtores canadenses e russos apresentarão um expressivo crescimento de 2,4 Mt (20,9 Mt >23,3 Mt) das exportações no período de 2007 a 2015 para abastecer o déficit em outras regiões do mundo.

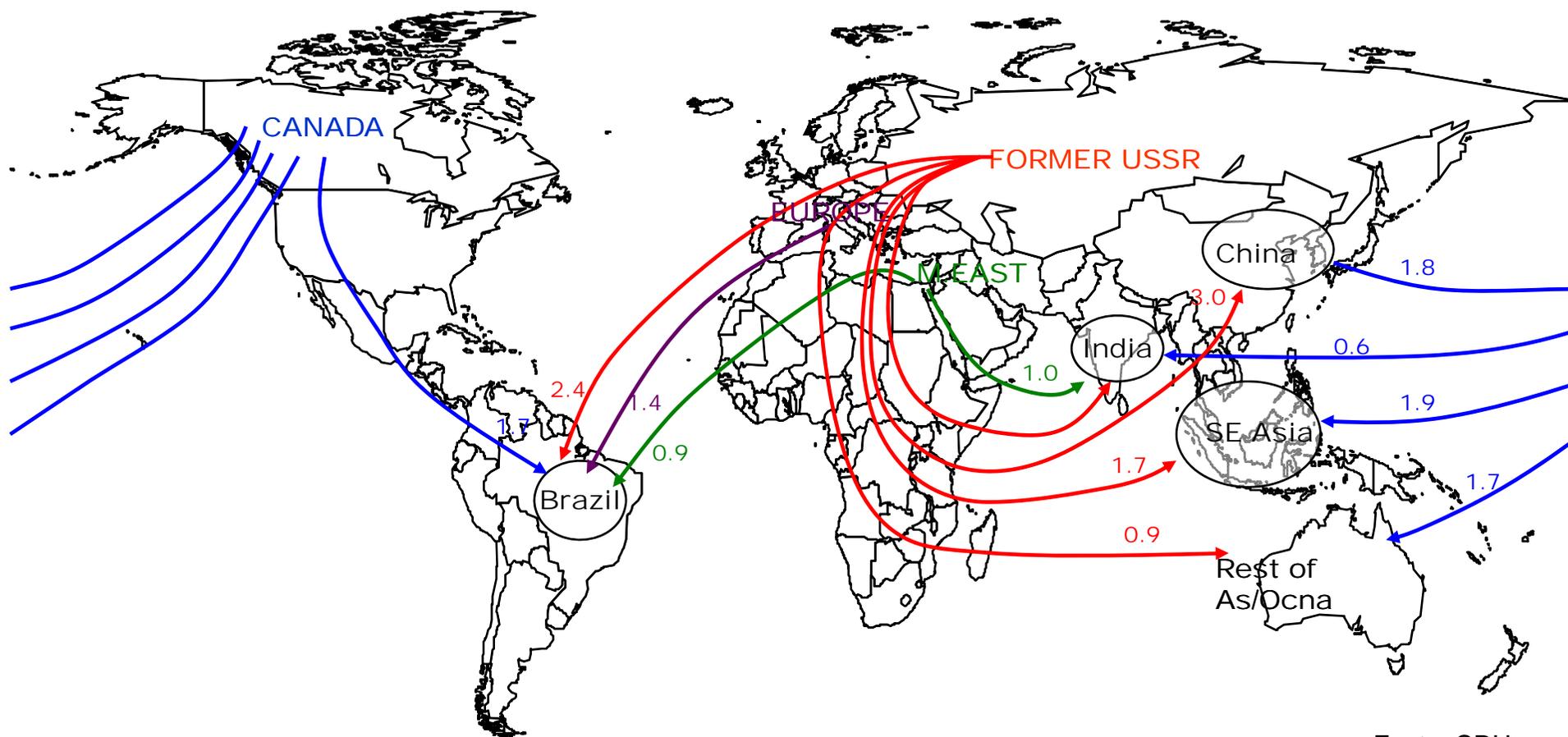
\* Dados excluem exportações da Rússia e Belarus para outros países da Ex-URSS.



Fonte: Fertecon

## Competitividade: Potássio

30 milhões de toneladas de potássio (80% do total) são entregues por via marítima – as maiores rotas são para Ásia e Brasil



Fonte: CRU

## Competitividade: Potássio



### Onde se localiza a demanda:

- Na Europa e nos EUA o crescimento da demanda tem sido muito pequeno ou nulo;
- Na ex-URSS a demanda também tem se mostrado estagnada;
- No resto do mundo a demanda tem crescido fortemente, especialmente na China, Brasil, sudeste da Ásia e Índia
- Menos de 50% demanda por KCl localiza-se na Europa, EUA e ex-URSS; o restante é respondido por Ásia, África e América Latina

### Quem oferta para esses mercados:

- Na Europa e EUA os produtores locais são mais fortes;
- No resto do mundo os produtores locais não são significativos e todos os maiores produtores de potássio competem por parcelas do mercado.

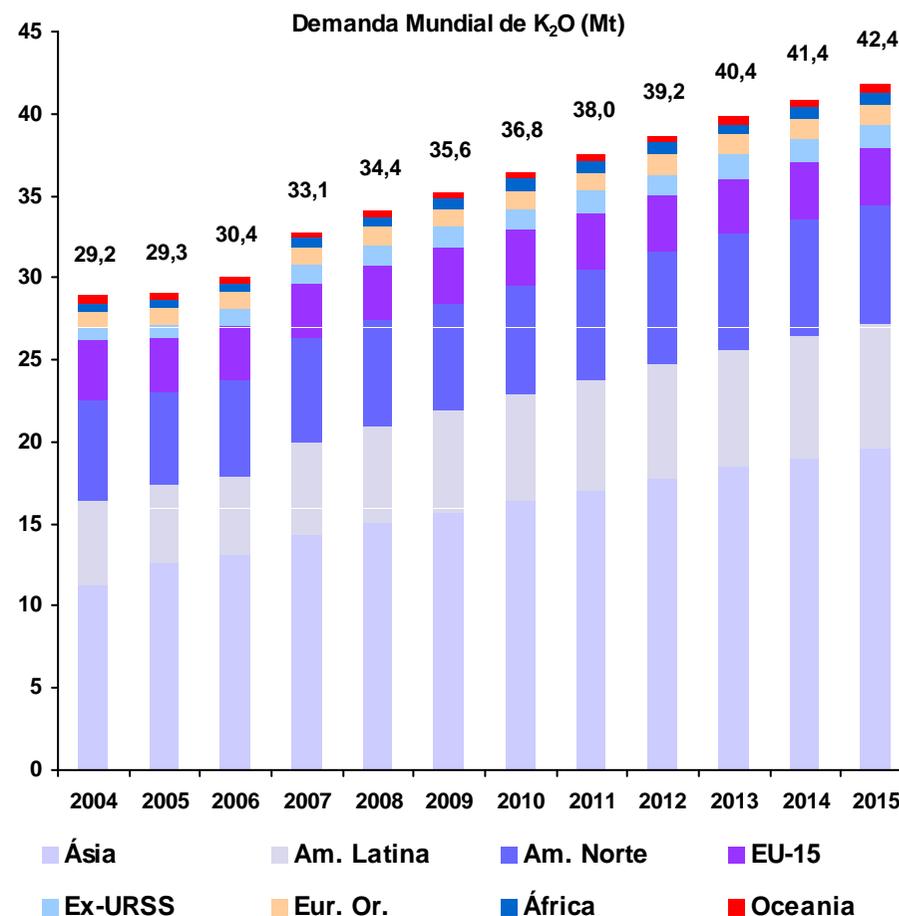
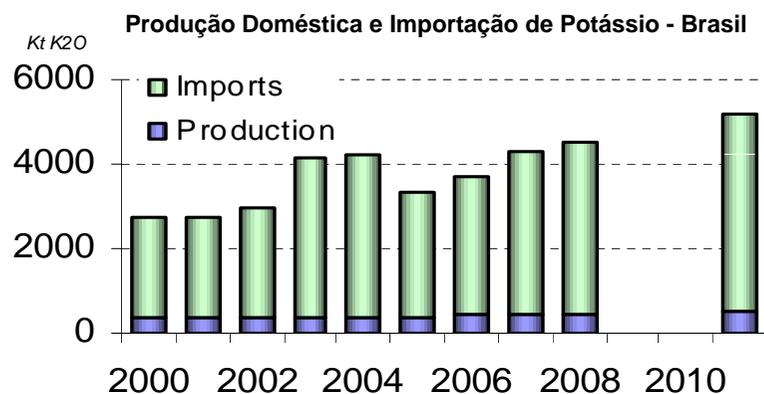
Fonte: IFA



## Potássio - Demanda

Consumo mundial de potássio deverá crescer 3% a.a. no período de 2008 a 2015 frente ao crescimento histórico de 1,5% a.a. (1990-2007), em decorrência do crescimento do agronegócio em todo o mundo

- Ásia é a maior consumidora (44% do total), seguido pela América do Norte (19%), que deverá ser ultrapassada pela América Latina (17%) até 2015;
- Previsão de que o consumo atinja mais de 42 Mt de  $K_2O$  até 2015, frente às 34 Mt atuais;
- Brasil consome atualmente cerca de 4,3 Mt anuais de  $K_2O$  e deverá atingir aproximadamente 6,0 Mt até 2015;
- Brasil produz cerca de 10% do cloreto de potássio que consome e tal percentual tende a diminuir nos próximos anos com aumento da demanda.



## Tendências e Perspectivas: Curto e Longo Prazo na Indústria Mundial



- A demanda por potássio continuará a crescer impulsionada pela melhoria das dietas nos países em desenvolvimento e pelo aumento da produtividade.
- Os custos de produção deverão aumentar em função da redução do teor e aprofundamento da lavra no longo prazo.
- Os depósitos de potássio ainda são suficientes para manter um equilíbrio entre oferta e demanda no longo prazo
- Questões ambientais serão fatores restritivos ao crescimento da oferta
- China, Índia e Brasil apresentarão crescimento significativo no consumo de potássio (3% ao ano, no mundo).



## Conclusões: Indústria brasileira de fertilizantes – Curto e longo prazo



- Nos próximos 10 anos, mesmo com a entrada em operação de novas unidades produtoras de potássio, o Brasil continuará importando fertilizantes.
- O processo de integração vertical da indústria continuará com a participação de indústrias produtoras de alimentos no setor extrativo mineral.
- Em uma panorama de médio prazo, não existem substitutos para o potássio.
- A redução das terras aráveis através da produtividade será um fator decisivo na economia mundial nas próximas décadas.
- O mercado de fertilizante potássico no Brasil continuará crescendo devido a dinâmica do agronegócio brasileiro.

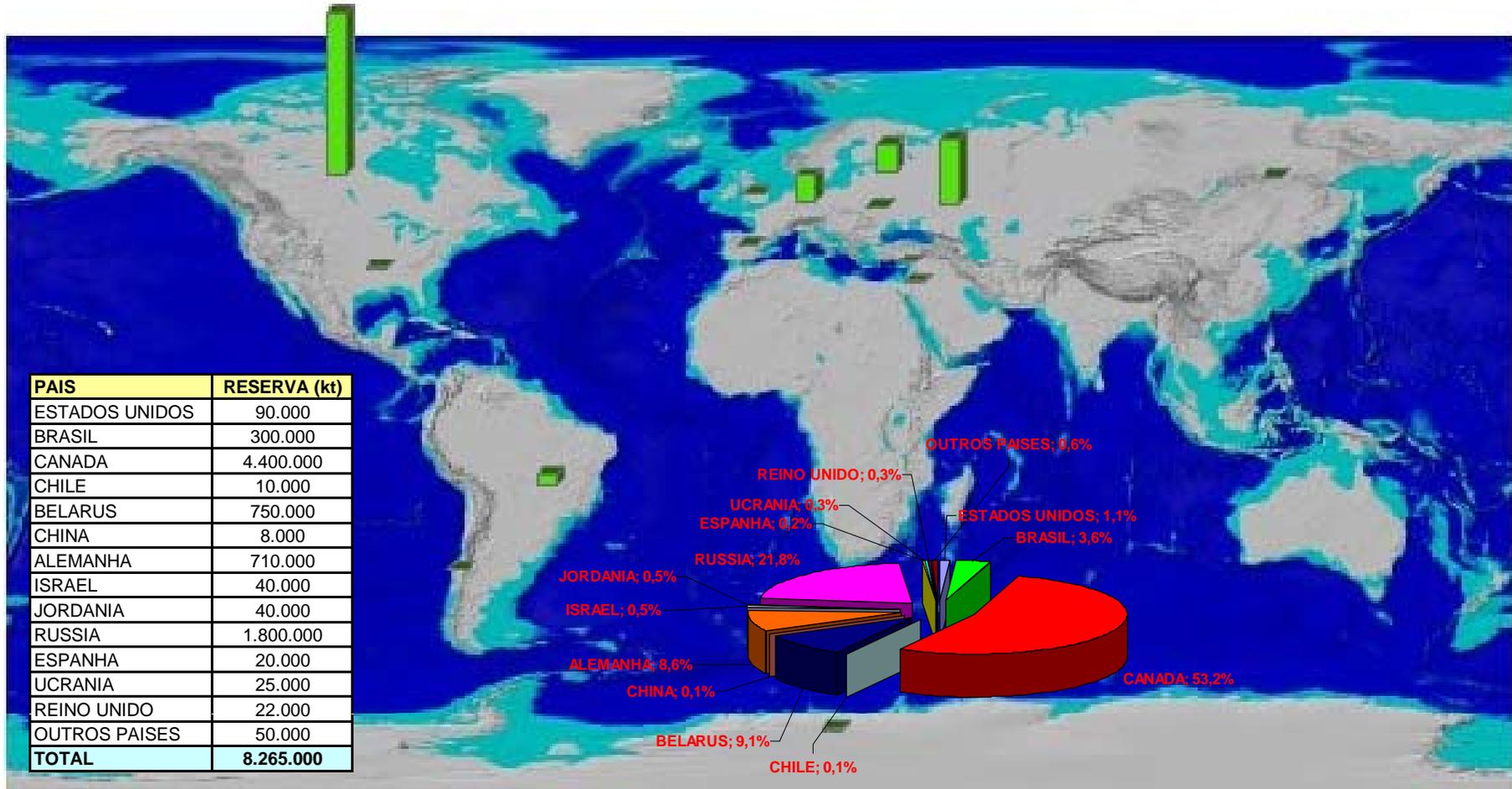


## Geologia do Potássio

- Os minerais de potássio ocorrem em bacias sedimentares evaporíticas, em dois grupos distintos; pobres e ricos em sulfatos.
- A maioria dos depósitos minerais ocorrem em subsuperfície (200 a 3000 m).
- As salmouras nos mares interiores como o Mar Morto no Oriente Médio, os salares (no Chile) são também fontes de matéria prima para a produção de potássio.
- Principal minério de potássio – silvinita (KClNaCl): silvita (32%), halita (68%) e resíduos insolúveis.
- Carnalita ( $\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )
  - Utilizada como matéria prima na produção de magnésio.
  - Atualmente existem projetos para o aproveitamento de KCl a partir de rochas carnalíticas.
- Outros minerais:
  - sulfatos de potássio: Polialita ( $\text{K}_2\text{MgCa}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), Langbeinita ( $\text{SO}_4 \text{K}_2 \cdot 2\text{SO}_4 \text{Mg}$  - 22% de  $\text{K}_2\text{O}$  e 18% de  $\text{MgO}$ ) e a kieserita.



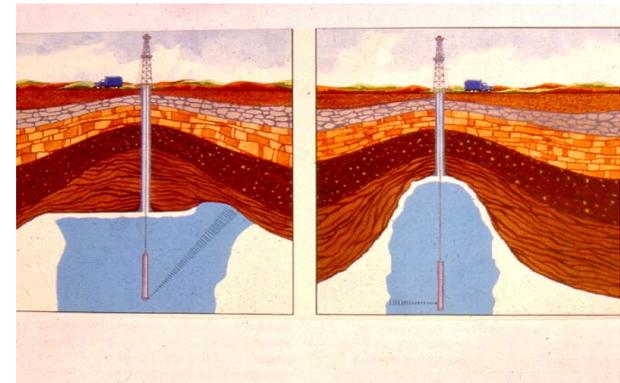
## Reservas de Potássio



## Métodos de Lavra do Potássio



- **Métodos convencionais de lavra subterrânea** (86% no mundo): câmaras e pilares, *longwall*, corte e enchimento.
- **Salmouras** (10 % no mundo): evaporação solar é o terceiro método de obtenção de minérios de potássio.
- **Mineração por dissolução** (4 %).



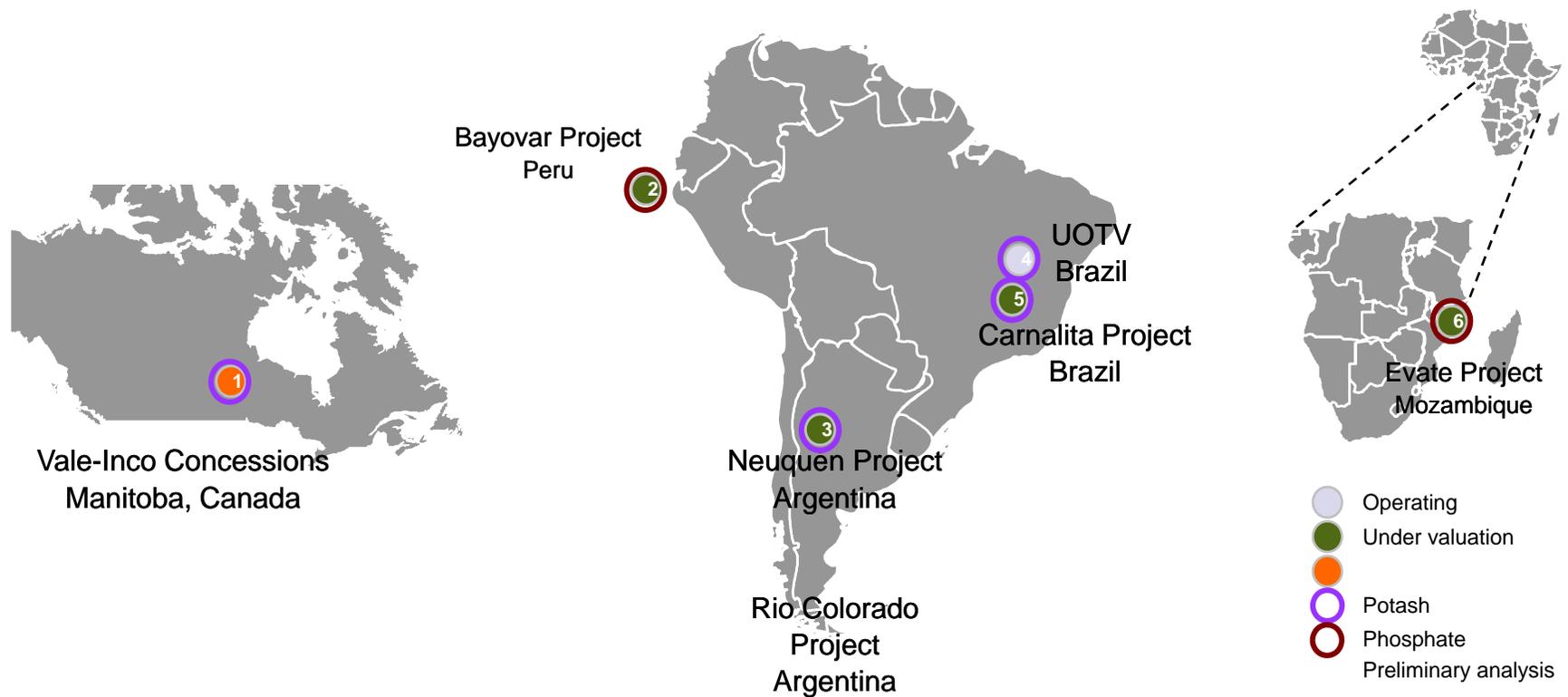
OBS: variações (*pastefill*, *rockfill*, *backfill*) como alternativas.



América do sul e sudeste da Ásia



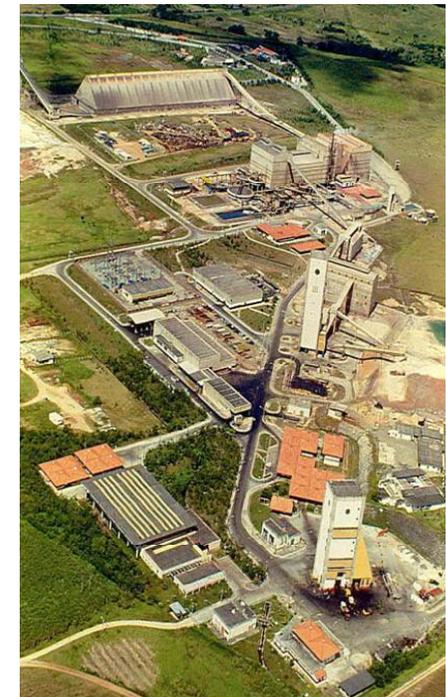
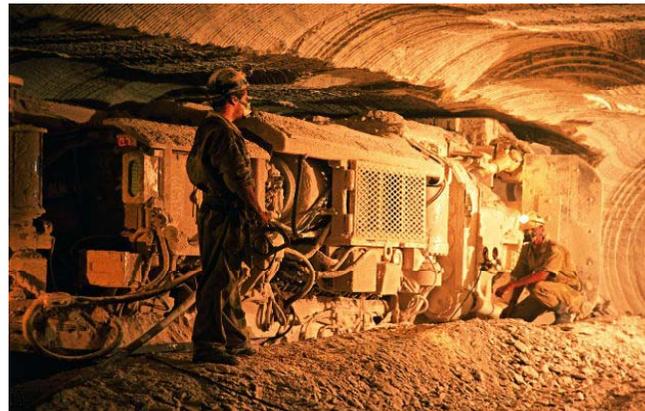
# Portfólio de projetos e operações da Vale na área de fertilizantes



## UOTV - Brazil Operação de Potássio



- ✓ Vale é a única produtora doméstica de KCl, contribuindo com cerca de 10% do consumo brasileiro.
- ✓ Mina subterrânea, com escavação através de painéis pelo método de câmeras e pilares retangulares.



# Potássio

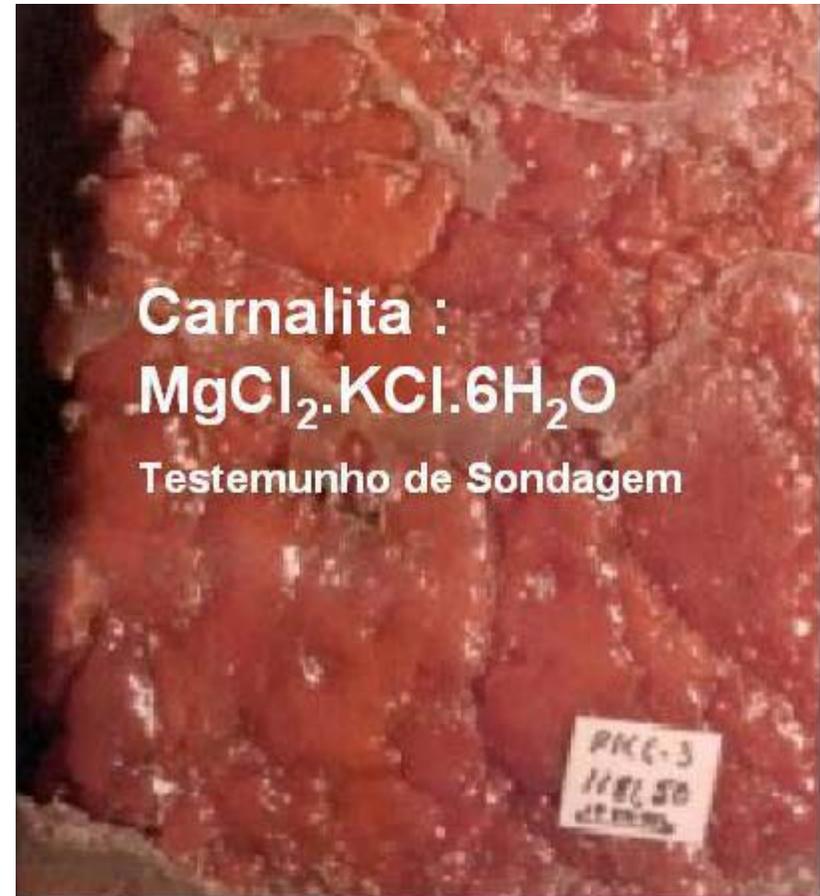


## Minerais de potássio

- Silvinita
  - ✓ Poucas reservas disponíveis: licitação em andamento na Rússia, PRC, Neuquén (pesquisa geológica)
  - ✓ Minério com alto teor de KCl
  - ✓ Mineração convencional e por dissolução
- Carnalita
  - ✓ Principais recursos: Tailândia, Brasil, Congo
  - ✓ Minério com baixo teor de KCl
  - ✓ Mineração convencional e por dissolução (Deusa, Alemanha; NedMag, Holanda)

## Vale aperfeiçoando tecnologia de mineração por dissolução: poderá ser aplicada em projetos de carnalita no mundo

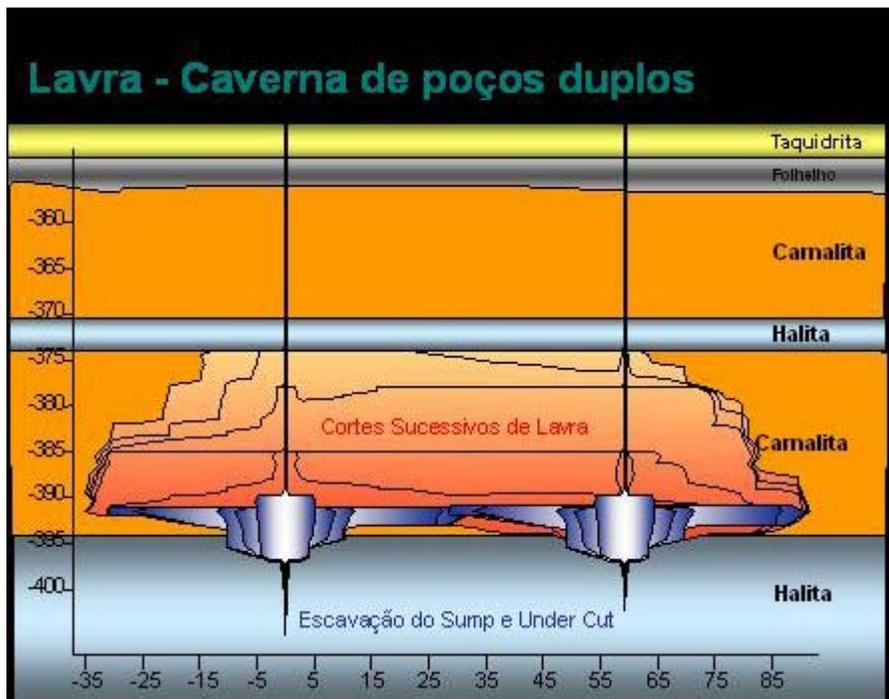
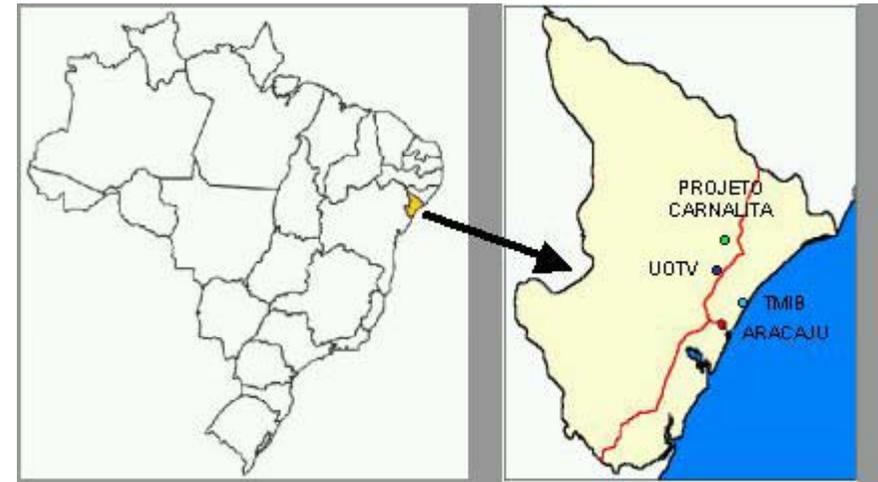
- Projeto Carnalita (Sergipe): 2 camadas de 30 m de espessura de carnalita



# Projeto Carnalita

## Características

- Localização: Sergipe, Brasil
- Produção anual: 1,2 Mt KCl
- Lavra por dissolução
  - ✓ **Lavra e beneficiamento comprovados**
- Vida estimada (LOM): 40 anos



## Processo de beneficiamento

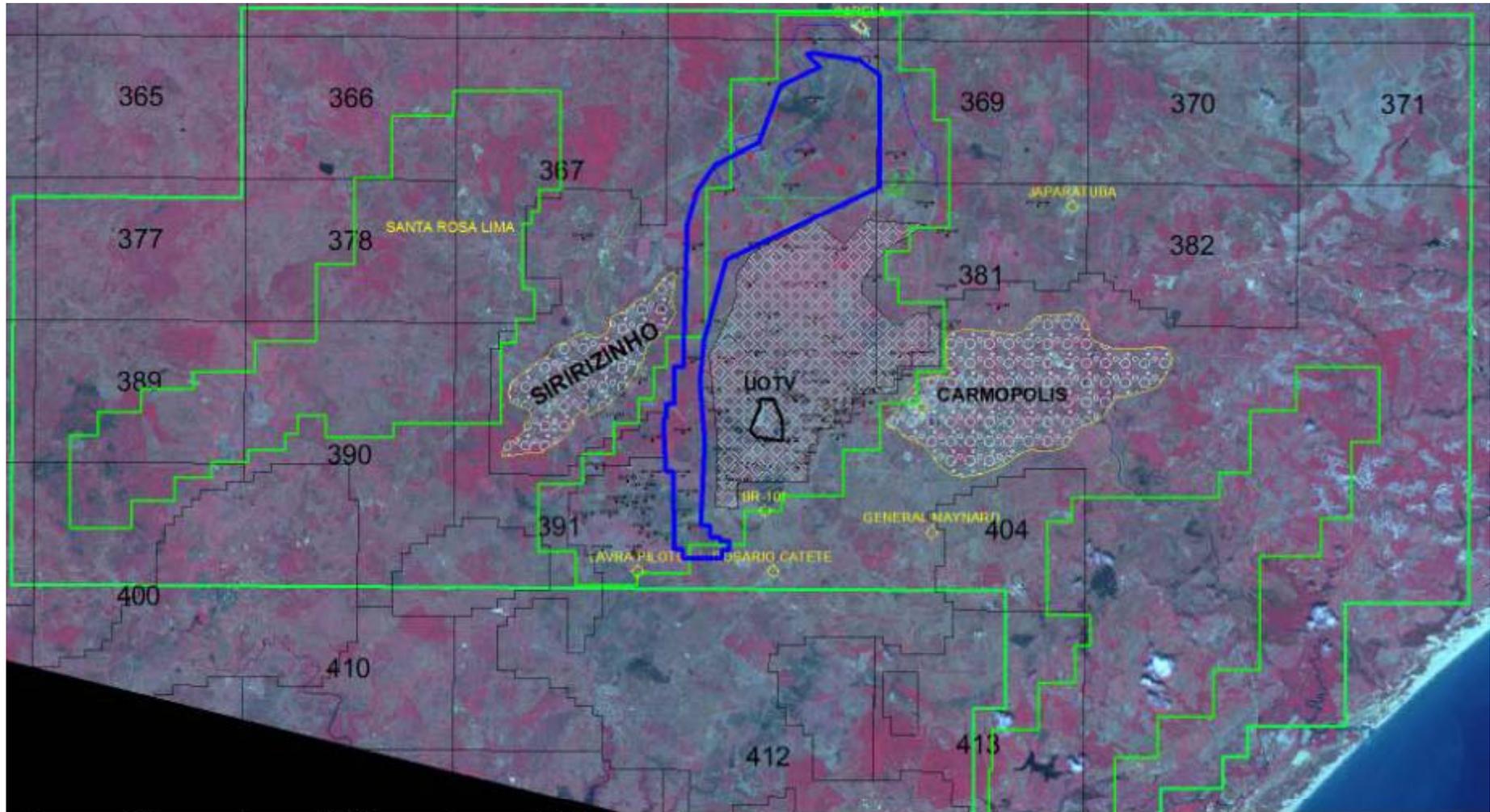
- 30 cavernas em operação simultânea
- Evaporação e cristalização de salmoura com 11,5% de KCl
- Vazão salmoura: 1.500 m<sup>3</sup>/h
- Principais insumos:
  - ✓ Energia
  - ✓ Gás Natural



			TAQUICRITA DO CICLO V
VARA	10,20m		CARNALITA + HALITA
	15,20m		HALITA
C <sub>1</sub>	14,50m	51,46m	UPPER CARNALLITE THICKNESS 34.46m 11.06%KCl
A <sub>1</sub>	13,97m		
MANCO 13	25,26m		HALITE THICKNESS 35.59m
MARCO 12	12		HALITA
C	18,11m	39,59m	LOWER CARNALLITE THICKNESS 39.59m 12.06%KCl
B	11,18m		
A	12,15m		
MARCO 2	3,50m		HALITA (ESP. VARIA DE 2m a 4,8m)
MARCO 4	4,00m		FOLHELHO (ESP. VARIA DE 2m a 6m)
4			HALITA
3,2			FOLHELHO
3,1			HALITA
			FOLHELHO
			FOLHELHO
2			HALITA LOCALMENTE CALCÁRIO
1,7			FOLHELHO
1			HALITA LOCALMENTE CALCÁRIO

# Projeto Carnalita

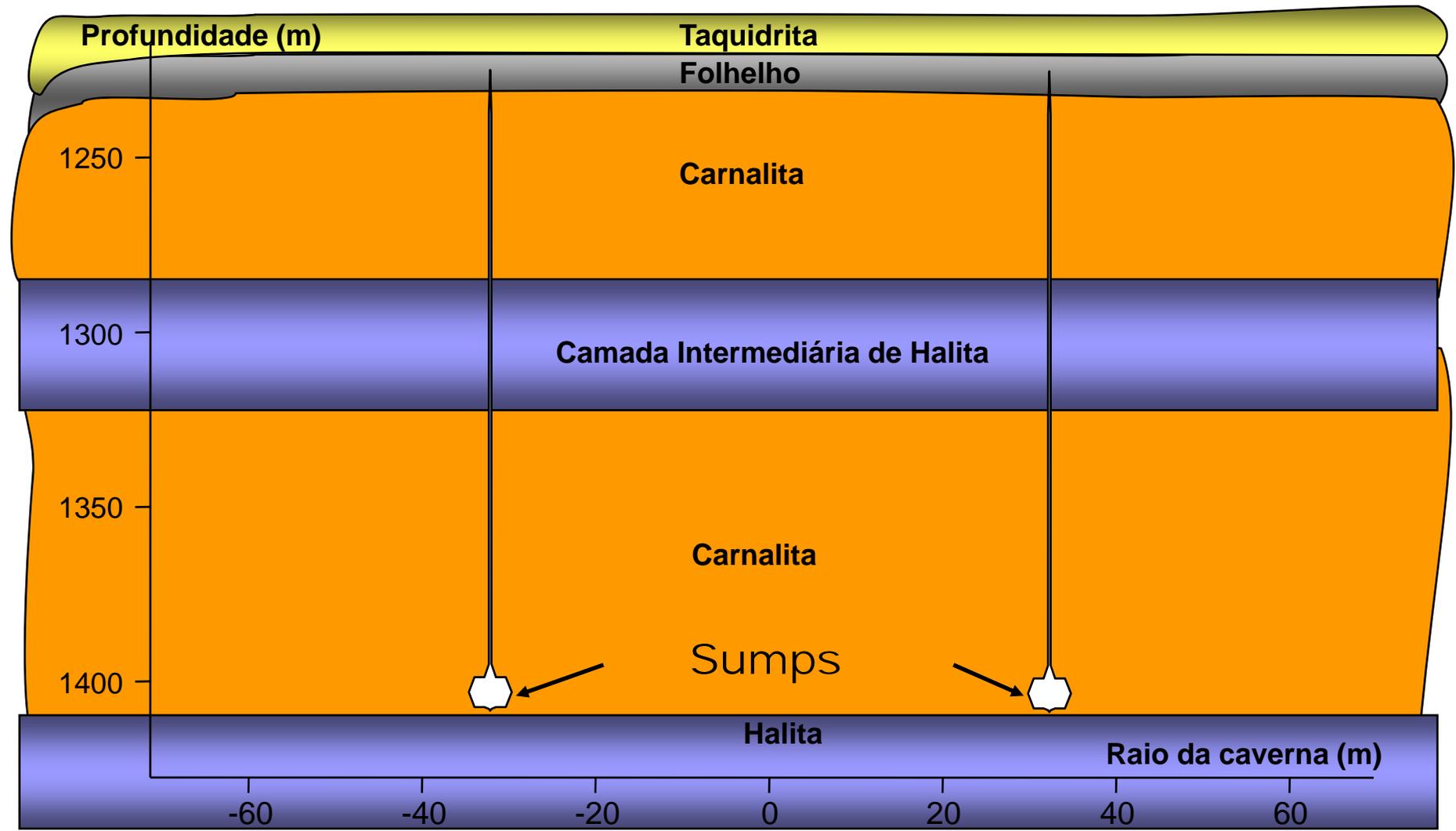
## Localização



# Projeto Carnalita

## Lavra por dissolução – sequência

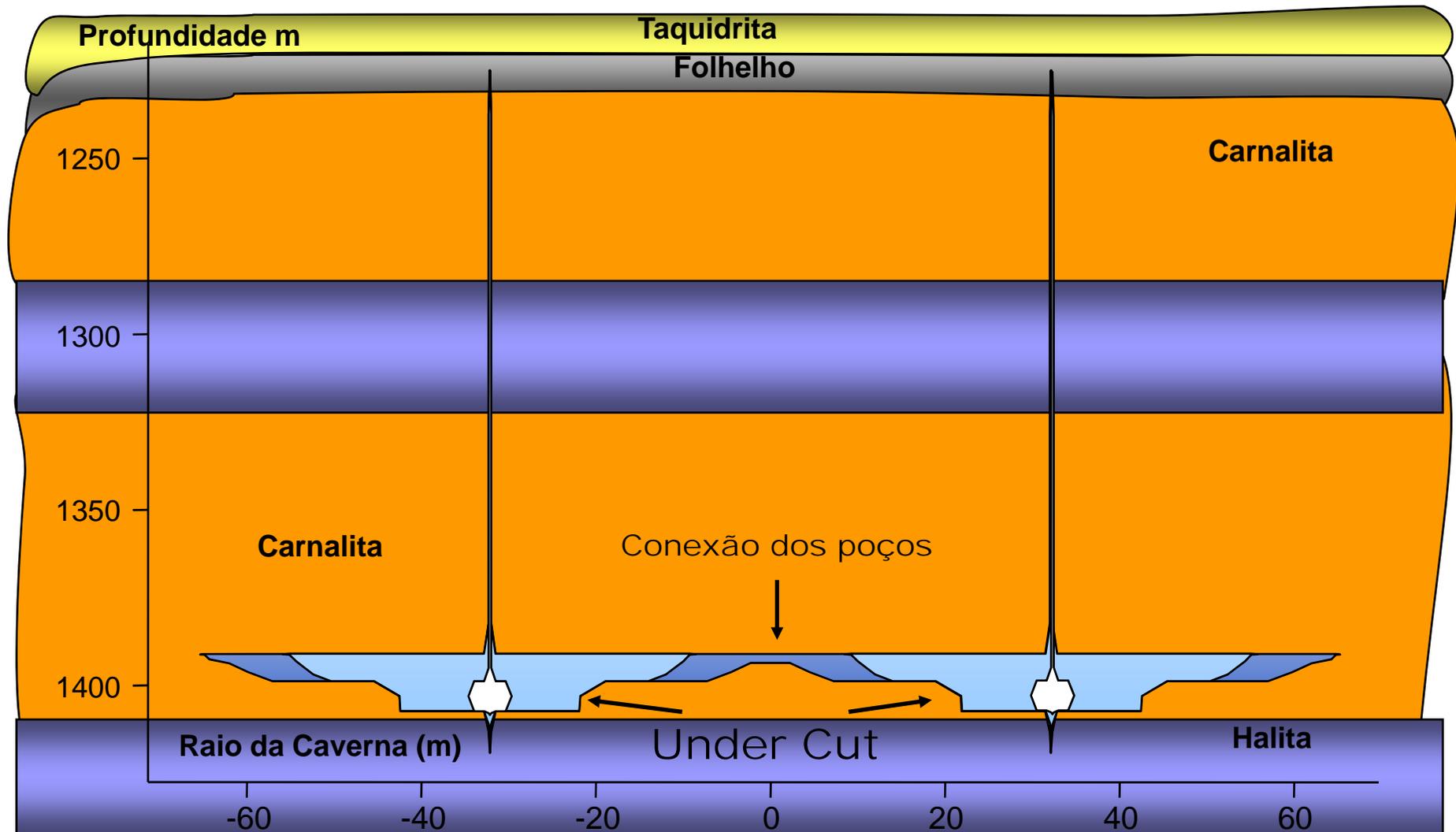
Cavernas



# Projeto Carnalita

## Lavra por Dissolução – sequência

Under Cut

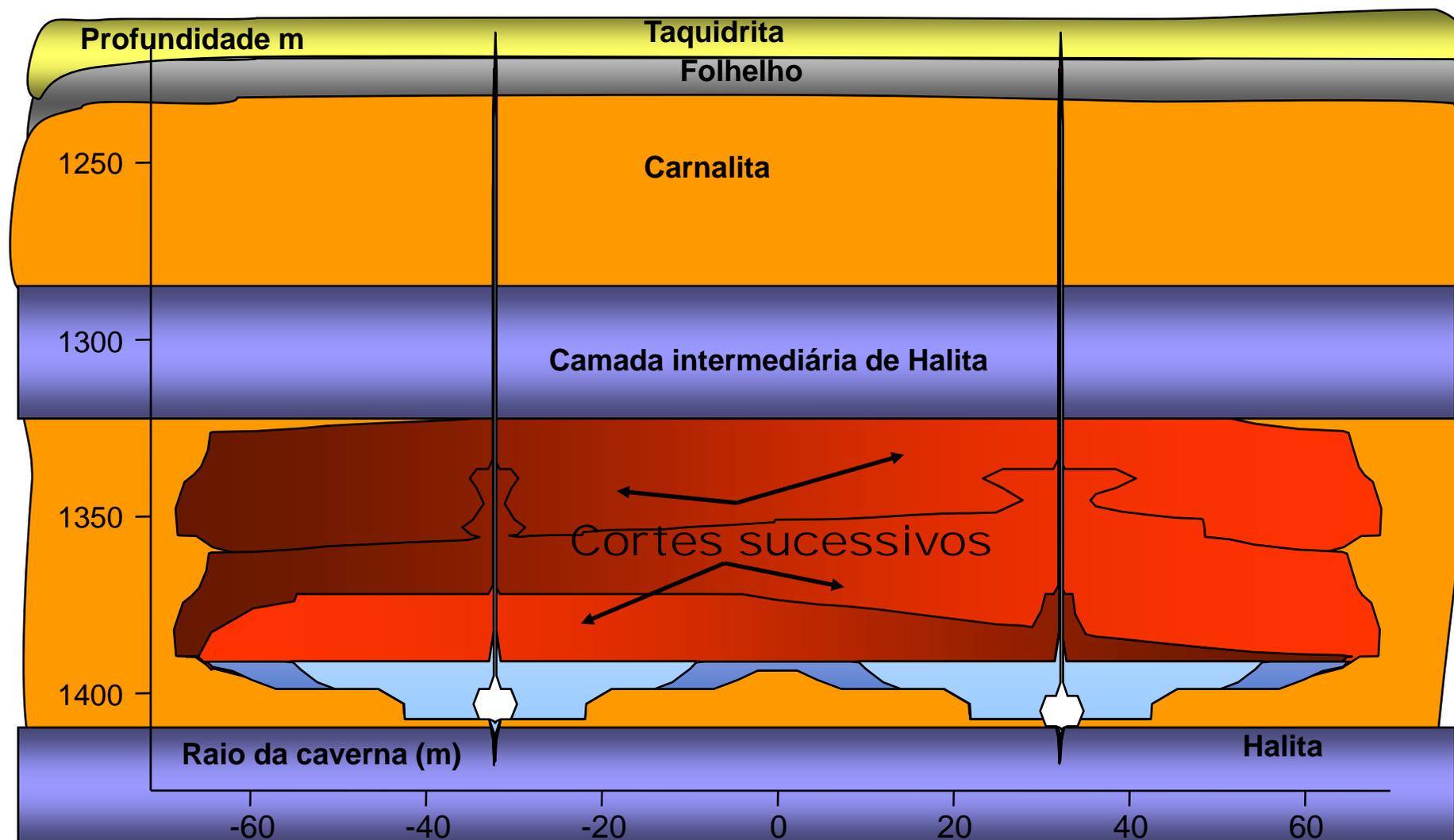


# Projeto Carnalita



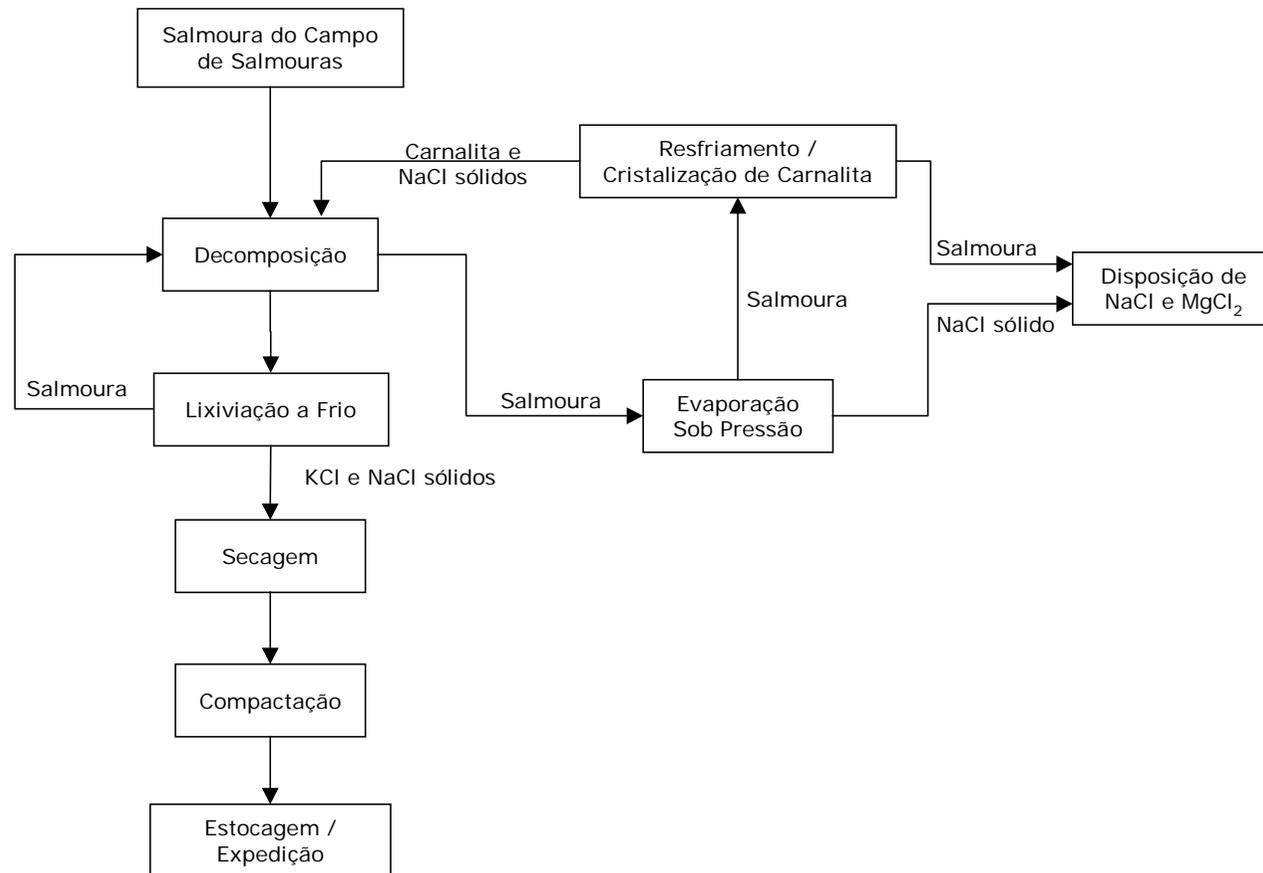
## Lavra por Dissolução – sequência

### Successive Mining Cuts



# Projeto Carnalita

## Rota de processo



# Projeto Carnalita

## Benefícios & riscos do projeto



### *Benefícios*

- **Logística favorável**
  - ✓ Proximidade do mercado consumidor
- **Mercado interno**
  - ✓ Absorção de 100% da produção
- **Transferência de aprendizado tecnológico**
  - ✓ Projeto Neuquén
- **Potencial de aproveitamento de subprodutos (MgCl<sub>2</sub> ou MgO e NaCl)**
- **Recursos**
  - ✓ 2,5 bilhões de toneladas de KCl “in situ”
- **Licenciamento ambiental**
  - ✓ Baixo impacto ambiental

### *Riscos*

- **Gás Natural**
  - ✓ Elevado impacto no custo operacional
  - ✓ Estudo de rota alternativa, visando redução do consumo
- **Energia Elétrica**
  - ✓ Elevado impacto no custo operacional
  - ✓ Avaliação de cogeração de energia elétrica em andamento
- **Composição da Salmoura**
  - ✓ Em andamento a implantação de lavra piloto para investigação do parâmetro
- **Rota de Processamento**
  - ✓ Processo inovador
  - ✓ Ensaios piloto com amostras de DEUSA e, eventualmente, testes industriais com salmoura do projeto Carnalita eliminam risco tecnológico.

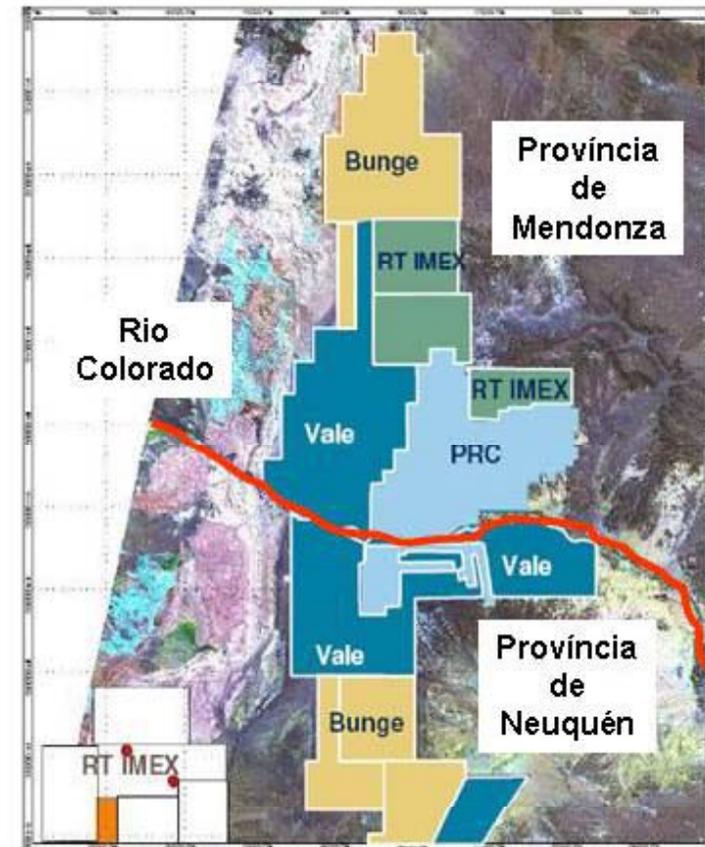
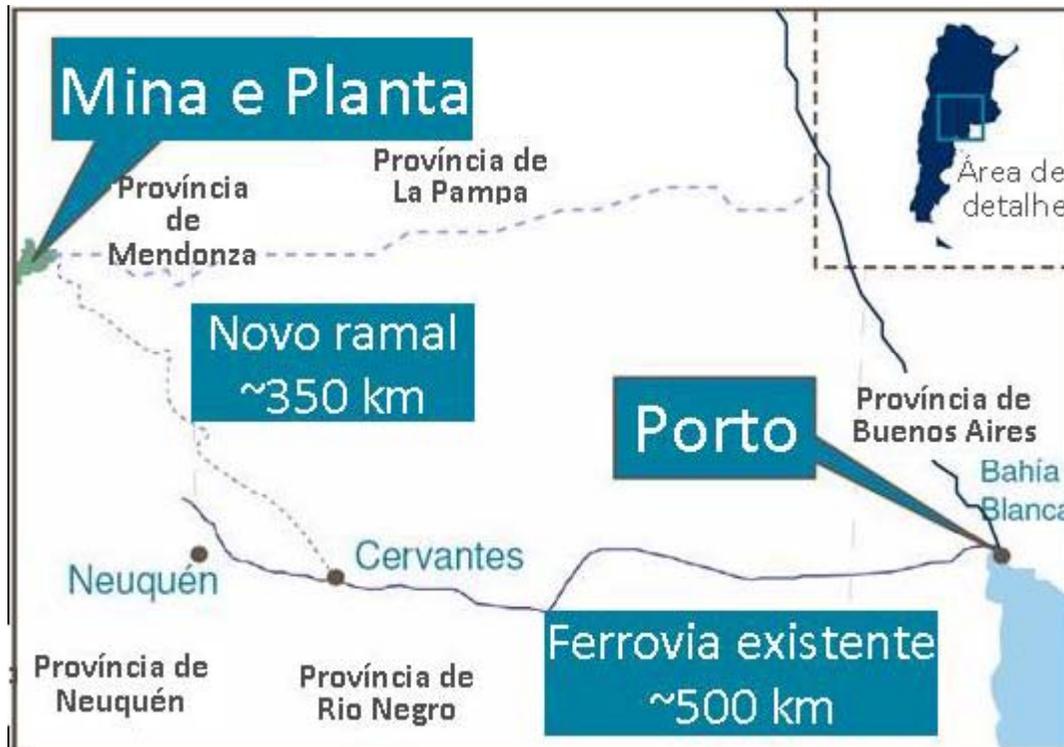
## Projeto Carnalita

### Principais Atividades 2008/2009

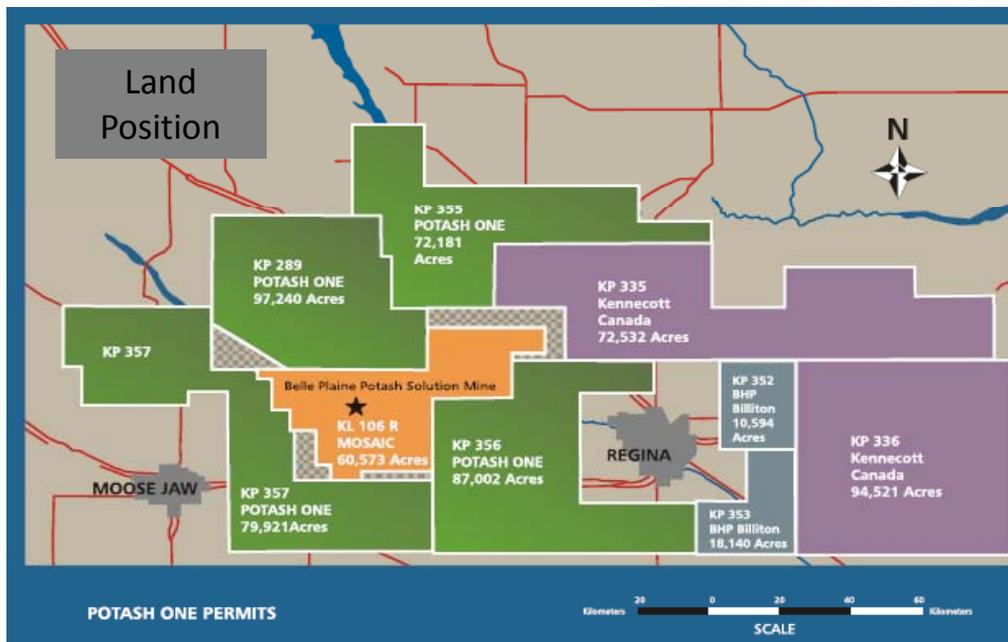


- Implantação e operação da lavra piloto,
- Amostragem e análises químicas da salmoura,
- Confirmação da rota de processo,
- Sondagens geológicas e geotécnicas,
- Sísmica 3D,
- Estudos de geomecânica,
- Modelamento geológico,
- Locação final da lavra e usina,
- Plano de lavra,
- Estudo de EIA-RIMA,
- Engenharia básica.

# Projeto Rio Colorado



# Projeto Regina



- Regina
- Belle Plaine (Mosaic em operação com mineração por dissolução @ 2,2 Mta de KCl)
- Potash One (projeto em avaliação pela Vale)
- BHP (projeto)

# Remineralização de Solos Agrícolas

**Eder de Souza Martins**  
**Rede AgriRocha/Rede FertBrasil**  
**[eder@cpac.embrapa.br](mailto:eder@cpac.embrapa.br)**

**Embrapa**  
**Cerrados**

Ministério da  
Agricultura, Pecuária  
e Abastecimento

**BRASIL**  
UM PAÍS DE TODOS  
GOVERNO FEDERAL

# Introdução

- ❑ A utilização de pó-de-rocha (**rochagem**) tem como objetivo a diversificação de fontes de nutrientes, criando novas opções de suprimento, sobretudo de **potássio** e outros nutrientes minerais, além das grandes corporações produtoras de fertilizantes solúveis.
- ❑ Rochagem é uma prática agrícola de incorporação de rochas e/ou minerais ao solo (**remineralização**), sendo a **calagem** e a fosfatagem natural casos particulares desta prática.
- ❑ Rochagem já vem sendo aplicada localmente no país na **agricultura familiar e orgânica** com resultados satisfatórios.

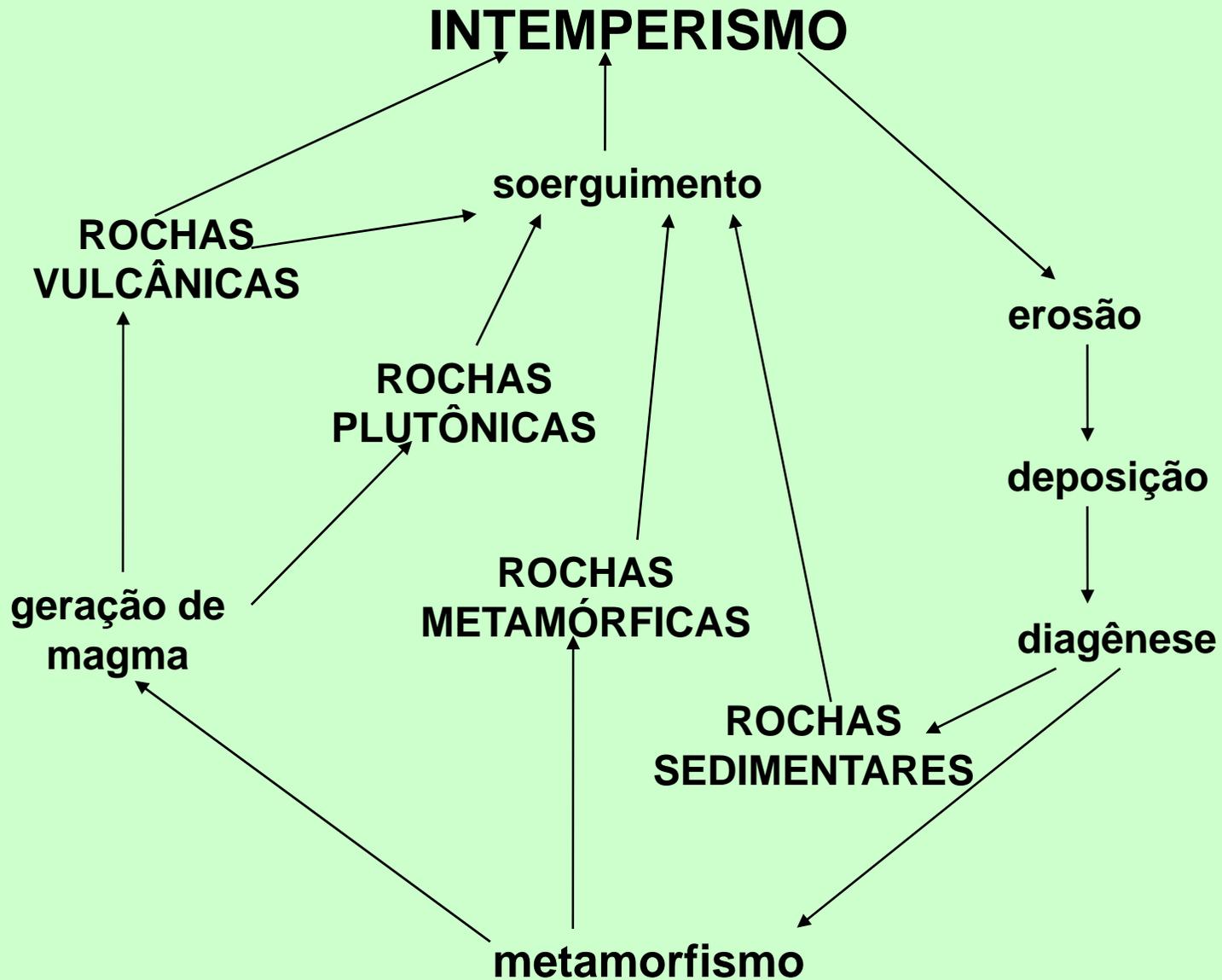
# Princípio

“A verdadeira cura para um solo desgastado consiste em administrar-lhe rochas trituradas. Desta maneira, as plantas recebem novamente o que elas por natureza necessitam. Prova disso pode observar-se na milenar fertilidade das terras do Egito; o lodo do Nilo as nutre quase que exclusivamente de rochas finamente trituradas, junto com ingredientes orgânicos nitrogenados”

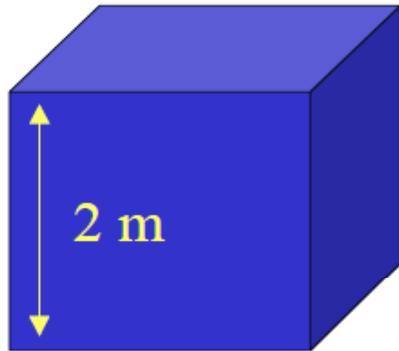
**Julius Hensel, 1898**

Contemporâneo de **Liebig** – criador do **NPK**

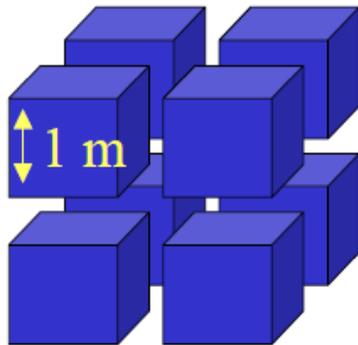
# Princípio



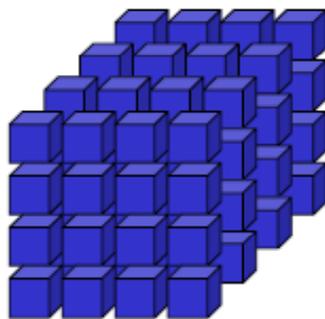
# Princípio



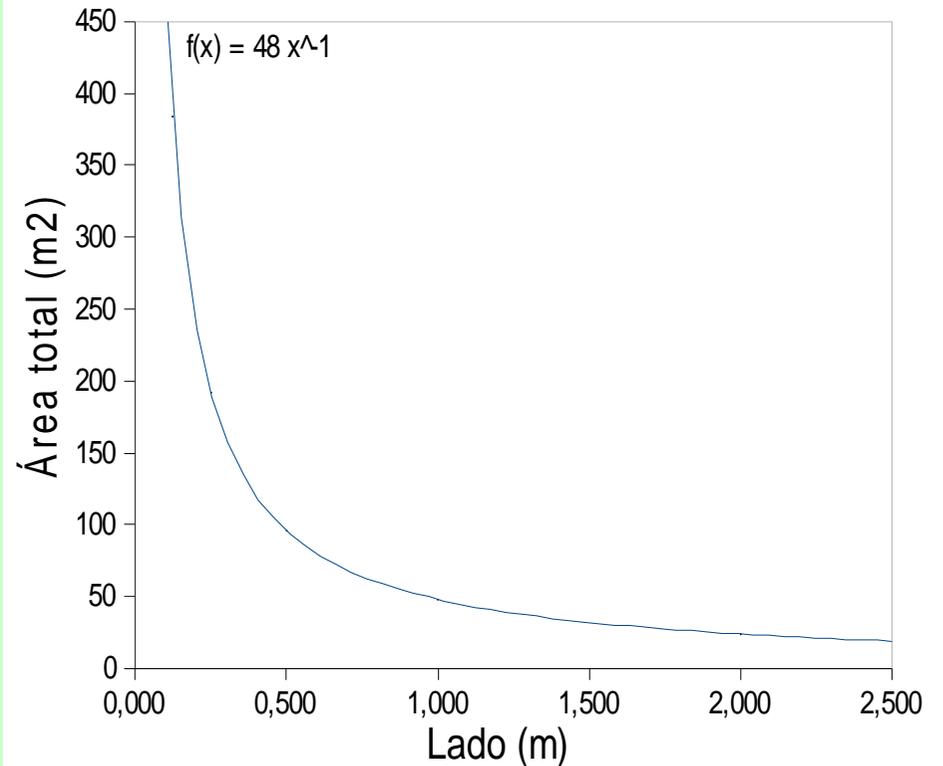
AF = 4 m<sup>2</sup>  
1 cubo  
6 faces  
AT = 24 m<sup>2</sup>



AF = 1 m<sup>2</sup>  
8 cubos  
48 faces  
AT = 48 m<sup>2</sup>



AF = 0,25 m<sup>2</sup>  
64 cubos  
X 384 faces  
AT = 96 m<sup>2</sup>



# Princípio

## Tabela Periódica dos Elementos

1 IA																		Novo Original																		18 VIIIA																	
1 H																		2 He																		K																	
3 Li																		4 Be																		L																	
11 Na																		12 Mg																		M																	
19 K																		20 Ca																		N																	
37 Rb																		38 Sr																		O																	
55 Cs																		56 Ba																		F																	
87 Fr																		88 Ra																		Cl																	
21 Sc																		22 Ti																		Br																	
23 V																		24 Cr																		Kr																	
25 Mn																		26 Fe																		Xe																	
27 Co																		28 Ni																		Rn																	
29 Cu																		30 Zn																		At																	
31 Ga																		32 Ge																		Po																	
33 As																		34 Se																		At																	
35 Br																		36 Kr																		Rn																	
37 Rb																		38 Sr																		At																	
39 Y																		40 Zr																		At																	
41 Nb																		42 Mo																		At																	
43 Tc																		44 Ru																		At																	
45 Rh																		46 Pd																		At																	
47 Ag																		48 Cd																		At																	
49 In																		50 Sn																		At																	
51 Sb																		52 Te																		At																	
53 I																		54 Xe																		At																	
55 Cs																		56 Ba																		At																	
57 La																		58 Ce																		At																	
59 Pr																		60 Nd																		At																	
61 Pm																		62 Sm																		At																	
63 Eu																		64 Gd																		At																	
65 Tb																		66 Dy																		At																	
67 Ho																		68 Er																		At																	
69 Tm																		70 Yb																		At																	
71 Lu																		72 Hf																		At																	
73 Ta																		74 W																		At																	
75 Re																		76 Os																		At																	
77 Ir																		78 Pt																		At																	
79 Au																		80 Hg																		At																	
81 Tl																		82 Pb																		At																	
83 Bi																		84 Po																		At																	
85 At																		86 Rn																		At																	
87 Fr																		88 Ra																		At																	
89 Ac																		90 Th																		At																	
91 Pa																		92 U																		At																	
93 Np																		94 Pu																		At																	
95 Am																		96 Cm																		At																	
97 Bk																		98 Cf																		At																	
99 Es																		100 Fm																		At																	
101 Md																		102 No																		At																	
103 Lr																		104 Rf																		At																	
105 Db																		106 Sg																		At																	
107 Bh																		108 Hs																		At																	
109 Mt																		110 Ds																		At																	
111 Rg																		112 Uub																		At																	
113 Uut																		114 Uuq																		At																	
115 Uup																		116 Uuh																		At																	
117 Uus																		118 Uuo																		At																	

Massas atômicas em parênteses são aquelas do isótopo mais estável ou comum.

Direitos autorais de design © 1997 Michael Dayah (michael@dayah.com) <http://www.dayah.com/periodic/>

Nota: Os números de subgrupo 1-18 foram adotados em 1984 pela International Union of Pure and Applied Chemistry (União Internacional de Química Pura e Aplicada). Os nomes dos elementos 112-118 são os equivalentes latinos desses números.

57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
Lantânio	Cério	Praseodímio	Neodímio	Promécio	Samário	Európio	Gadolínio	Térbio	Disprósio	Hólmio	Erbio	Túlio	Ítrio	Lúteo
138,9055	140,116	140,90765	144,24	(145)	150,36	151,964	157,25	158,92534	162,500	164,93032	167,259	168,93421	173,04	174,967
89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr
Actínio	Tório	Protactínio	Urânio	Netúnio	Plutônio	Americo	Cúrio	Berquélio	Califórnio	Einstaténio	Férmio	Mendelévio	Nobélio	Laurêncio
(227)	232,0381	231,03588	238,02891	(237)	(244)	(243)	(247)	(247)	(251)	(252)	(257)	(258)	(259)	(262)

# Princípio

# Tabela Periódica dos Elementos

1 1A 1 <b>H</b> Hidrogênio 1.00794	2 IIA 4 <b>Be</b> Berílio 9.012182	3 IIIB 21 <b>Sc</b> Escândio 44.955910	4 IVB 22 <b>Ti</b> Titânio 47.867	5 VB 23 <b>V</b> Vanádio 50.9415	6 VIB 24 <b>Cr</b> Cromo 51.9961	7 VIIB 25 <b>Mn</b> Manganês 54.938049	8 VIII 26 <b>Fe</b> Ferro 55.8457	9 VIII 27 <b>Co</b> Cobalto 58.933200	10 VIII 28 <b>Ni</b> Níquel 58.6934	11 IB 29 <b>Cu</b> Cobre 63.546	12 IIB 30 <b>Zn</b> Zinco 65.409	13 IIIA 5 <b>B</b> Boro 10.811	14 IVA 6 <b>C</b> Carbono 12.0107	15 VA 7 <b>N</b> Nitrogênio 14.00644	16 VIA 8 <b>O</b> Oxigênio 15.9994	17 VIIA 9 <b>F</b> Flúor 18.9984032	18 VIIIA 2 <b>He</b> Hélio 4.002602		
11 3 <b>Na</b> Sódio 22.989770	12 4 <b>Mg</b> Magnésio 24.3050	19 4 <b>K</b> Potássio 39.0983	20 4 <b>Ca</b> Cálcio 40.078	39 5 <b>Y</b> Ítrio 88.90585	40 5 <b>Zr</b> Zircônio 91.224	41 5 <b>Nb</b> Níbio 92.90638	42 5 <b>Mo</b> Molibdênio 95.94	43 5 <b>Tc</b> Tecnécio (98)	44 5 <b>Ru</b> Rutênio 101.07	45 5 <b>Rh</b> Ródio 102.90550	46 5 <b>Pd</b> Paládio 106.42	47 5 <b>Ag</b> Prata 107.8682	48 5 <b>Cd</b> Cádmio 112.411	49 5 <b>In</b> Índio 114.818	50 5 <b>Sn</b> Estanho 118.710	51 5 <b>Sb</b> Antimônio 121.760	52 5 <b>Te</b> Telúrio 127.60	53 5 <b>I</b> Iodo 126.90447	54 5 <b>Xe</b> Xenônio 131.293
55 6 <b>Cs</b> Césio 132.90545	56 6 <b>Ba</b> Bário 137.327	57 to 71	72 6 <b>Hf</b> Háfnio 178.49	73 6 <b>Ta</b> Tântalo 180.9479	74 6 <b>W</b> Tungstênio 183.84	75 6 <b>Re</b> Rênio 186.207	76 6 <b>Os</b> Ósmio 190.23	77 6 <b>Ir</b> Írídio 192.217	78 6 <b>Pt</b> Platina 195.078	79 6 <b>Au</b> Ouro 196.96655	80 6 <b>Hg</b> Mercúrio 200.59	81 6 <b>Tl</b> Tálio 204.3833	82 6 <b>Pb</b> Chumbo 207.2	83 6 <b>Bi</b> Bismuto 208.98038	84 6 <b>Po</b> Polônio (209)	85 6 <b>At</b> Astato (210)	86 6 <b>Rn</b> Radônio (222)	87 7 <b>Fr</b> Frâncio (223)	88 7 <b>Ra</b> Rádio (226)
87 7 <b>Fr</b> Frâncio (223)	88 7 <b>Ra</b> Rádio (226)	89 to 103	104 7 <b>Rf</b> Ruterfórdio (261)	105 7 <b>Db</b> Dúbnio (262)	106 7 <b>Sg</b> Seabórgio (266)	107 7 <b>Bh</b> Bório (264)	108 7 <b>Hs</b> Hássio (269)	109 7 <b>Mt</b> Meitnério (288)	110 7 <b>Ds</b> Darmstádio (271)	111 7 <b>Rg</b> Roentgenium (272)	112 7 <b>Uub</b> Ununbium (285)	113 7 <b>Uut</b> Ununtrium (284)	114 7 <b>Uuq</b> Ununquádmio (289)	115 7 <b>Uup</b> Ununpêntio (288)	116 7 <b>Uuh</b> Ununhexium (292)	117 7 <b>Uus</b> Ununseptium	118 7 <b>Uuo</b> Ununoctium		

Massas atômicas em parênteses são aquelas do isótopo mais estável ou comum.

Direitos autorais de design © 1997 Michael Dayah (michael@dayah.com) http://www.dayah.com/periodic/

Nota: Os números de subgrupo 1-18 foram adotados em 1984 pela International Union of Pure and Applied Chemistry (União Internacional de Química Pura e Aplicada). Os nomes dos elementos 112-118 são os equivalentes latinos desses números.

57 La Lantânio 138.9055	58 Ce Cério 140.116	59 Pr Praseodímio 140.90765	60 Nd Neodímio 144.24	61 Pm Promécio (145)	62 Sm Samário 150.36	63 Eu Európio 151.964	64 Gd Gadolínio 157.25	65 Tb Térbio 158.92534	66 Dy Dísprio 162.500	67 Ho Hólmio 164.93032	68 Er Érbio 167.259	69 Tm Túlio 168.93421	70 Yb Ítrio 173.04	71 Lu Lutécio 174.967
89 Ac Actínio (227)	90 Th Tório 232.0381	91 Pa Protactínio 231.03688	92 U Urânio 238.02891	93 Np Netúnio (237)	94 Pu Plutônio (244)	95 Am Americio (243)	96 Cm Cúrio (247)	97 Bk Berquélio (247)	98 Cf Califórnio (251)	99 Es Einsteinio (252)	100 Fm Férmio (257)	101 Md Mendelévio (258)	102 No Nobélio (259)	103 Lr Laurêncio (262)

# Princípio

## Tabela Periódica dos Elementos

1 1 H Hidrogênio 1,00794	2 He Hélio 4,002602											13 Al Alumínio 26,981538	14 Si Silício 28,0855	15 P Fósforo 30,973761	16 S Enxofre 32,066	17 Cl Cloro 35,453	18 Ar Argônio 39,948
3 Li Lítio 6,941	4 Be Berílio 9,012182	5 B Boro 10,811	6 C Carbono 12,01107	7 N Nitrogênio 14,00643	8 O Oxigênio 15,9994	9 F Fluor 18,9984032	10 Ne Neônio 20,1797	11 Na Sódio 22,989770	12 Mg Magnésio 24,3050	13 Al Alumínio 26,981538	14 Si Silício 28,0855	15 P Fósforo 30,973761	16 S Enxofre 32,066	17 Cl Cloro 35,453	18 Ar Argônio 39,948		
19 K Potássio 39,0983	20 Ca Cálcio 40,078	21 Sc Escândio 44,955910	22 Ti Titânio 47,867	23 V Vanádio 50,9415	24 Cr Cromo 51,9961	25 Mn Manganês 54,938049	26 Fe Ferro 55,8457	27 Co Cobalto 58,933200	28 Ni Níquel 58,6934	29 Cu Cobre 63,546	30 Zn Zinco 65,409	31 Ga Gálio 69,723	32 Ge Germânio 72,64	33 As Arsênio 74,92160	34 Se Selênio 78,96	35 Br Bromo 79,904	36 Kr Criptônio 83,798
37 Rb Rubídio 85,4678	38 Sr Estrôncio 87,62	39 Y Ítrio 88,90585	40 Zr Zircônio 91,224	41 Nb Níbio 92,90638	42 Mo Molibdênio 95,94	43 Tc Tecnécio (98)	44 Ru Rutênio 101,07	45 Rh Ródio 102,90550	46 Pd Paládio 106,42	47 Ag Prata 107,8682	48 Cd Cádmio 112,411	49 In Índio 114,818	50 Sn Estanho 118,710	51 Sb Antimônio 121,760	52 Te Telúrio 127,60	53 I Iodo 126,90447	54 Xe Xenônio 131,293
55 Cs Césio 132,90545	56 Ba Bário 137,327	57 to 71 Lantânios	72 Hf Háfnio 178,49	73 Ta Tântalo 180,9479	74 W Tungstênio 183,84	75 Re Rênio 186,207	76 Os Ósmio 190,23	77 Ir Írídio 192,217	78 Pt Platina 195,078	79 Au Ouro 196,96655	80 Hg Mercúrio 200,59	81 Tl Tálio 204,3833	82 Pb Chumbo 207,2	83 Bi Bismuto 208,98038	84 Po Polônio (209)	85 At Astato (210)	86 Rn Radônio (222)
87 Fr Frâncio (223)	88 Ra Rádio (226)	89 to 103 Atinídeos	104 Rf Ruterfórdio (261)	105 Db Dúbnio (262)	106 Sg Seabórgio (266)	107 Bh Bório (264)	108 Hs Hássio (269)	109 Mt Meitnério (288)	110 Ds Darmstádio (271)	111 Rg Roentgenium (272)	112 Uub Ununbium (285)	113 Uut Ununtrium (284)	114 Uuq Ununquádmio (289)	115 Uup Ununpêntio (288)	116 Uuh Ununhexio (292)	117 Uus Ununseptio (294)	118 Uuo Ununoctio (294)

Massas atômicas em parênteses são aquelas do isótopo mais estável ou comum.

Direitos autorais de design © 1997 Michael Dayah (michael@dayah.com) http://www.dayah.com/periodic/

Nota: Os números de subgrupo 1-18 foram adotados em 1984 pela International Union of Pure and Applied Chemistry (União Internacional de Química Pura e Aplicada). Os nomes dos elementos 112-118 são os equivalentes latinos desses números.

57 La Lantânio 138,9055	58 Ce Cério 140,116	59 Pr Praseodímio 140,90765	60 Nd Neodímio 144,24	61 Pm Promécio (145)	62 Sm Samário 150,36	63 Eu Európio 151,964	64 Gd Gadolínio 157,25	65 Tb Térbio 158,92534	66 Dy Dísprio 162,500	67 Ho Hólmio 164,93032	68 Er Érbio 167,259	69 Tm Túlio 168,93421	70 Yb Ítrio 173,04	71 Lu Lutécio 174,967
89 Ac Actínio (227)	90 Th Tório 232,0381	91 Pa Protactínio 231,03588	92 U Urânio 238,02891	93 Np Netúnio (237)	94 Pu Plutônio (244)	95 Am Americio (243)	96 Cm Cúrio (247)	97 Bk Berquélio (247)	98 Cf Califórnio (251)	99 Es Einsteinio (252)	100 Fm Férmio (257)	101 Md Mendelévio (258)	102 No Nobélio (259)	103 Lr Laurêncio (262)

# Princípio

## Tabela Periódica dos Elementos

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
IA	IIA	IIIB	IVB	VB	VIB	VII B	VIII B	VIII B	IB	IIB		IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIIIA
1 H Hidrogênio 1,00794	2 He Hélio 4,002602											5 B Boro 10,811	6 C Carbono 12,011	7 N Nitrogênio 14,007	8 O Oxigênio 15,999	9 F Fluor 18,9984032	10 Ne Neônio 20,1797
3 Li Lítio 6,941	4 Be Berílio 9,0122											13 Al Alumínio 26,981538	14 Si Silício 28,0855	15 P Fósforo 30,97376	16 S Enxofre 32,065	17 Cl Cloro 35,453	18 Ar Argônio 39,948
11 Na Sódio 22,989770	12 Mg Magnésio 24,304											31 Ga Gálio 69,723	32 Ge Germânio 72,64	33 As Arsênio 74,92160	34 Se Selênio 78,96	35 Br Bromo 79,904	36 Kr Criptônio 83,798
19 K Potássio 39,0983	20 Ca Cálcio 40,078	21 Sc Escândio 44,955910	22 Ti Titânio 47,867	23 V Vanádio 50,9415	24 Cr Cromo 51,9961	25 Mn Manganês 54,938049	26 Fe Ferro 55,8457	27 Co Cobalto 58,933200	28 Ni Níquel 58,6934	29 Cu Cobre 63,546	30 Zn Zinco 65,409	49 In Índio 114,818	50 Sn Estanho 118,710	51 Sb Antimônio 121,760	52 Te Telúrio 127,60	53 I Iodo 126,90447	54 Xe Xenônio 131,293
37 Rb Rubídio 85,4678	38 Sr Estrôncio 87,62	39 Y Ítrio 88,90585	40 Zr Zircônio 91,224	41 Nb Níbio 92,90638	42 Mo Molibdênio 95,94	43 Tc Tecnécio (98)	44 Ru Rutênio 101,07	45 Rh Ródio 102,90550	46 Pd Paládio 106,42	47 Ag Prata 107,8682	48 Cd Cádmio 112,411	81 Tl Tálio 204,3833	82 Pb Chumbo 207,2	83 Bi Bismuto 208,98038	84 Po Polônio (209)	85 At Astato (210)	86 Rn Radônio (222)
55 Cs Césio 132,90545	56 Ba Bário 137,327	57 to 71 Lantânios	72 Hf Háfnio 178,49	73 Ta Tântalo 180,9479	74 W Tungstênio 183,84	75 Re Rênio 186,207	76 Os Ósmio 190,23	77 Ir Írídio 192,217	78 Pt Platina 195,078	79 Au Ouro 196,96655	80 Hg Mercúrio 200,59	113 Uut Ununtrium (284)	114 Uuq Ununquádmio (289)	115 Uup Ununpêntio (288)	116 Uuh Ununhexium (282)	117 Uus Ununseptium	118 Uuo Ununoctium
87 Fr Frâncio (223)	88 Ra Rádio (226)	89 to 103 Atômios	104 Rf Ruterfórdio (261)	105 Db Dúbnio (262)	106 Sg Seabórgio (266)	107 Bh Bóhrnio (264)	108 Hs Hássio (269)	109 Mt Meitnério (288)	110 Ds Darmstádio (271)	111 Rg Roentgenium (272)	112 Uub Ununbium (285)						

Massas atômicas em parênteses são aquelas do isótopo mais estável ou comum.

Direitos autorais de design © 1997 Michael Dayah (michael@dayah.com) <http://www.dayah.com/periodic/>

Nota: Os números de subgrupo 1-18 foram adotados em 1984 pela International Union of Pure and Applied Chemistry (União Internacional de Química Pura e Aplicada). Os nomes dos elementos 112-118 são os equivalentes latinos desses números.

57 La Lantânio 138,9055	58 Ce Cério 140,116	59 Pr Praseodímio 140,90765	60 Nd Neodímio 144,24	61 Pm Promécio (145)	62 Sm Samário 150,36	63 Eu Európio 151,964	64 Gd Gadolínio 157,25	65 Tb Térbio 158,92534	66 Dy Dísprio 162,500	67 Ho Hólmio 164,93032	68 Er Érbio 167,259	69 Tm Túlio 168,93421	70 Yb Ítrio 173,04	71 Lu Lutécio 174,967
89 Ac Actínio (227)	90 Th Tório 232,0381	91 Pa Protactínio 231,03688	92 U Urânio 238,02891	93 Np Netúnio (237)	94 Pu Plutônio (244)	95 Am Americio (243)	96 Cm Cúrio (247)	97 Bk Berquélio (247)	98 Cf Califórnio (251)	99 Es Einsteinio (252)	100 Fm Férmio (257)	101 Md Mendelévio (258)	102 No Nobélio (259)	103 Lr Laurêncio (262)

# Princípio

## Tabela Periódica dos Elementos

1 1 H Hidrogênio 1.00794	2 He Hélio 4.002602											13 Al Alumínio 26.981538	14 Si Silício 28.0855	15 P Fósforo 30.973762	16 S Enxofre 32.06	17 Cl Cloro 35.453	18 Ar Argônio 39.948																												
3 Li Lítio 6.941	4 Be Berílio 9.012182											5 B Boro 10.811	6 C Carbono 12.0107	7 N Nitrogênio 14.0064	8 O Oxigênio 15.999	9 F Flúor 18.9984032	10 Ne Neônio 20.1797																												
11 Na Sódio 22.989770	12 Mg Magnésio 24.304											19 K Potássio 39.0983	20 Ca Cálcio 40.078											31 Ga Gálio 69.723	32 Ge Germânio 72.64	33 As Arsênio 74.92160	34 Se Selênio 78.96	35 Br Bromo 79.904	36 Kr Criptônio 83.798																
19 K Potássio 39.0983	20 Ca Cálcio 40.078											25 Mn Manganês 54.938045	26 Fe Ferro 55.845	27 Co Cobalto 58.933200	28 Ni Níquel 58.6934	29 Cu Cobre 63.546	30 Zn Zinco 65.38											37 Rb Rubídio 85.4678	38 Sr Estrôncio 87.62											49 In Índio 114.818	50 Sn Estanho 118.710	51 Sb Antimônio 121.760	52 Te Telúrio 127.60	53 I Iodo 126.90447	54 Xe Xenônio 131.293
37 Rb Rubídio 85.4678	38 Sr Estrôncio 87.62											41 Nb Níbio 92.90638	42 Mo Molibdênio 95.94	43 Tc Tecnécio (98)	44 Ru Rutênio 101.07	45 Rh Ródio 102.90550	46 Pd Paládio 106.42	47 Ag Prata 107.8682	48 Cd Cádmio 112.411	49 In Índio 114.818	50 Sn Estanho 118.710	51 Sb Antimônio 121.760	52 Te Telúrio 127.60	53 I Iodo 126.90447	54 Xe Xenônio 131.293																				
55 Cs Césio 132.90545	56 Ba Bário 137.327											71 Lu Lutécio 174.967	72 Hf Háfnio 178.49	73 Ta Tântalo 180.9479	74 W Tungstênio 183.84	75 Re Rênio 186.207	76 Os Ósmio 190.23	77 Ir Írídio 192.217	78 Pt Platina 195.078	79 Au Ouro 196.96655	80 Hg Mercúrio 200.59	81 Tl Tálio 204.3833	82 Pb Chumbo 207.2	83 Bi Bismuto 208.98038	84 Po Polônio (209)	85 At Astato (210)	86 Rn Radônio (222)																		
87 Fr Frâncio (223)	88 Ra Rádio (226)											104 Rf Ruterfórdio (261)	105 Db Dúbnio (262)	106 Sg Seabórgio (266)	107 Bh Bório (264)	108 Hs Hássio (269)	109 Mt Meitnério (288)	110 Ds Darmstádio (271)	111 Rg Roentgenium (272)	112 Uub Ununbium (285)	113 Uut Ununtrium (284)	114 Uuq Ununquádmio (289)	115 Uup Ununpêntio (288)	116 Uuh Ununhexio (282)	117 Uus Ununseptio (286)	118 Uuo Ununoctio (284)																			

Massas atômicas em parênteses são aquelas do isótopo mais estável ou comum.

Direitos autorais de design © 1997 Michael Dayah (michael@dayah.com) <http://www.dayah.com/periodic/>

Nota: Os números de subgrupo 1-18 foram adotados em 1984 pela International Union of Pure and Applied Chemistry (União Internacional de Química Pura e Aplicada). Os nomes dos elementos 112-118 são os equivalentes latinos desses números.

57 La Lantânio 138.9055	58 Ce Cério 140.116	59 Pr Praseodímio 140.90765	60 Nd Néodímio 144.24	61 Pm Promécio (145)	62 Sm Samário 150.36	63 Eu Európio 151.964	64 Gd Gadolínio 157.25	65 Tb Térbio 158.92534	66 Dy Dísprio 162.500	67 Ho Hólmio 164.93032	68 Er Érbio 167.259	69 Tm Túlio 168.93421	70 Yb Ítério 173.04	71 Lu Lutécio 174.967
89 Ac Actínio (227)	90 Th Tório 232.0381	91 Pa Protactínio 231.03688	92 U Urânio 238.02891	93 Np Netúnio (237)	94 Pu Plutônio (244)	95 Am Americo (243)	96 Cm Cúrio (247)	97 Bk Berquélio (247)	98 Cf Califórnio (251)	99 Es Einsteinio (252)	100 Fm Férmio (257)	101 Md Mendelévio (258)	102 No Nobélio (259)	103 Lr Laurêncio (262)

# Princípio



## Realidade tropical

- Solos pobres em nutrientes
- Muito intemperizados
- Ácidos e Al trocável elevado
- Baixa CTC

## Proposta da Rochagem

- Repor com minerais primários
- Diminuir a solubilidade dos fertilizantes convencionais

# Custo Brasil



~U\$ 10 bilhões/ano

# Alternativa Brasil



**Recurso**  
**~U\$ bilhões/ano**  
**Investido no Brasil**

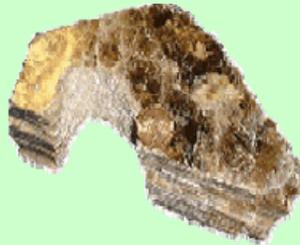
# Minerais de Potássio

## Solubilidade em água

Alta



Moderada



Baixa



Muito baixa



## Abundância relativa

Muito baixa

Baixa

Alta

Muito alta

# Minerais de Potássio

## Solubilidade em água

## Abundância relativa

Alta



Moderada



Baixa



Muito baixa



Muito baixa

Baixa

Alta

Muito alta

# Minerais de Potássio

## Solubilidade em água

## Abundância relativa

Alta



Muito baixa

Moderada



Baixa

Baixa



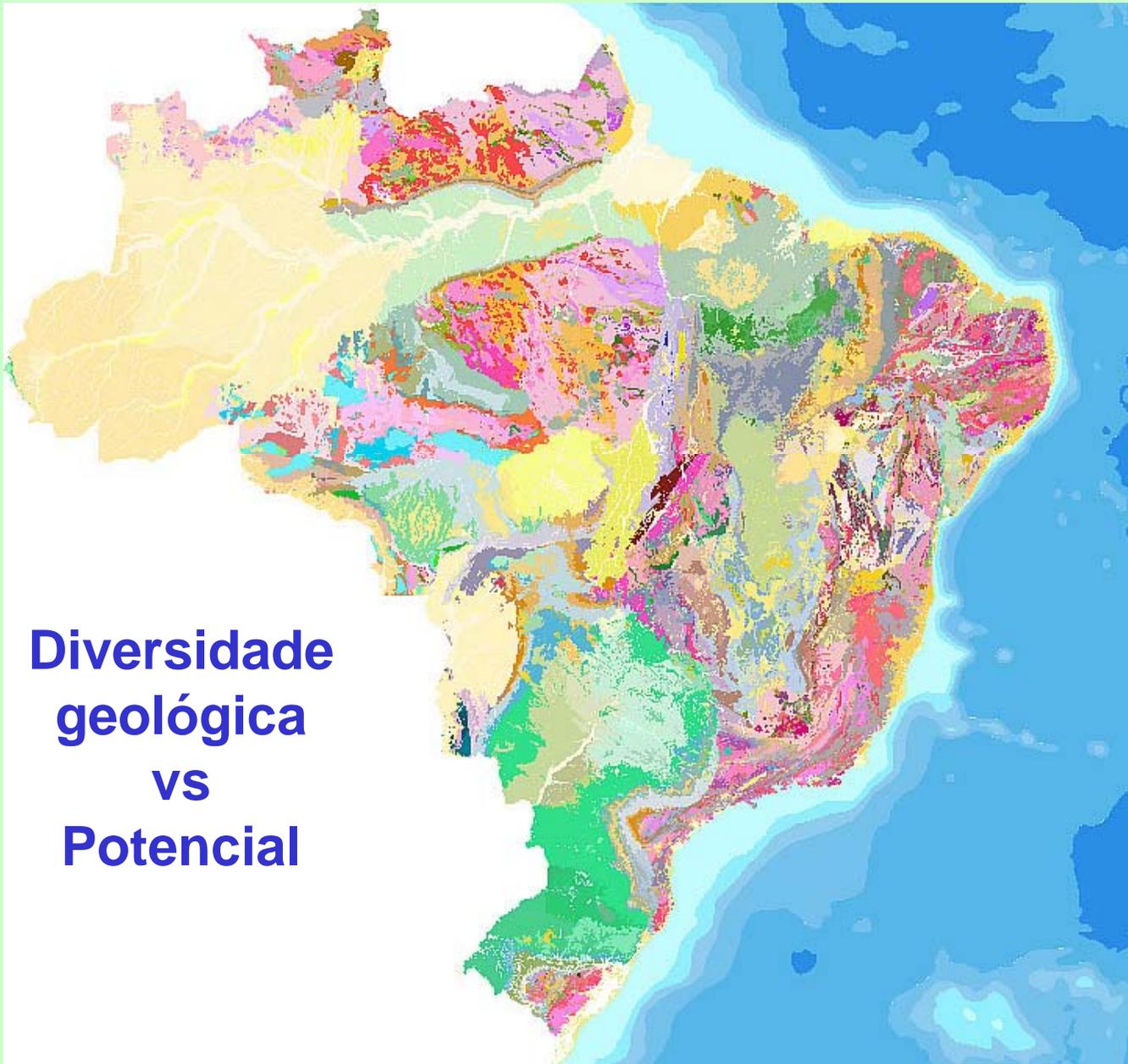
Alta

Muito baixa



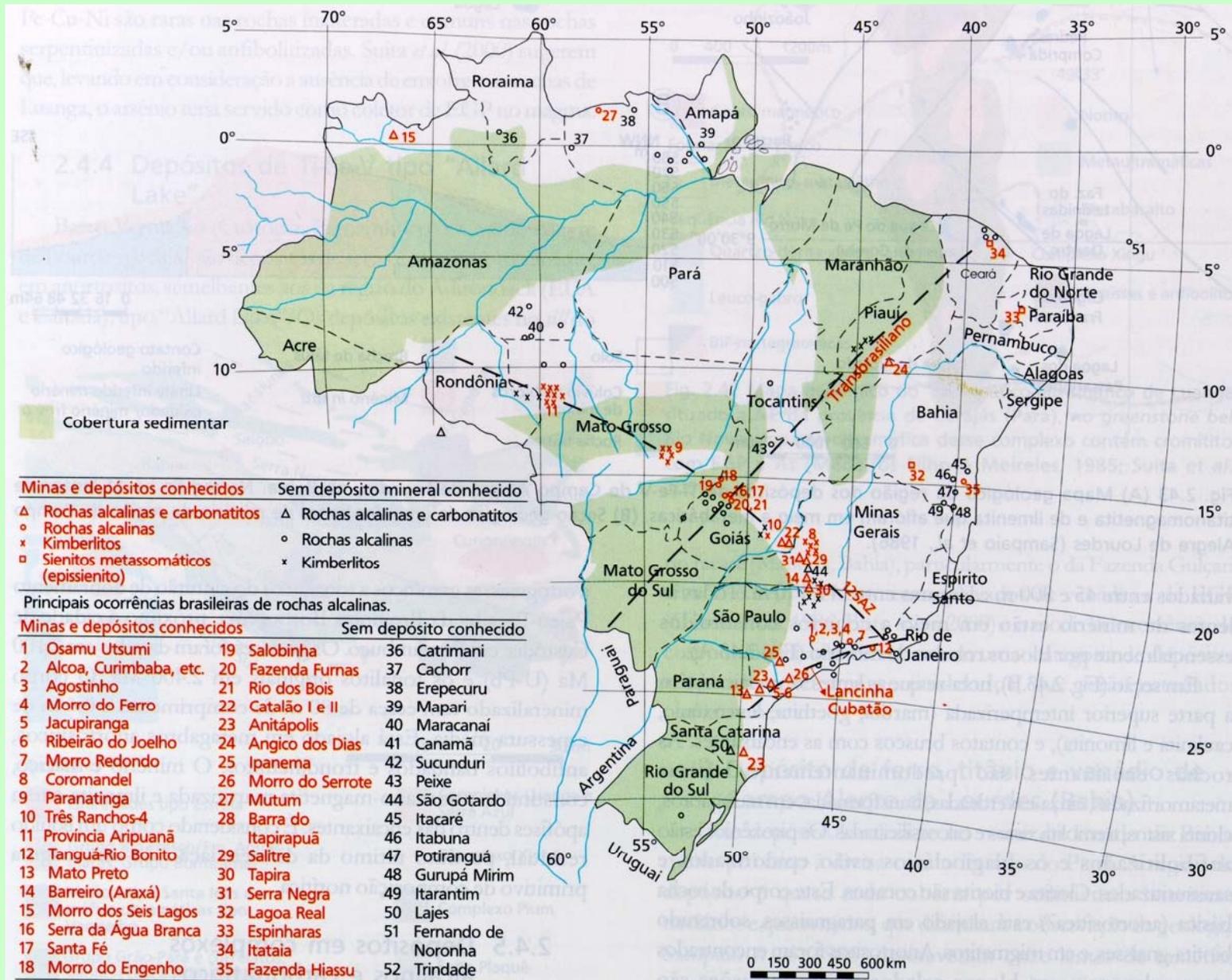
Muito alta

# Ocorrências de rochas potenciais no Brasil

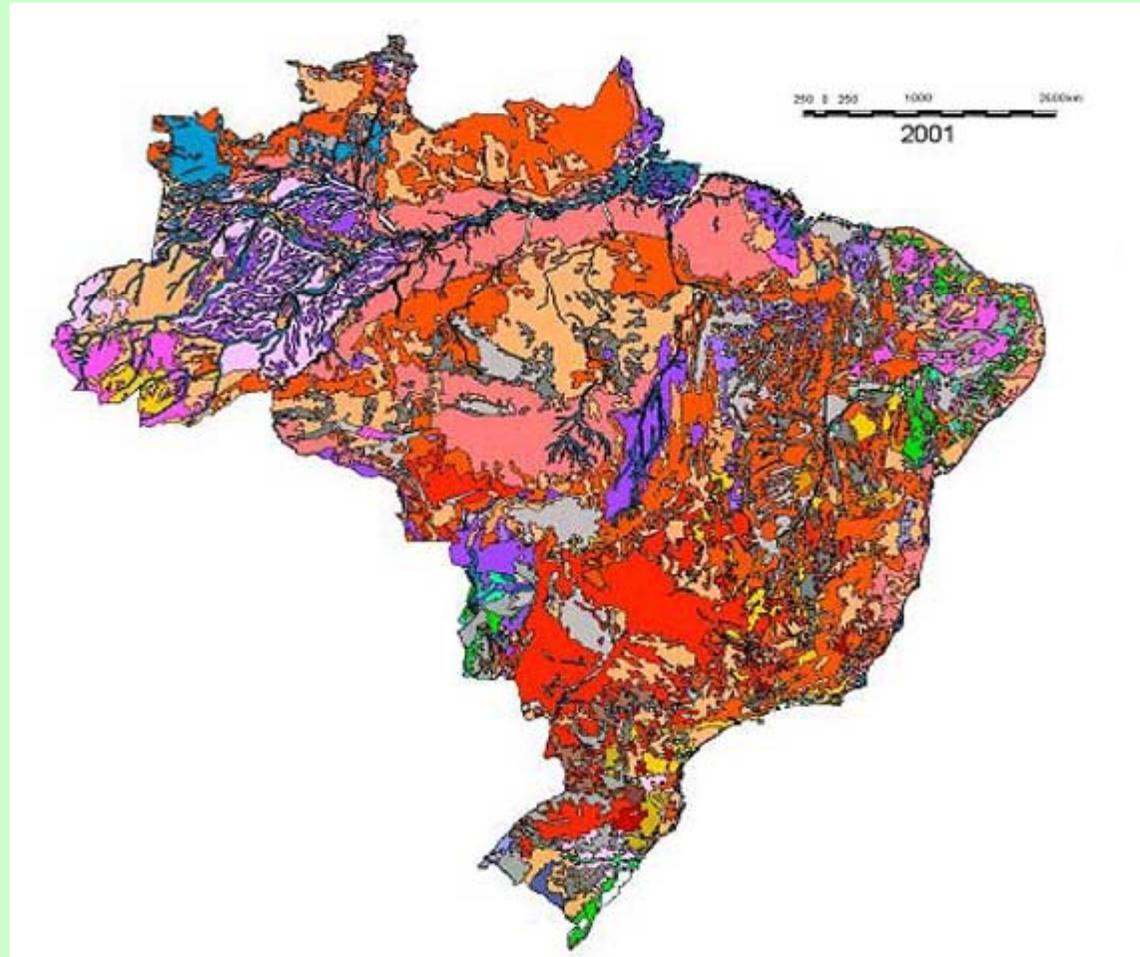


**Diversidade  
geológica  
vs  
Potencial**

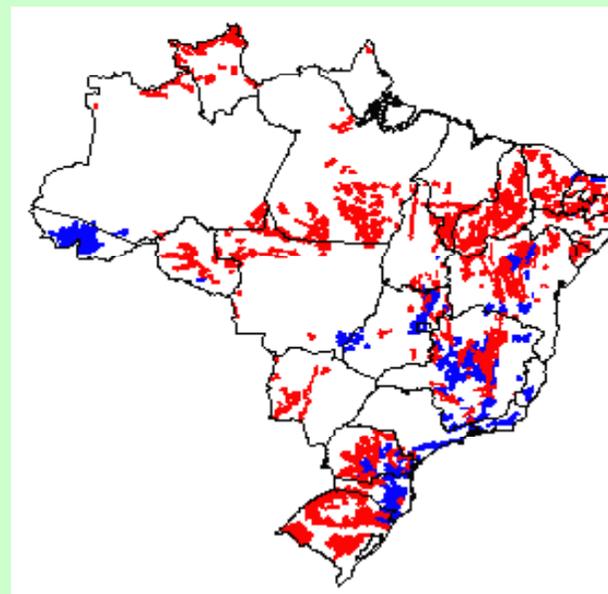
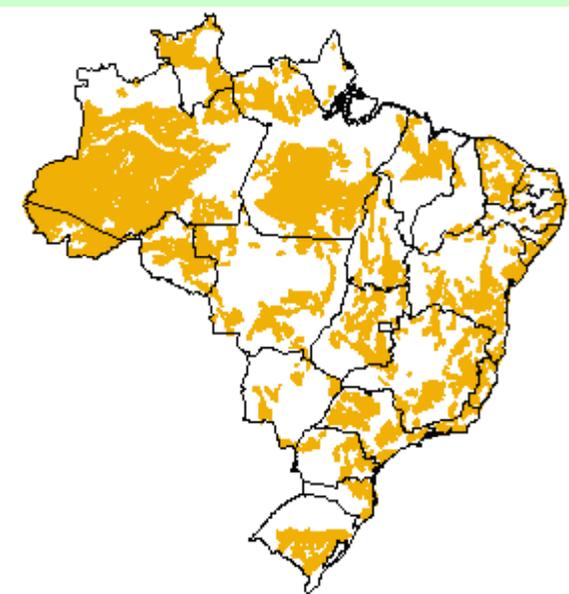
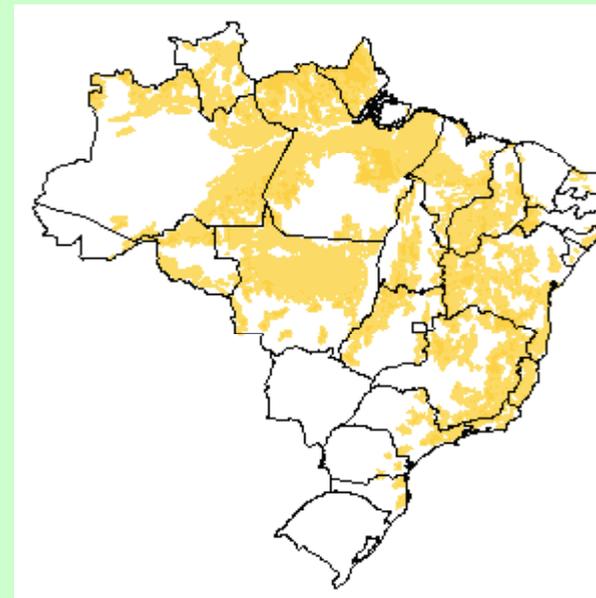
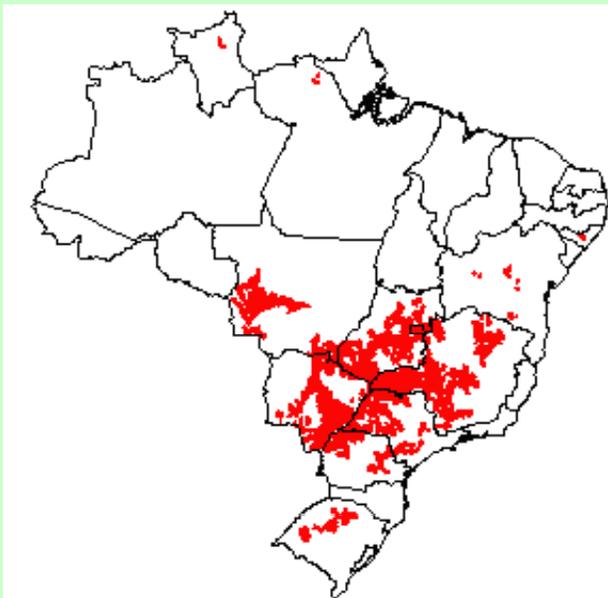
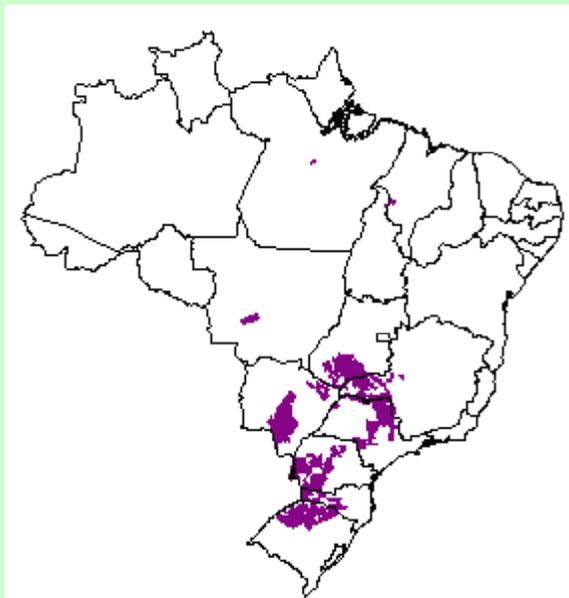
# Ocorrências de rochas potenciais no Brasil



# Regiões com aptidão agrícola no Brasil



# Regiões com aptidão agrícola no Brasil



# Histórico no Brasil

❑ Anos 70 : Estudos de rochas moídas

Prof. Othon H. Leonardos

❑ Anos 80 : Termo-fertilizantes

❑ Anos 90 : Projeto Carbonatito – Fonte multielementar e corretiva: Encomenda do CT Mineral

Prof. J.C. Gaspar

❑ 2003 : Encomenda Fundos Setoriais – Potássio, Primeira ação transversal do Governo

❑ 2005 : Início da Rede AgriRocha

- Embrapa

CPAC, CPATC, CNPAB, CNPAF, CNPGC, CNPGL, CNPMS, CNPT, CNPSO, CPATSA, CPAMN, CNPMF

- Universidades

UnB, UFBA, UFSCAR, UFT, UNITINS

- Centros de Pesquisa

CETEM, CPRM

- Parceiros

- Estaduais

GO, BA

- Fomento

CNPq, FINEP, Embrapa, FAP

# Rede AgriRocha Configuração Atual

**~100 participantes**



# Linhas de Pesquisa da Rede AgriRocha

## Estudos

### Geológico

Prospecção, análise geoquímica e mineralógica

### Tecnológico

Beneficiamento mineral (moagem), tratamentos microbiológicos

### Agrônômico

Experimentos em laboratório, casa de vegetação e campo

### Análise de Risco

Disponibilidade de metais pesados

### Econômico

# Estudos Geológicos

---



**Flogopita xisto**  
**Garimpo de esmeralda da**  
**região de Carnaíba, Ba**

**Flogopita Xisto**  
**Coleta de material para**  
**experimentos**





**Rejeito rico em biotita**  
**Mineração Maracá, Chapada**  
**GO**

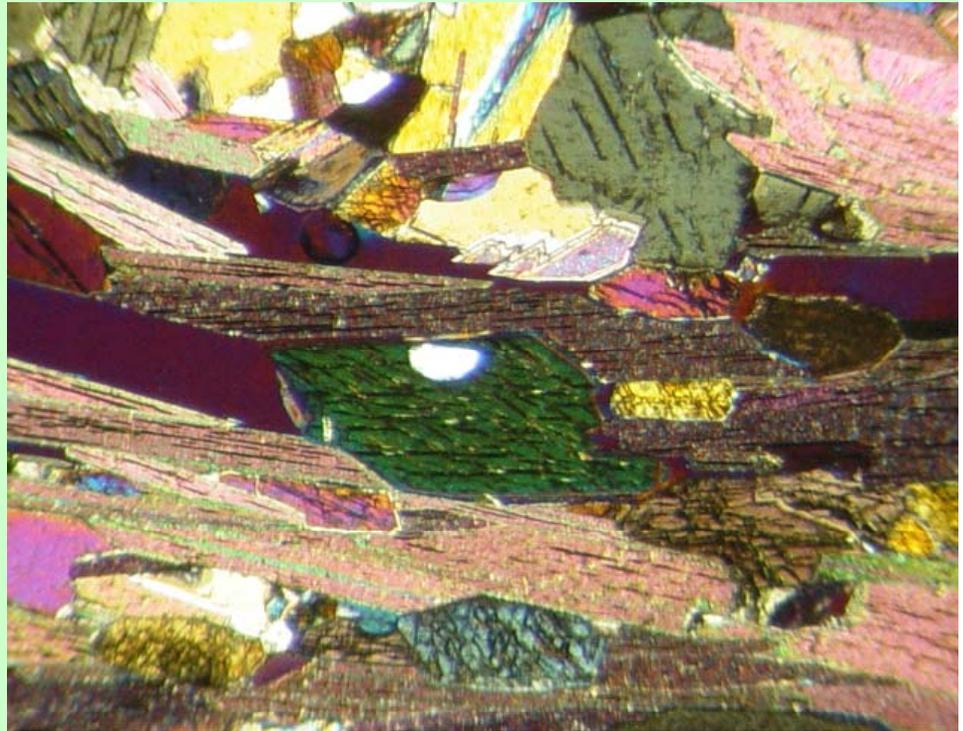
**Coleta de material para**  
**experimentos**

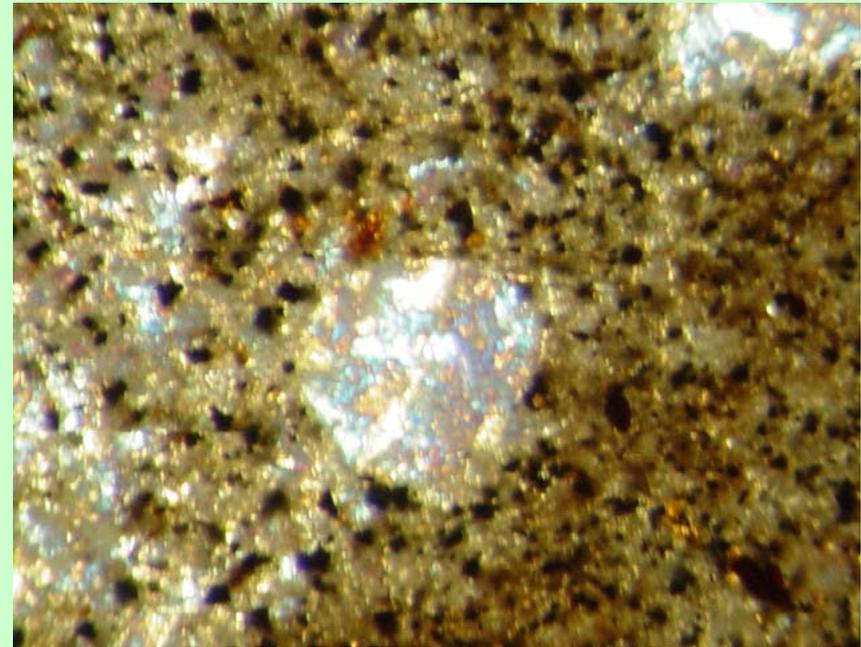




Biotita + Hornblenda

***Biotita xisto e Biotitito***  
**Procedência: Rejeito das**  
**minas de esmeralda da**  
**região de Itabira-Nova Era,**  
**Minas Gerais.**





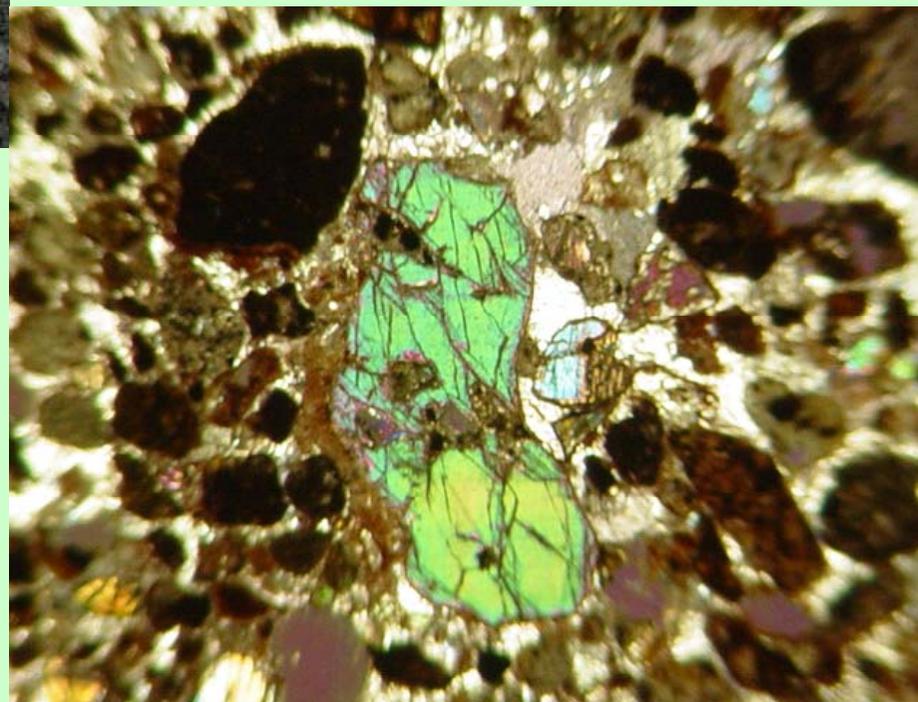
***Brecha Vulcânica Alcalina***

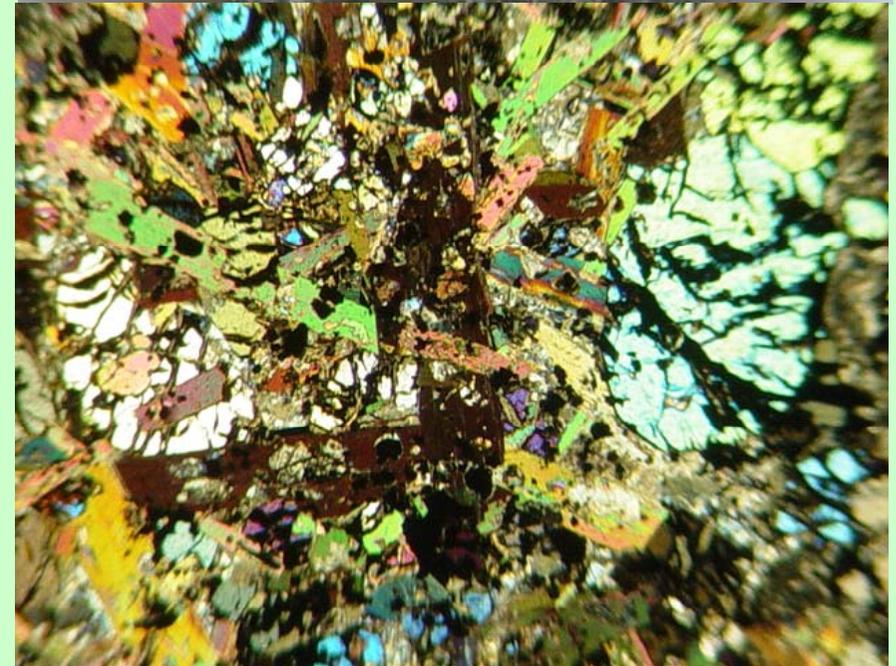
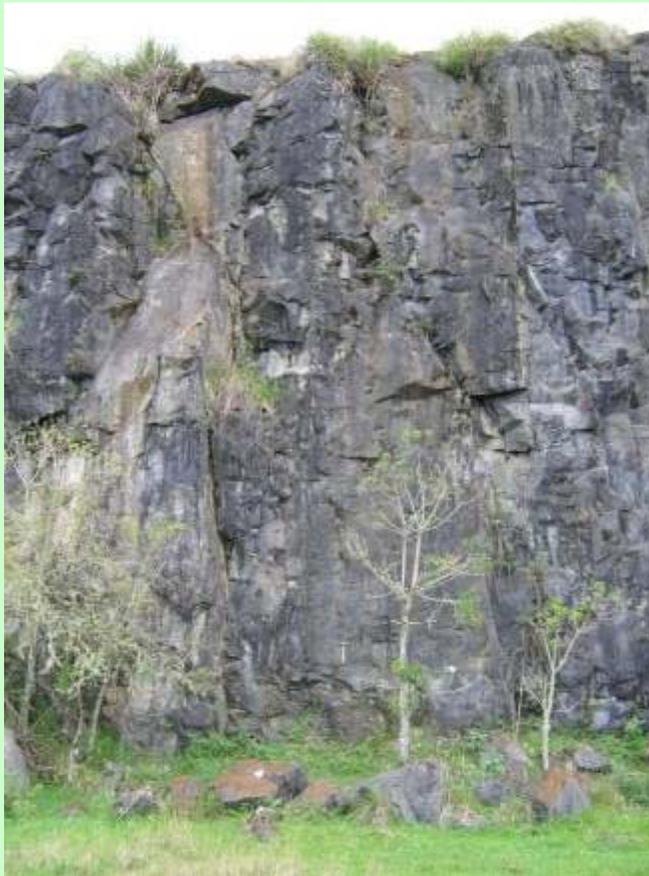
**Procedência: Província  
Alcalina Cretácea de Rio  
Verde -Santo Antônio da  
Barra, Goiás.**



## ***Arenito Epiclástico***

***Procedência: Sedimentos  
Cretáceos do Grupo  
Bauru, Santo Antônio da  
Barra-GO***





***Ultramáfica Alcalina***  
**Procedência: Distrito**  
**Alcalino Cretáceo de Lajes,**  
**SC**



*Fig. 4 A rock specimen from a Brazilian PCP complex of a phoscorite-carbonatite rock pair showing white streaks of calcite-carbonatite in phoscorite rock*

***Carbonatito e Foscorito***  
***Procedência: Complexo***  
***Carbonatítico Catalão I***  
***(Fosfértil), Goiás.***



# Estudos Tecnológicos

---

Amostra tal qual

Britador de Mandíbulas

APA= 25 mm  
APF= 16,6 mm

Britador de Mandíbulas

APA= 21 mm  
APF= 14 mm

Moinho de Martelos

P80 ~ 0,3 mm  
Grelha = 1,7 mm

Composição Granulométrica

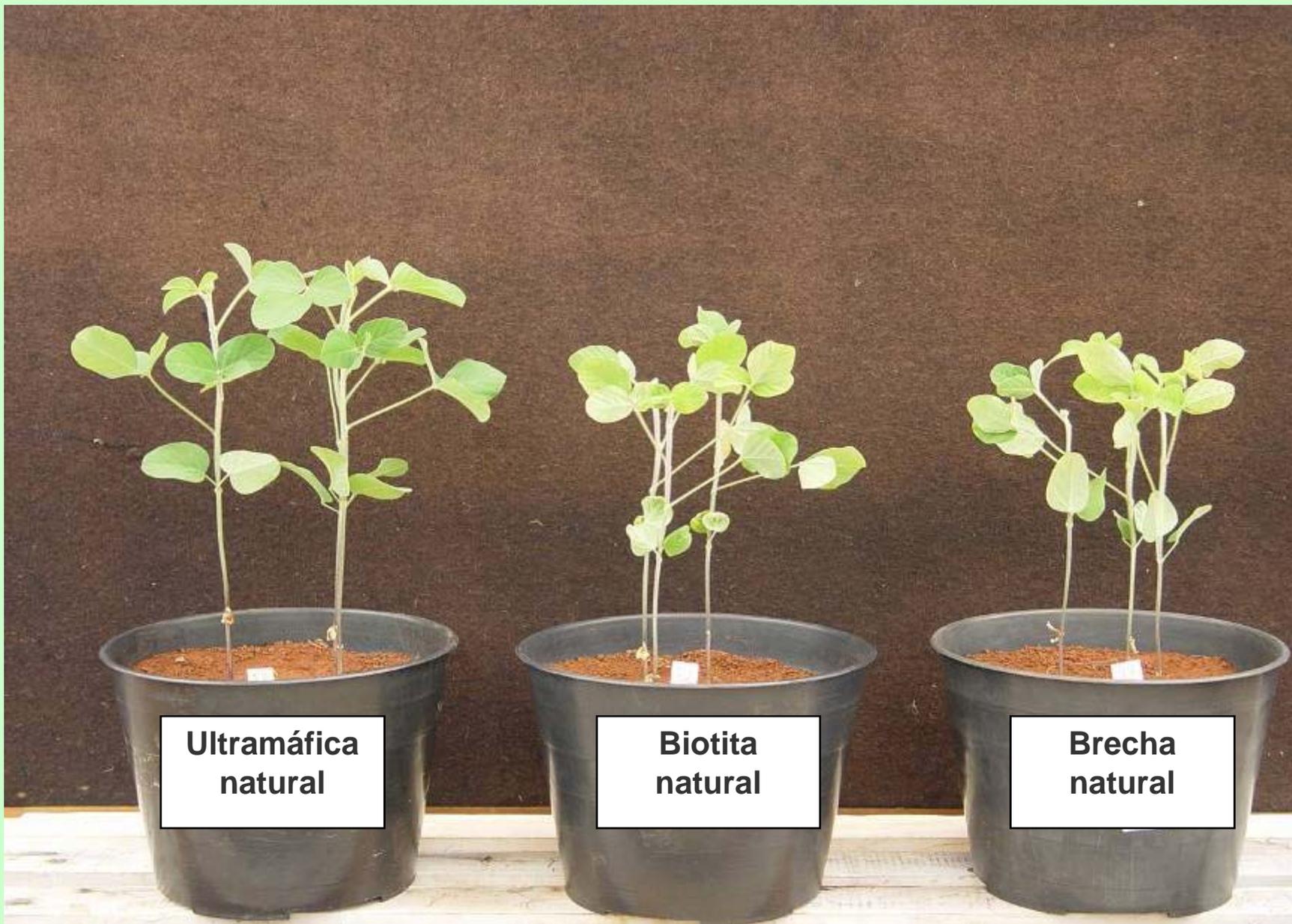
Moinho de Martelos p/ AKL

P80 ~ 3,8 mm  
Grelha = 5,1 mm

Composição Granulométrica

# Estudos Agronômicos

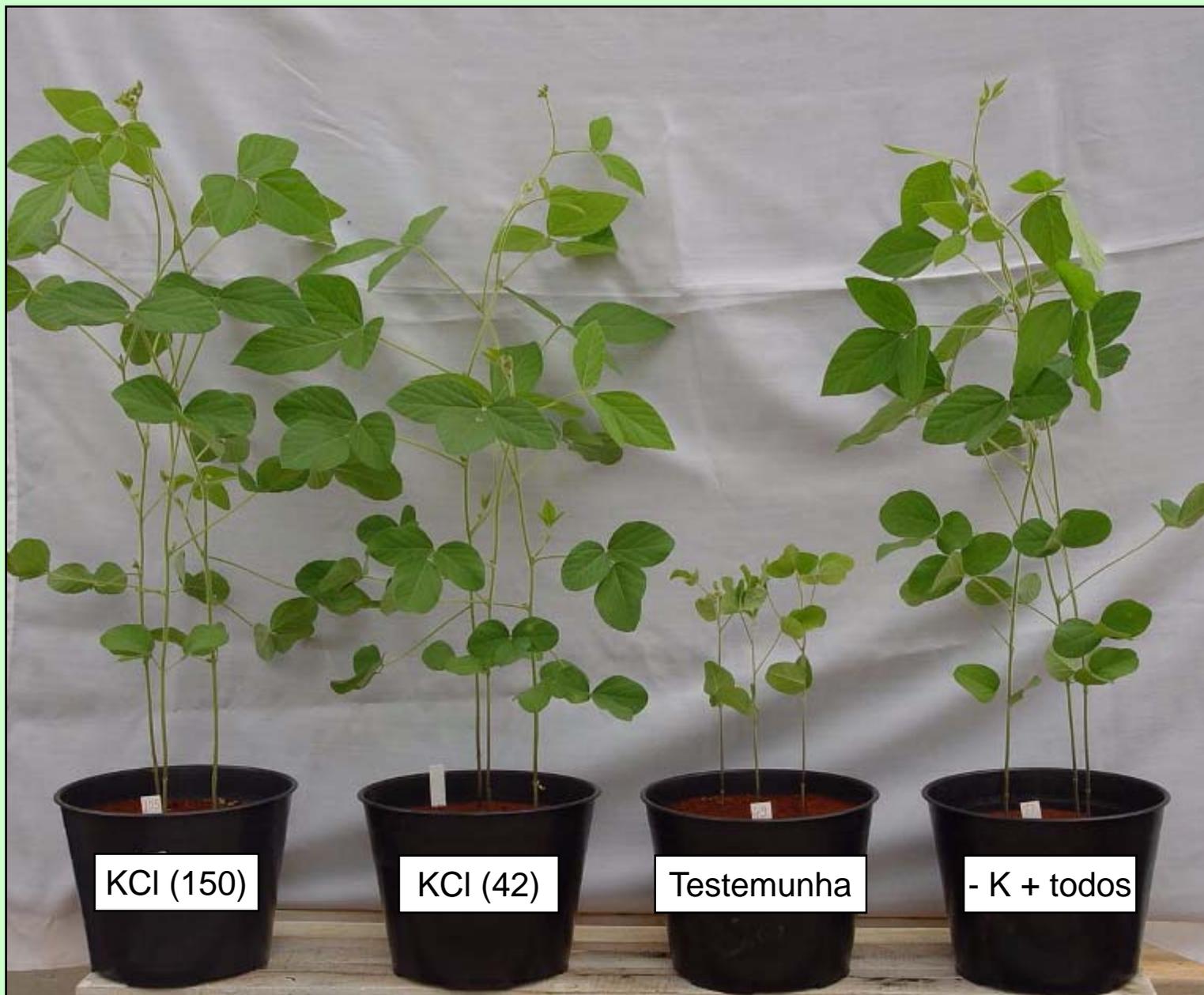
---



**Ultramáfica  
natural**

**Biotita  
natural**

**Brecha  
natural**



KCl (150)

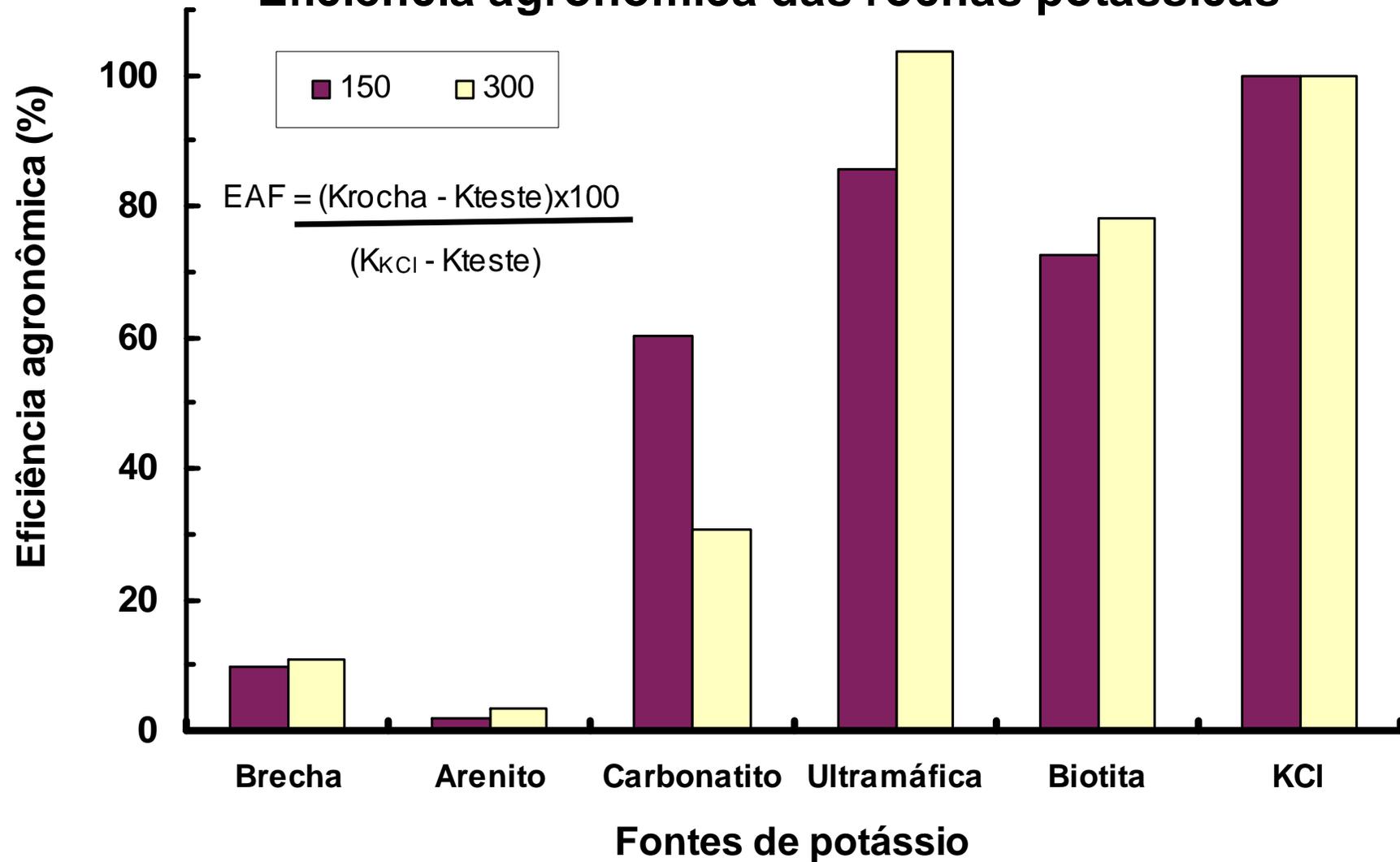
KCl (42)

Testemunha

- K + todos



## Eficiência agrônômica das rochas potássicas



# Análise de Risco

---

## Limite do Número de Aplicações

**Tabela 8 – Cálculos de número de aplicações necessárias de 20 toneladas por hectare para alcançar os valores de referência para solos brasileiros**

<b>Amostra</b>	<b>Co</b>	<b>Ni</b>	<b>Cu</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>	<b>Cd</b>
<b>Valor de referência<sup>1</sup></b>	8	17	25	20	30	0,8
<b>1% RT</b>	0,2	0,08	0,5	0,4	1	0,006
<b>Número de aplicações equivalente do solo</b>	40	212	50	50	30	133

<sup>1</sup> Valores de referência para solos brasileiros de Fadigas et al. (2006)

## Limite do Número de Aplicações

**Tabela 8 – Cálculos de número de aplicações necessárias de 20 toneladas por hectare para alcançar os valores de referência para solos brasileiros**

<b>Amostra</b>	<b>Co</b>	<b>Ni</b>	<b>Cu</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>	<b>Cd</b>
<b>Valor de referência<sup>1</sup></b>	8	17	25	20	30	0,8
<b>1% RT</b>	0,2	0,08	0,5	0,4	1	0,006
<b>Número de aplicações equivalente do solo</b>	40	212	50	50	30	133

<sup>1</sup> Valores de referência para solos brasileiros de Fadigas et al. (2006)

# Análise Econômica

---

# Custos dependentes de Logística

- **Distância da fonte**
- **Resultados iniciais mostram viabilidade entre 200 e 600 km**
- **Sistemas de produção orgânicos permitem maior deslocamento → valor agregado maior**

## Conclusões Preliminares – 2005 a 2009

- **O Brasil apresenta rochas silicáticas com minerais de potássio de solubilidade moderada com potencial como fonte de nutrientes**
- **A rocha deve ser moída com granulometria inferior a 2 mm (50% < 0,3 mm)**
- **A aplicação de rocha deve ser complementada com fontes solúveis no primeiro cultivo em sistemas convencionais**
- **As rochas estudadas não apresentaram riscos de contaminação de metais pesados**
- **A viabilidade logística fica entre 200 e 600 km da fonte, atrelada a variabilidade da cultura, do solo e do tipo de rocha**

# Demandas



- **Desenvolvimento de Ações Regionais**
- **Uso e integração de várias fontes regionais**
- **Uso de rejeitos e manejo de resíduos orgânicos**
- **Zoneamentos de demanda do solo**
- **Articulação com logística regional**
- **Desenvolvimento de normas (MME, MAPA, MS)**

Muito Grato!!!





# Composição Química das Amostras em Estudo

	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Pf	Total
Arenito Epiclástico (I)	40,40	3,06	7,84	13,70	7,38	24,42	1,90	0,43	0,87	100,00
Arenito Epiclástico (II)	30,38	3,15	5,95	13,86	7,02	28,80	0,93	0,35	9,66	100,10
Brecha Alcalina (I)	39,79	4,02	10,15	11,44	7,03	11,29	1,76	1,07	13,45	100,00
Brecha Alcalina (II)	43,21	3,98	10,83	11,77	7,54	12,50	1,98	0,86	7,23	99,90
Ultramáfica Alcalina (I)	36,34	2,01	7,76	11,28	16,78	15,45	2,78	2,40	5,20	100,00
Ultramáfica Alcalina (II)	36,25	3,28	7,01	16,45	18,37	14,34	2,60	1,87	1,00	101,17
Ultramáfica Alcalina (III)	35,04	2,00	7,67	11,07	17,11	14,80	2,90	2,23	7,13	99,95
Biotita-Xisto/Biotitito (I)	48,61	0,32	9,42	10,12	17,17	4,27	3,76	0,75	5,58	100,00
Biotita-Xisto/Biotitito (II)	54,90	0,35	10,16	10,50	18,16	5,63	5,22	0,88	1,00	106,80
Biotita-Xisto/Biotitito (III)	54,70	0,28	8,73	10,06	17,52	6,02	3,92	0,84	0,90	102,97
Biotita-Xisto/Biotitito (IV)	50,20	0,30	9,73	10,80	17,92	4,17	5,22	0,79	0,87	100,00

# Exemplo de Experimento de Avaliação Agronômica

## Unidades experimentais:

Solo argiloso: vasos com 2,9 kg de solo, 2 plantas de milho.

Solo text. média: vasos com 3,4 kg de solo, 2 plantas de soja/15 de milheto

Delineamento experimental: inteiramente casualizado, com 4 repetições.

Avaliações: - Corte da parte aérea do milho aos 36 dias após o plantio, colheita da soja aos 127 DAP e corte do milheto aos 40 DAP.

- Determinação da matéria seca e dos teores de nutrientes.
- Cálculo do acúmulo de nutrientes.
- Eficiência relativa (ER) das fontes:

$$ER = \frac{(\text{Absorção K tratamento rocha na dose X}) * 100}{(\text{Absorção K tratamento KCl na dose X})}$$

- Análises de solo.
- Estudo de extratores para K no solo: Mehlich 1; Acetato de Amônio; Bray 1; e Resina de Troca Iônica

# Resultados

Matéria seca (MS) e teores e acúmulo de k na parte aérea da soja e do milho (2 cortes).

Tratamento	MS	MS	Teor K	Teor K	Acúmulo K	Acúmulo	Acúmulo
	soja	milheto	soja	milheto	soja	K milheto	total de K
	.....g vaso <sup>-1</sup> .....	.....g vaso <sup>-1</sup> .....	.....g kg <sup>-1</sup> .....	.....g kg <sup>-1</sup> .....	.....mg vaso <sup>-1</sup> .....	.....mg vaso <sup>-1</sup> .....	.....mg vaso <sup>-1</sup> .....
Testemunha	1,0c	0,3g	10,1b	9,5a	10d	3e	13e
-K +todos	10,9a	3,8e	5,9c	2,8b	64c	12d	76d
KCl (150)	11,3a	11,5a	18,9a	3,4b	206a	71a	278a
KCl (42)	11,8a	5,4d	12,0b	3,3b	140b	19c	159b
BN –todos	1,2c	0,3g	9,3b	5,3b	11d	2e	13e
BF –todos	1,3c	0,4g	8,5c	10,8a	10d	4e	15e
UN –todos	1,9b	0,8g	9,5b	8,7a	18d	7e	25e
UF –todos	2,3b	1,8f	11,2b	8,6a	25d	14d	39e
BiN –todos	1,1c	0,2g	8,9b	7,0a	10d	2e	11e
BiF –todos	0,9c	0,2g	8,3c	8,2a	7d	2e	9e
BN +todos	10,8a	5,7d	7,1c	3,6b	77c	20c	97d
BF +todos	10,4a	7,3c	7,0c	3,3b	72c	24c	96d
UN +todos	10,9a	8,8b	7,0c	3,9b	76c	35b	111d
UF +todos	11,5a	8,6b	8,4c	3,4b	97c	35b	132c
BiN +todos	10,7a	5,5d	6,4c	3,7b	67c	19c	86d
BiF +todos	10,9a	5,4d	7,5c	3,6b	83c	20c	103d

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

# Resultados

## Eficiência de fornecimento de K (considerando o acúmulo na parte aérea da soja + milho).

Tratamento	Eficiência de aproveitamento (do que foi aplicado) <sup>1</sup>	Eficiência relativa simples <sup>2</sup>	Eficiência relativa descontada a contribuição do solo <sup>3</sup>
	.....%		
KCI (42)	75	100	100
KCI (150)	51	175	243
BN + todos	19	61	25
BF + todos	18	60	24
UN + todos	32	70	42
UF + todos	51	83	67
BiN + todos	9	54	12
BiF + todos	24	65	33

<sup>1</sup> Efic = [(K acumulado no tratamento – K suprido pelo solo) \* 100] / K aplicado

<sup>2</sup> Efic = (K acumulado no tratamento \* 100) / K acumulado no tratamento

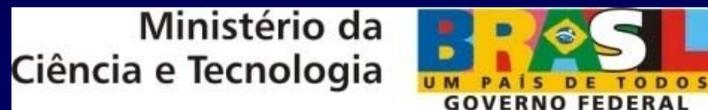
<sup>3</sup> Efic = [(K acumulado no tratamento – K suprido solo) \* 100] / (K acumulado no tratamento KCI42 – K suprido solo)

# AÇÃO DE MICRO-ORGANISMOS NA SOLUBILIZAÇÃO DE AGROMINERAIS

Diego V.C. Cara

Biólogo, M.Sc. EQ/UFRJ

Bolsista PCI-CETEM / MCT



Orientadores:

Andréa C. L. Rizzo

Eng. Química, D.Sc. CETEM

Claudia Duarte da Cunha

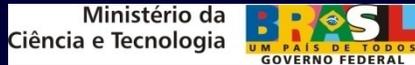
Eng. Química, D.Sc. CETEM

# ESTUDO PROSPECTIVO SOBRE O USO DE PROCESSOS BIOTECNOLÓGICOS PARA A BIOSSOLUBILIZAÇÃO DE AGRO-MINERAIS

(CTAGRO- Edital MCT/CNPq/CT –No 43/2008)



# Parcerias



CPMA → Serviço de Processos Mínero-Metalúrgicos e Biotecnológicos (SPMB)  
COPM → Serviço de Desenvolvimento de Novos Produtos Mineraiis (SDPM)



Laboratórios de Microbiologia Industrial I e II da EQ/UFRJ



Laboratório de Bioprocessos da Embrapa Agroindústria Tropical (CNPAT, CE)

**CONSULTOR INTERNACIONAL:**

PhD Peter van Straaten, Universidade de Guelph (CA)

# Equipe

---

---



Andréa C. L. Rizzo , Eng. Química, D.Sc.  
Claudia Duarte da Cunha, Eng. Química, D.Sc.  
Ronaldo L. C. Santos, Eng. Químico, M.Sc.  
Luis G. S. Sobral, Eng. Químico, PhD  
Sílvia França, Eng. Química, D.Sc.  
Débora Monteiro de Oliveira, Bióloga, M.Sc  
Diego Valentim Crescente Cara, Biólogo, M.Sc.  
Grace Maria de Britto, Téc. Química, Tecnólogo em Controle Ambiental  
Ary Caldas Pinheiro, Químico Industrial  
Adriana Soeiro, Química, M.Sc.  
Francisco Lapido-Loureiro, Geólogo, D.Sc.



Gustavo Adolfo Saavedra Pinto, Químico, D.Sc.



Prof. Selma Gomes Ferreira Leite, Eng. Química, D.Sc.  
Prof. Eliana Flávia Camporese Sérvulo, Eng. Química, D.Sc.

# Introdução

Tendência Atual:

Maximizar a liberação de K das rochas silicáticas por processos de biossolubilização

ROCHAGEM → Solubilização *in-situ* → processo lento



incompatível com a  
dinâmica dos  
sistemas de  
produção agrícola

Continuação

ROCHAGEM → processo lento → Depende do intemperismo natural no solo

Intemperismo → Físico  
Intemperismo → Químico  
Intemperismo → Biológico

Continuação

---

---

Intemperismo → Biológico

↓  
Duas ações  
principais:

↙  
Físico

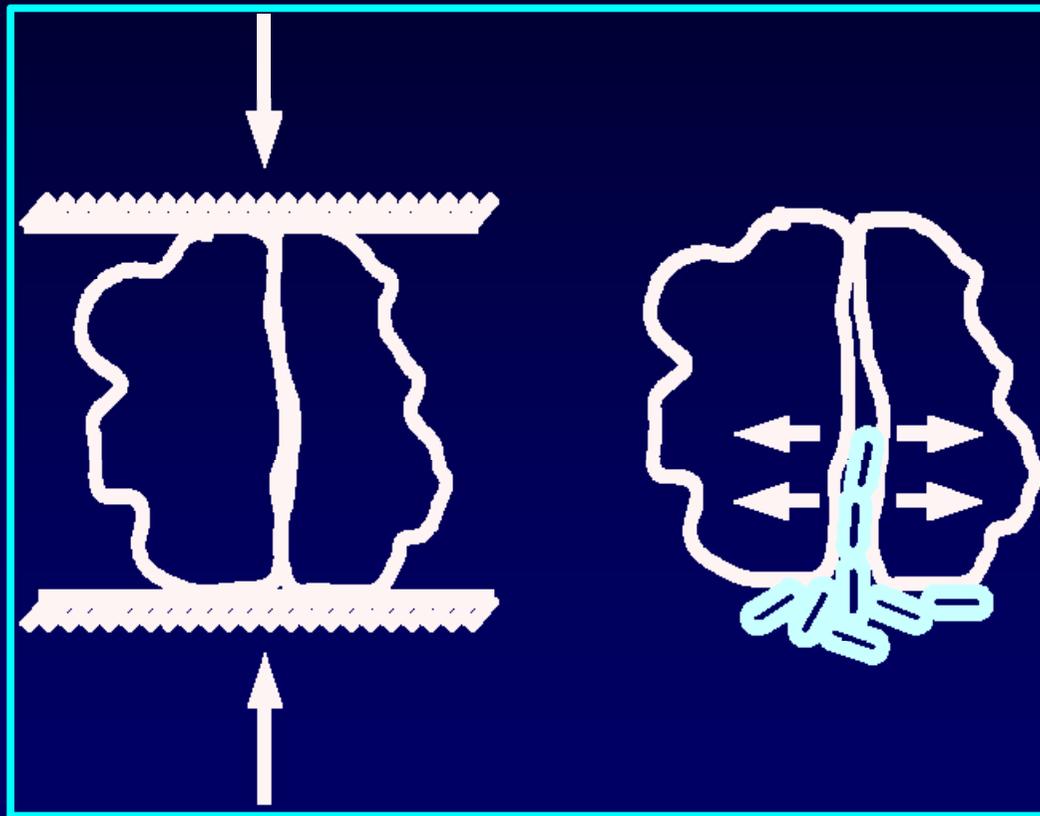
↘  
Químico

# Intemperismo biológico: Ação Física

---

---

Cominuição – ação física externa sobre a partícula mineral



Crescimento de micro-organismos unicelulares e filamentosos – ação física interna na partícula mineral (Adamo *et al.*, 1993)

# Intemperismo biológico: Ação Química

---

---

- Produtos e subprodutos do metabolismo
  - Ácidos orgânicos, ex:
    - Cítrico
    - Málico
    - Oxálico
  - Ácidos inorgânicos, ex:
    - Sulfúrico (Metabolismo do S)
    - Nítrico (Metabolismo do N)
    - Carbônico (Metabolismo do C)
  - Agentes oxidantes, ex:
    - Fe(III)
  - Enzimas

# Biotecnologia

---

---

- Surge como alternativa tecnológica
- Apresenta menor custo quando comparado aos tratamentos físico-químicos empregados

## Desafios:

- Rendimento ainda baixo
- Ampliação de escala
- Mecanismos ainda não são claros

# Objetivo

---

---

Realizar estudo prospectivo sobre o desenvolvimento de processos biotecnológicos a serem aplicadas na biossolubilização de agro-minerais brasileiros, visando posterior aplicação como fontes alternativas de fertilizantes tanto para a produção de alimentos quanto para a produção de bioenergia.

# Metodologia

---

---

- Isolamento de micro-organismos capazes de biossolubilizar K a partir de agro-minerais (Rochagem).
- Condução dos experimentos de biossolubilização.
- Aplicação de “produtos” em plantas cultivadas em estufas, avaliando seus efeitos.

# OBRIGADO

---

---



# CETEM - CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL



**CETEM**  
CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL

Ministério da  
Ciência e Tecnologia





# **Avaliação de um minério de amazonita como fonte alternativa de potássio**

**Luiz Carlos Bertolino, Sílvia C. Alves França, Adão Benvindo da Luz, João Alves Sampaio e Rachel D. dos Santos**



E-mail: [lcbertolino@cetem.gov.br](mailto:lcbertolino@cetem.gov.br)



# Linha de Pesquisa: Agrominerais

PROJETO: ESTUDO PROSPECTIVO RELATIVO AOS  
AGROMINERAIS E SEUS USOS NA PRODUÇÃO DE  
BIOCOMBUSTÍVEIS LÍQUIDOS COM VISÃO DE LONGO  
PRAZO (2035)



# Objetivos

- Determinar os constituintes mineralógicos e o grau de liberação do mineral amazonita em amostras de granito provenientes do estado da Bahia.
- Avaliar o uso desta rocha granítica como fonte alternativa de potássio para uso na agricultura.
- Produzir um concentrado de amazonita para utilização na produção de termofosfato.

- 
- Os feldspatos potássicos ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ) agrupam-se em 3 polimorfos estáveis a temperaturas diferentes: sanidina (monoclínico; alta temperatura – rochas ígneas, fases magmáticas); ortoclásio (monoclínico; temperatura intermediária – rochas ígneas intrusivas); microclínio (triclínico; baixa temperatura – granitos e pegmatitos). Na estrutura da sanidina,  $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ,  $\text{Si}^{4+}$  e  $\text{Al}^{3+}$  ocupam as posições tetraédricas de forma aleatória (Nascimento e Loureiro, 2009).

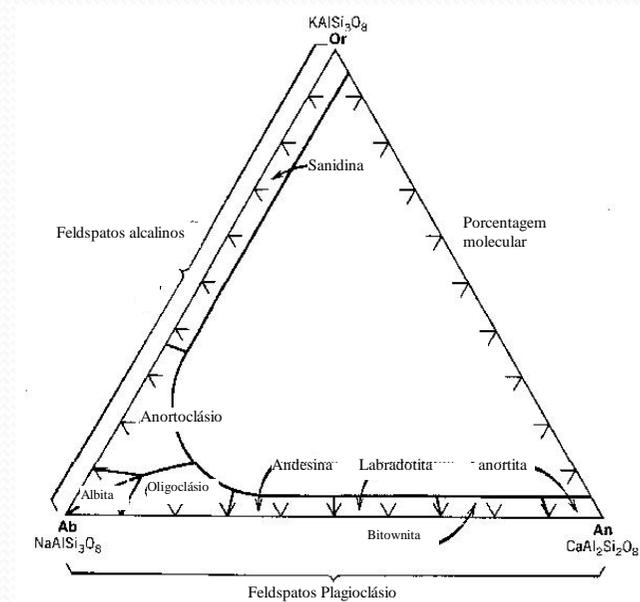
# Feldspatos

- Plagioclásios

- Albita ( $\text{Na}_{1-0,9}, \text{Ca}_{0-0,1}$ )Al( $\text{Al}_{0-0,1}, \text{Si}_{1-0,9}$ )Si<sub>2</sub>O<sub>8</sub>
- Oligoclásio (Ca,Na)Al (Al,Si)Si<sub>2</sub>O<sub>8</sub>
- Andesina ( $\text{Na}_{0,7-0,5}, \text{Ca}_{0,3-0,5}$ )Al( $\text{Al}_{0,3-0,5}, \text{Si}_{0,7-0,5}$ )Si<sub>2</sub>O<sub>8</sub>
- Labradorita ( $\text{Na}_{0,5-0,3}, \text{Ca}_{0,5-0,7}$ )Al( $\text{Al}_{0,5-0,7}, \text{Si}_{0,5-0,3}$ )Si<sub>2</sub>O<sub>8</sub>
- Bytownita ( $\text{Na}_{0,3-0,1}, \text{Ca}_{0,7-0,9}$ )Al( $\text{Al}_{0,7-0,9}, \text{Si}_{0,3-0,1}$ )Si<sub>2</sub>O<sub>8</sub>
- Anortita ( $\text{Na}_{0,1-0}, \text{Ca}_{0,9-1}$ )Al( $\text{Al}_{0,9-1}, \text{Si}_{0,1-0}$ )Si<sub>2</sub>O<sub>8</sub>

- K – Feldspatos

- Sanidina (KAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>)
- Microclínio (KAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>)
- Adulária (KAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>)
- Ortoclásio (KAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>)



# Materiais e Métodos

No Cetem a amostra passou pelas etapas:

- cominuição,
- homogeneização;
- classificação granulométrica,
- caracterização mineralógica e
- ensaios de extração de K em água e  $\text{HNO}_3$  0,01 mol/L.

# Caracterização Mineralógica

- Microscópio Petrográfico
- Lupa Binocular
- Difractometria de Raios X - DRX
- Microscópio Eletrônico de Varredura – MEV
- Análises Químicas - FRX



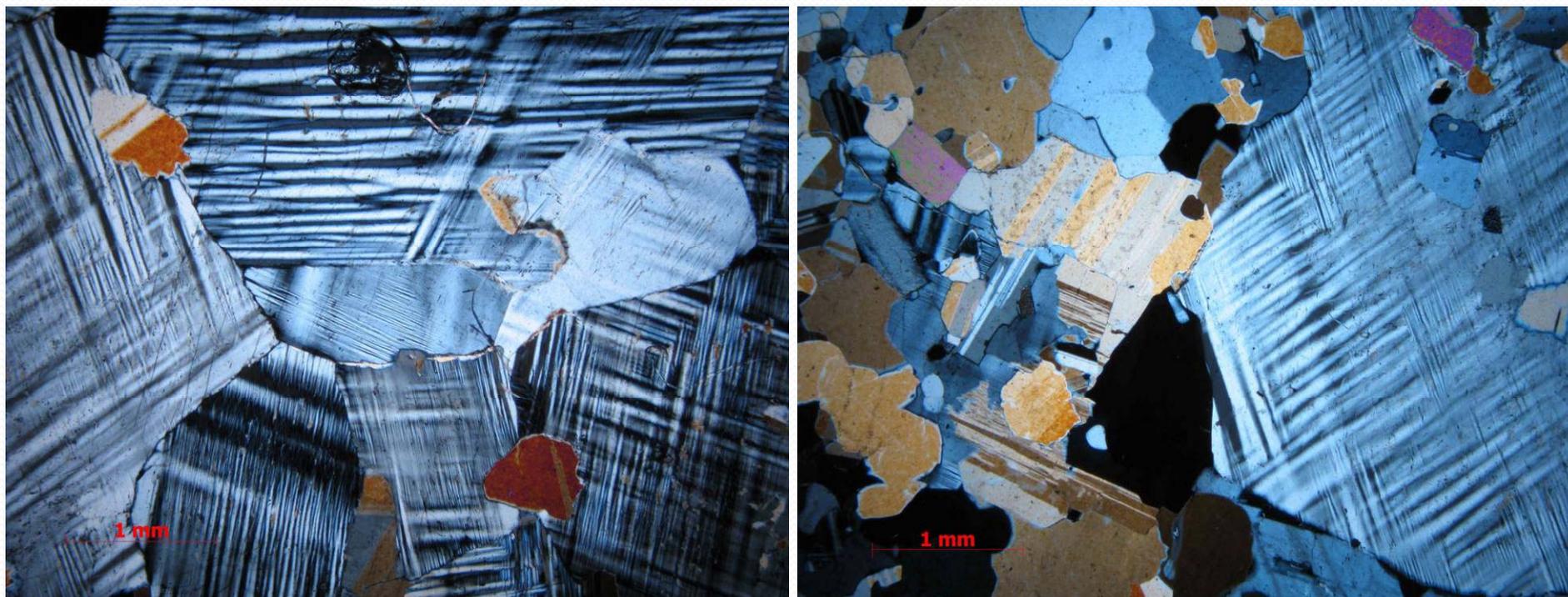
Granito rico em amazonita



# Petrografia

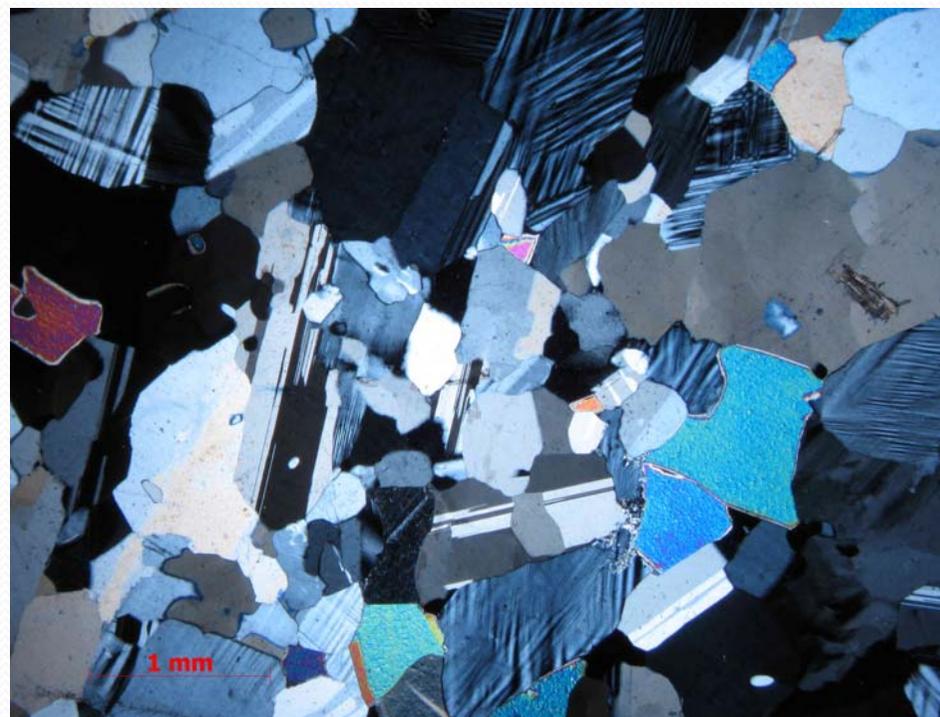
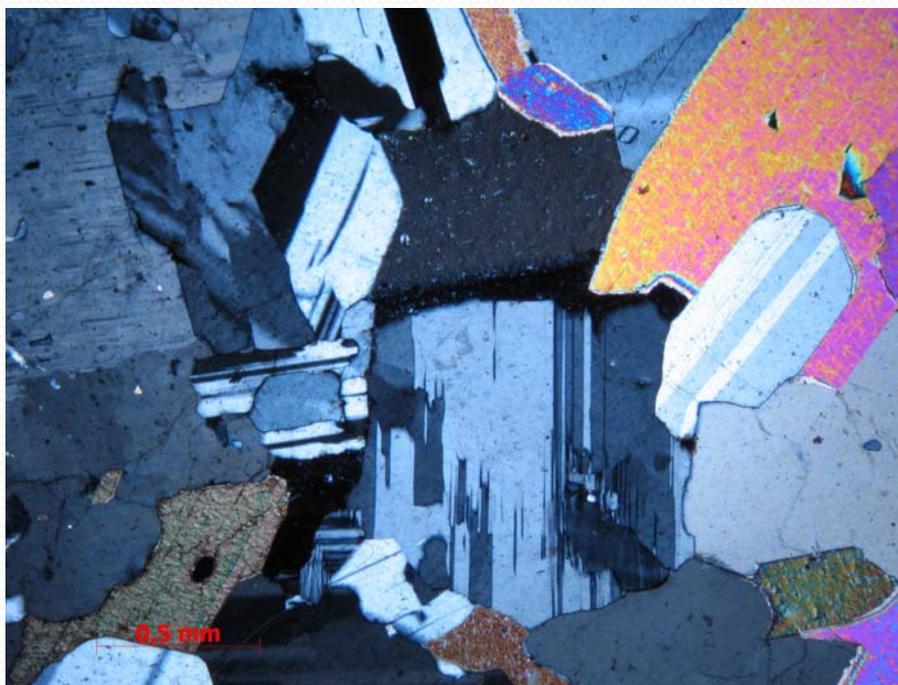
A rocha foi classificada como granito rico em amazonita (microclina verde –  $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ), plagioclásio, quartzo, biotita e turmalina. Apresenta uma coloração esbranquiçada e níveis esverdeados ricos em amazonita. A porção rica em amazonita é de granulometria mais grossa. Em lâmina delgada a rocha apresenta-se homogênea e os grãos encontram-se bem preservados.

# Lâminas delgadas



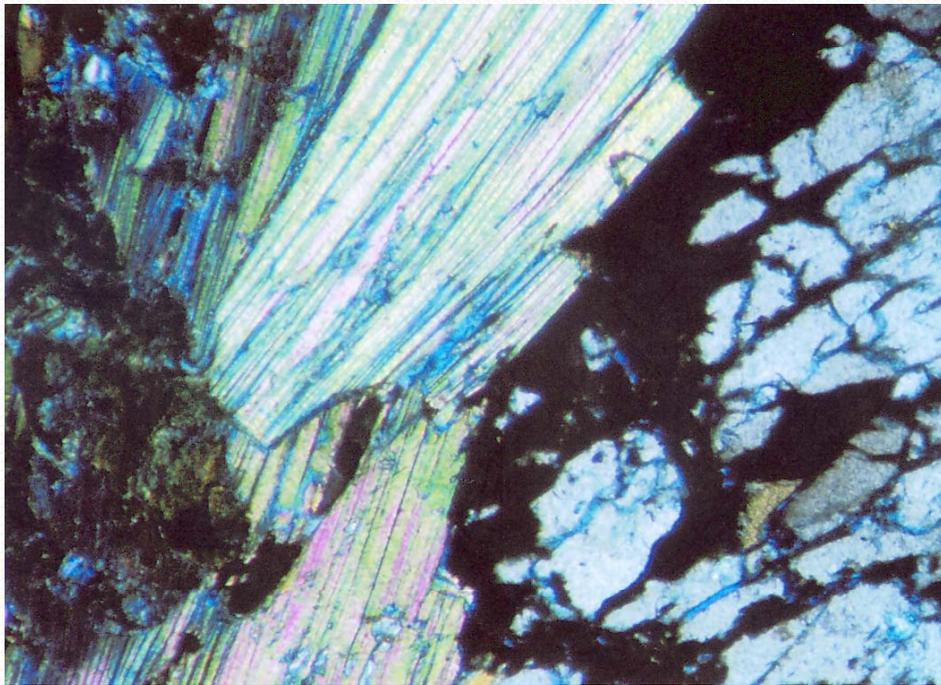
Fotomicrografia da microclina e biotita. Luz polarizada

# Lâminas delgadas

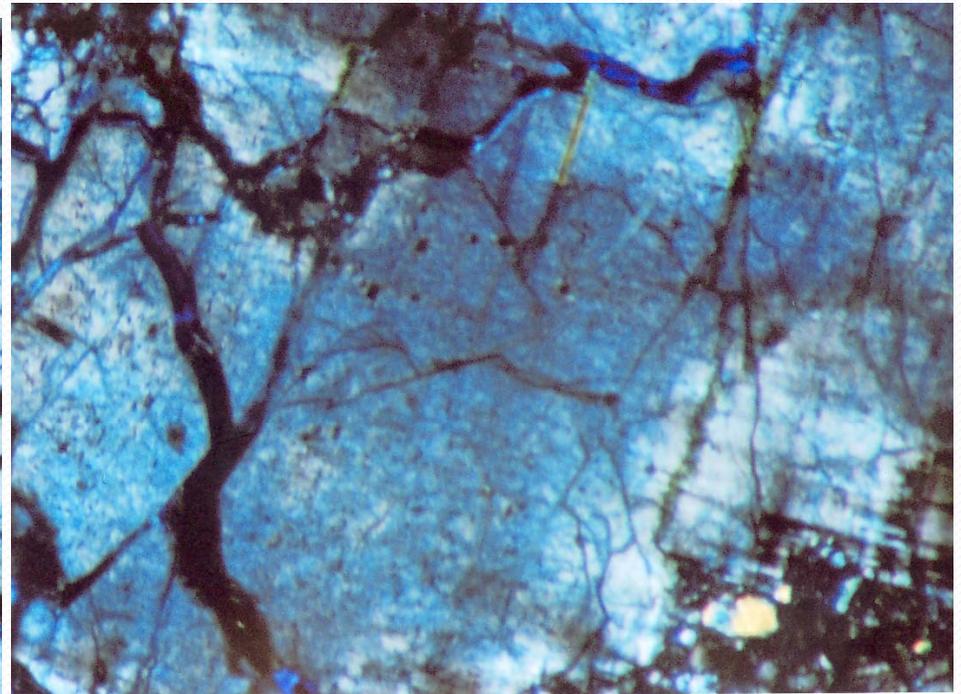


Fotomicrografia da microclina, plagioclásio, quartzo e biotita. Luz polarizada

# Micromorfologia de uma amostra de solos



Grão de biotita alterado



Grão de feldspato alterado

# Classificação Granulométrica

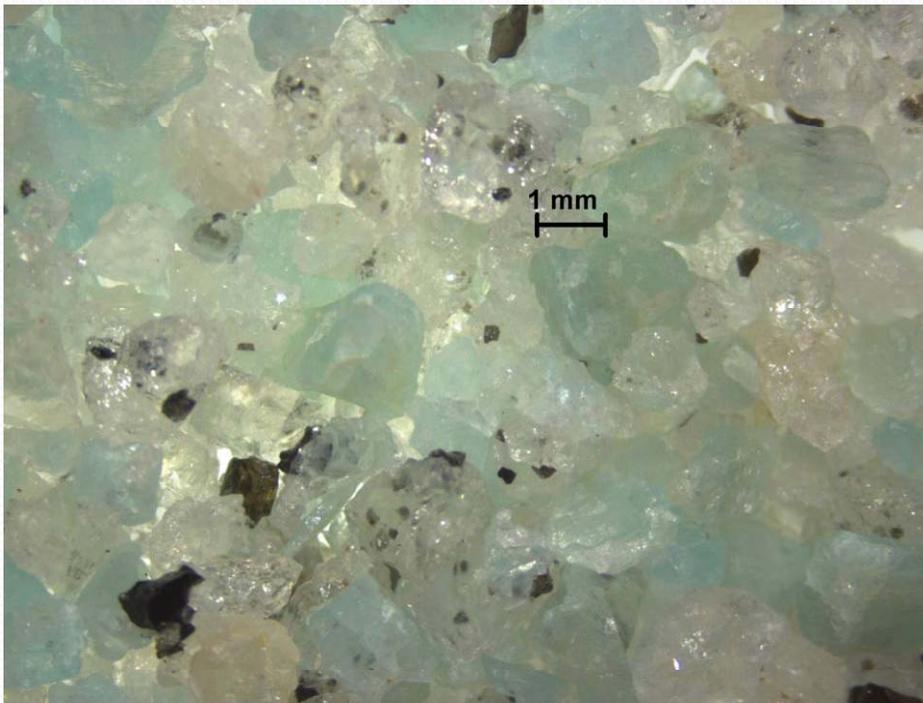
<b>Fração</b>	<b>Peso g</b>	<b>Peso %</b>
<b>+20#</b>	<b>1.910,7</b>	<b>40,31</b>
<b>-20 + 65#</b>	<b>1974,20</b>	<b>41,65</b>
<b>-65 +150 #</b>	<b>397,29</b>	<b>8,38</b>
<b>150#</b>	<b>457,90</b>	<b>9,66</b>

# Lupa Binocular

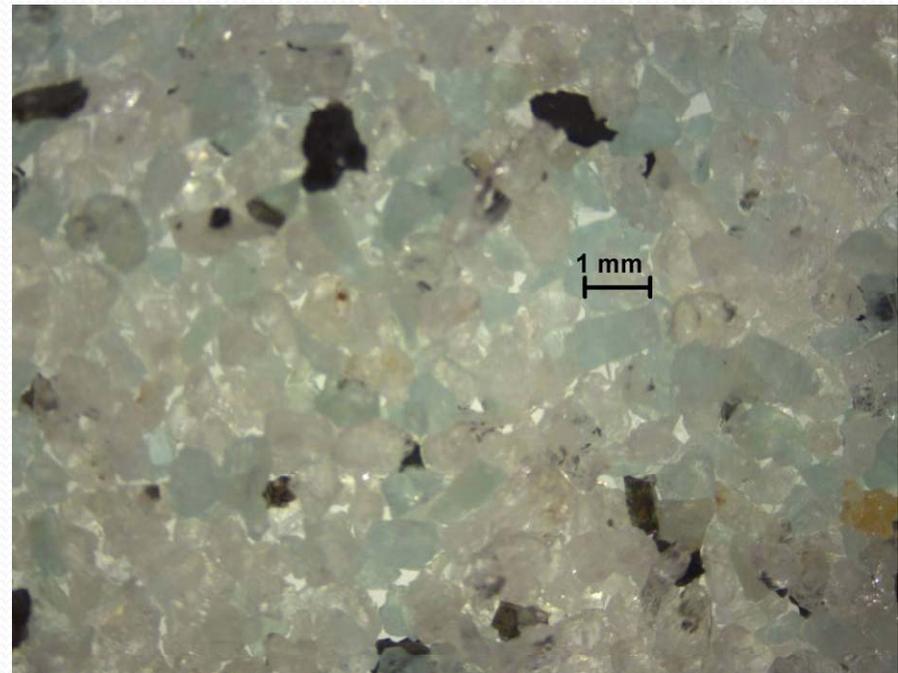
## Composição mineralógica

Minerais	Fração			
	+20#	-20 +65#	-65 +150 #	-150 #
Biotita	5 %	10%	15%	< 5%
Quartzo	35%	40%	50%	65%
Amazonita	60%	50%	35%	35%

# Lupa binocular

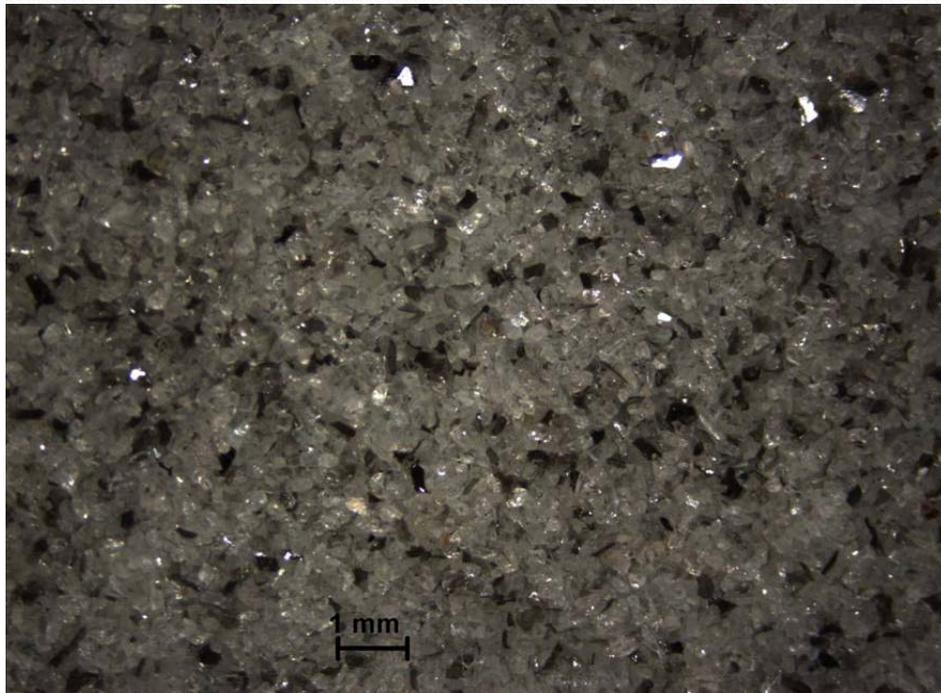


**Amazonita, quartzo e turmalina.  
Fração +20#.**

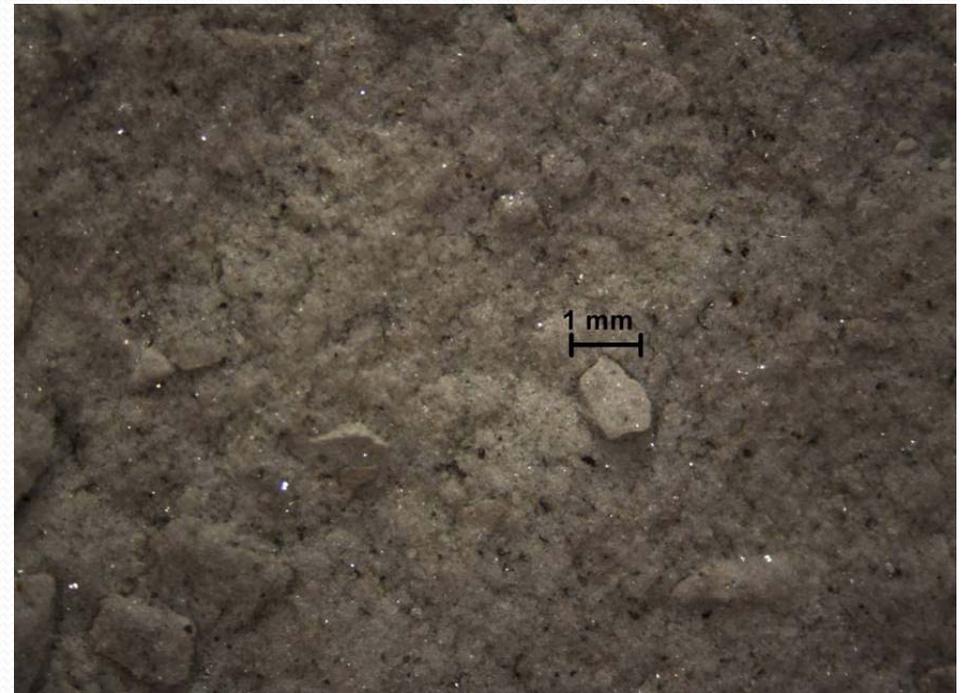


**Amazonita, quartzo e turmalina.  
Fração -20 +65#.**

# Lupa binocular

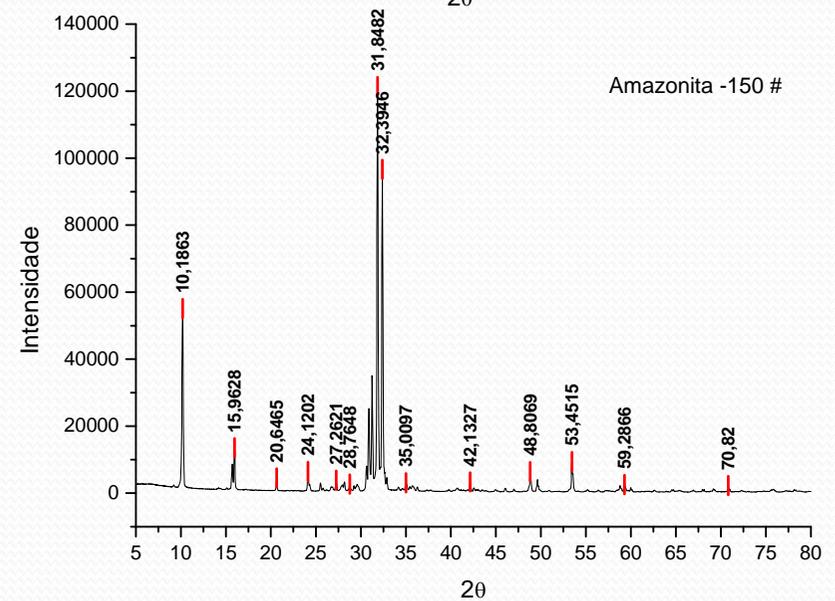
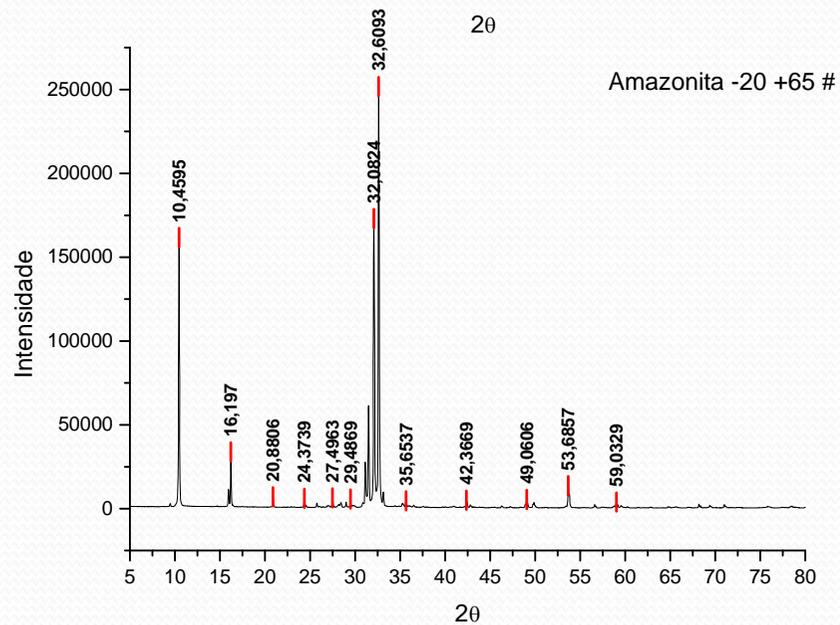
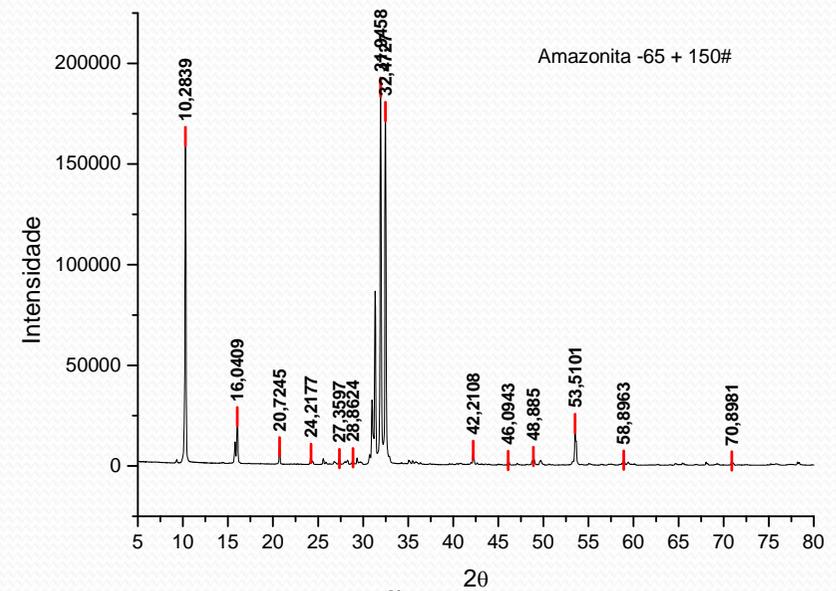
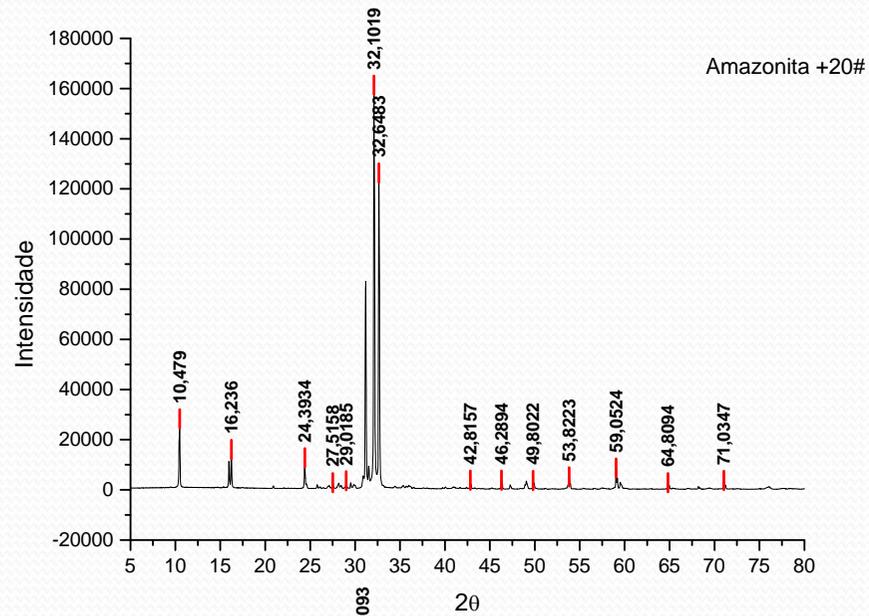


Amazonita, quartzo e turmalina. Fração -65 +150#.

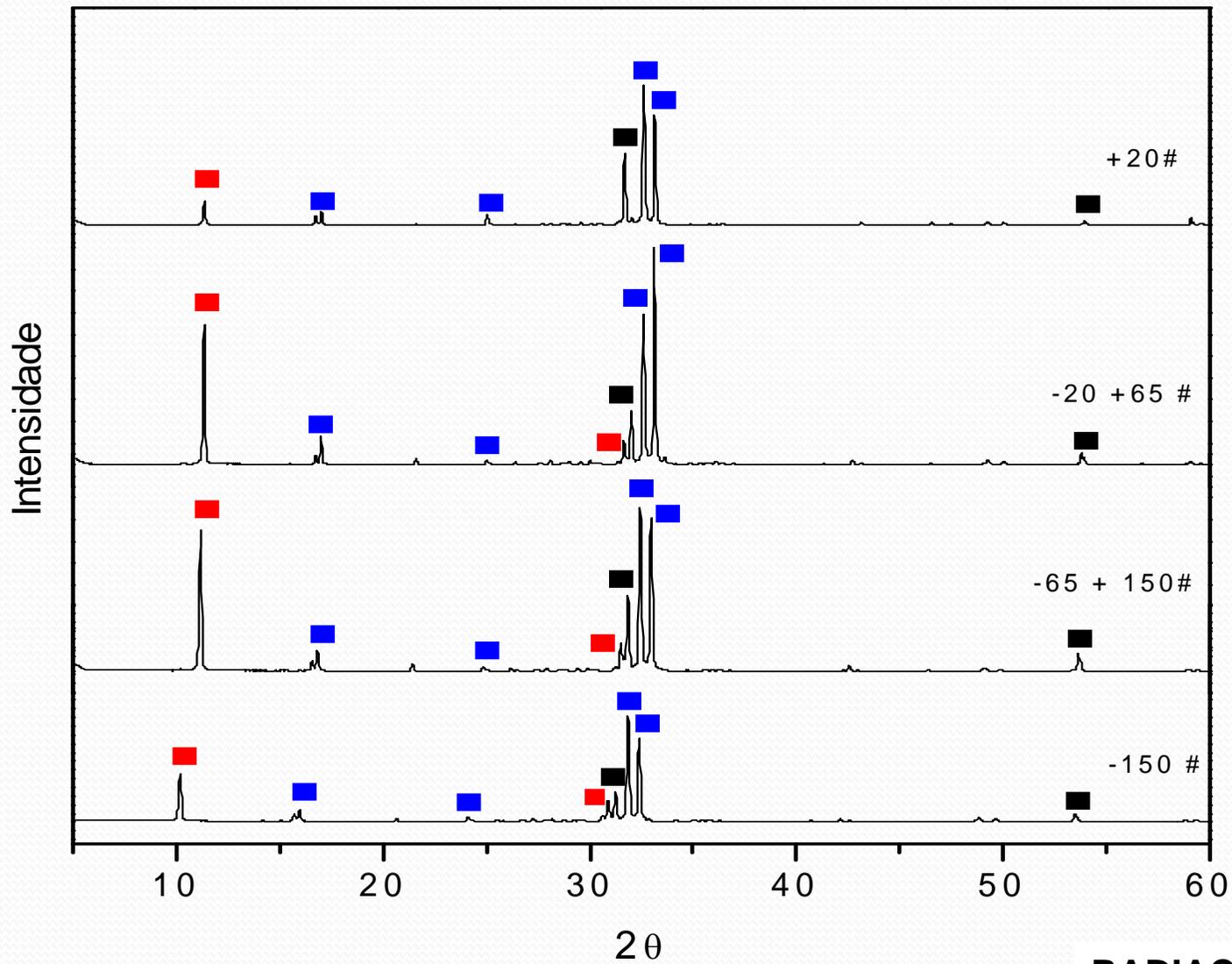


Amazonita, quartzo e turmalina. Fração -150#.

# Difratogramas de Raios X



# Difratogramas de Raios X



■ Amazonita

■ Biotita

■ Quartzo

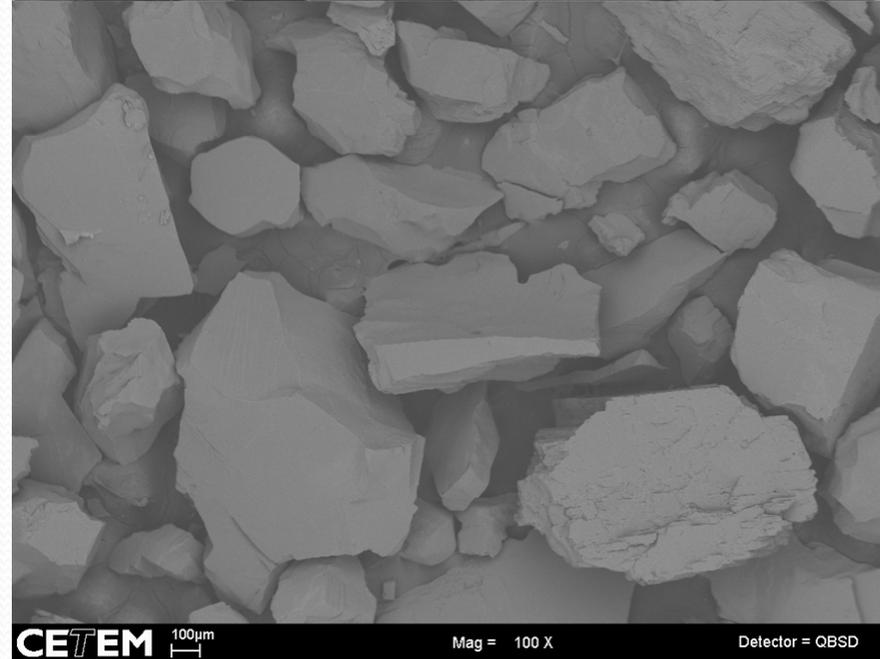
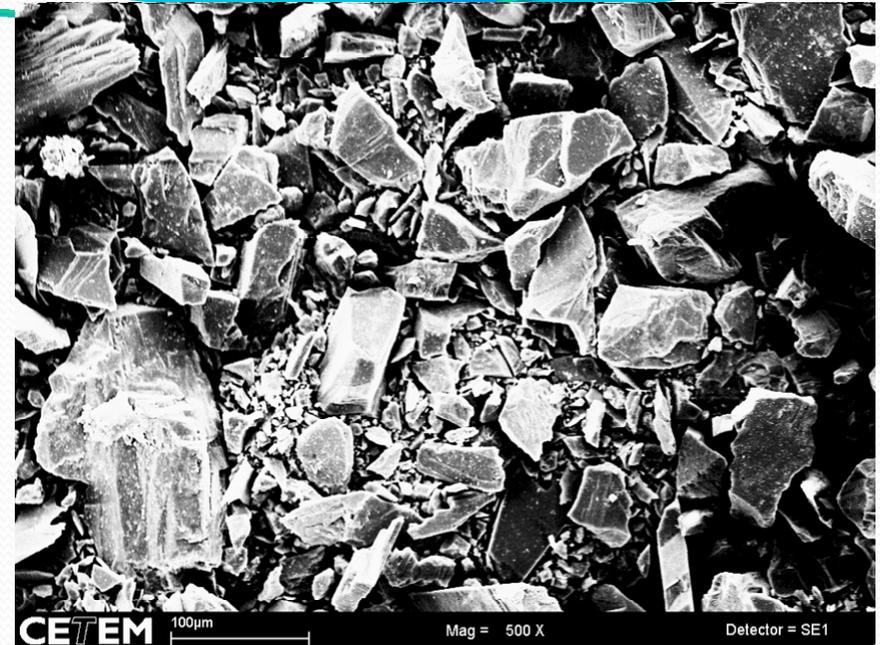
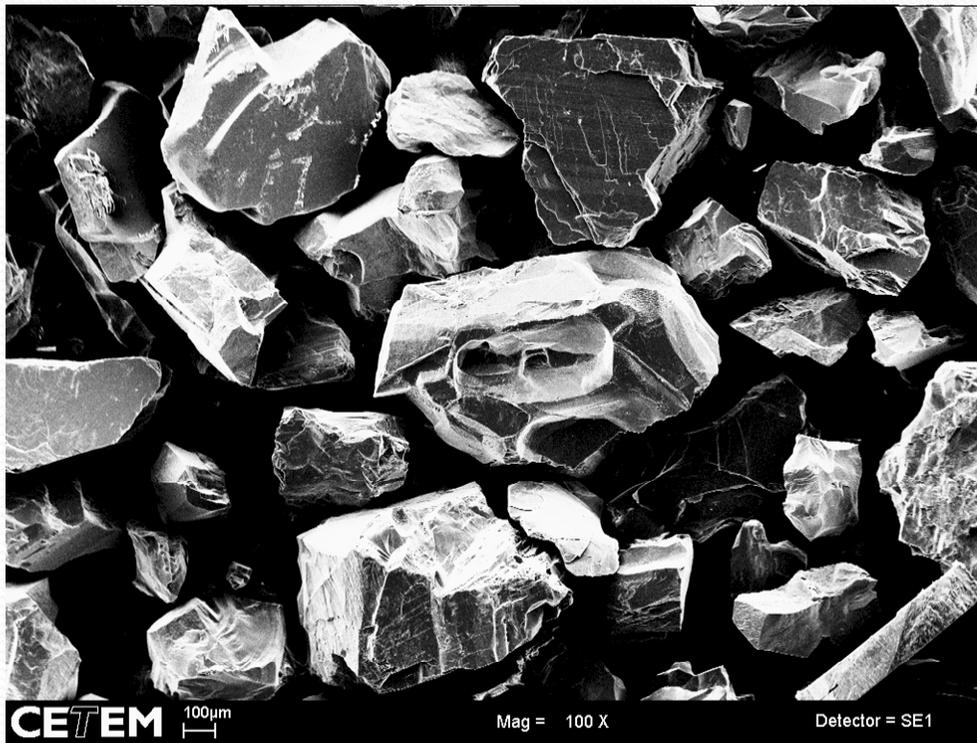
**RADIAÇÃO Co Ka**  
**40 kV/40 mA**

# Microscópio Eletrônico de Varredura



Imagens MEV. Elétrons Secundários

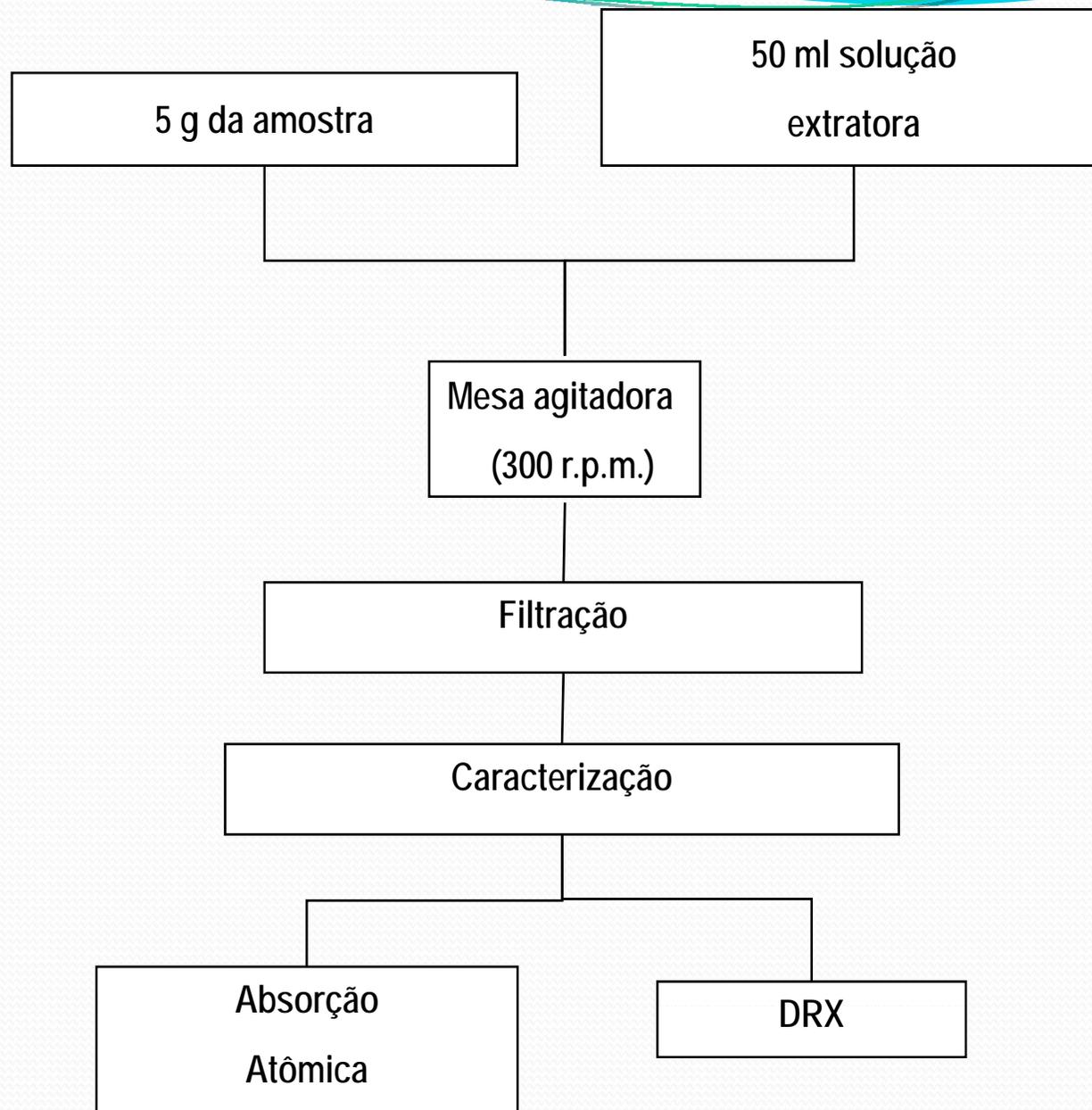
# Microscópio Eletrônico de Varredura



## Análises químicas (% peso)

	+20#	-20+65#	-55+150#	-150#
SiO <sub>2</sub>	80,63	72,70	71,33	72,23
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,15	15,04	14,83	14,97
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,38	1,59	1,42	0,92
MnO	0,01	0,03	0,02	0,02
MgO	0,00	0,00	0,00	0,02
CaO	0,12	0,43	1,24	0,86
Na <sub>2</sub> O	2,35	4,57	4,38	3,85
K <sub>2</sub> O	5,49	5,28	5,78	6,90
TiO <sub>2</sub>	0,005	0,049	0,039	0,02
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,00	0,00	0,003	0,001
P.F.	0,16	0,53	0,54	0,58
Total	100,29	100,20	99,55	100,37

# Experimentos de extração de $K^+$

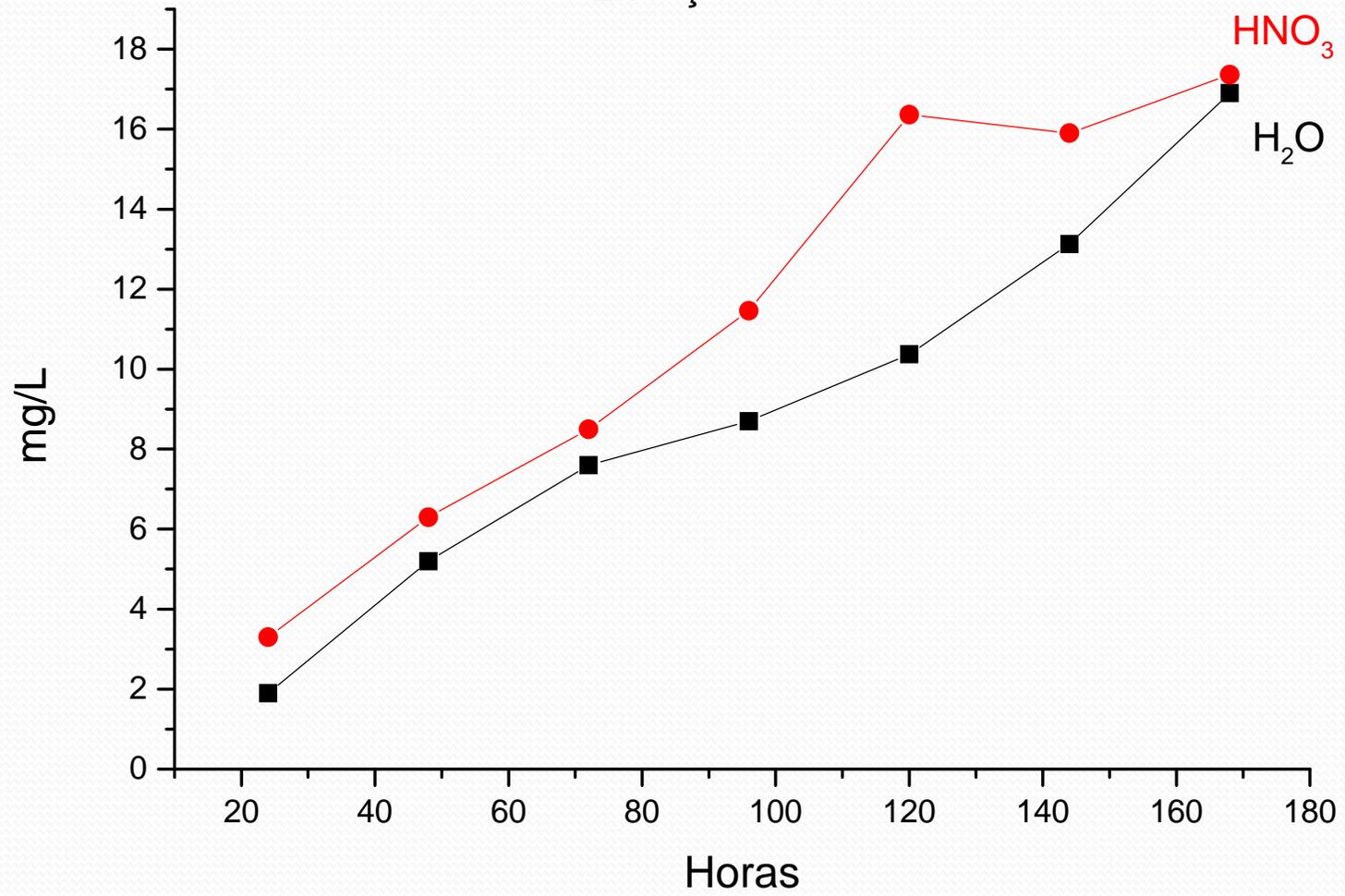


- 
- Foram utilizadas duas frações diferentes de amazonita, acima de 0,833 mm (+20#) e entre 0,833 e 0,208 mm (-20+65#), assim como duas soluções extratoras água destilada e HNO<sub>3</sub> 0,01 mol/L. O tempo de contato da solução extratora com a amostra variou de 24 a 168 horas.
  - Ao final de cada experimento a amostra foi filtrada e o filtrado foi enviado para análise química por absorção atômica.

<b>Comparativo dos ensaios de extração da fração +20#</b>										
<b>Solução extratora</b>	<b>Itens do contrato (mg/ L, média)</b>									
	<b>Al</b>	<b>Ca</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>K</b>	<b>Mg</b>	<b>Na</b>	<b>P</b>	<b>Pb</b>	<b>Si</b>
<b>24 horas</b>										
<b>Água</b>	3,0	1,6	<0,05	0,72	1,9		1,0	1,64	<0,20	7,6
<b>HNO<sub>3</sub> 0,01molar</b>	4,6	11,3	0,12	1,8	3,3	0,26	1,67	4,96	0,29	14,96
<b>48 horas</b>										
<b>Água</b>	6,7	3,1	<0,05	1,55	5,2		1,3	4,8	<0,20	20,5
<b>HNO<sub>3</sub> 0,01molar</b>	9,8	14,4	0,12	3,3	6,3	0,24	2,9	9,13	0,36	26,3
<b>72 horas</b>										
<b>Água</b>	11,1	3,4	0,05	2,2	7,6	<0,05	2,7	8,7	<0,20	37,2
<b>HNO<sub>3</sub> 0,01molar</b>	12,16	17,9	0,12	3,67	8,5	0,20	4,03	12,76	0,44	37,5

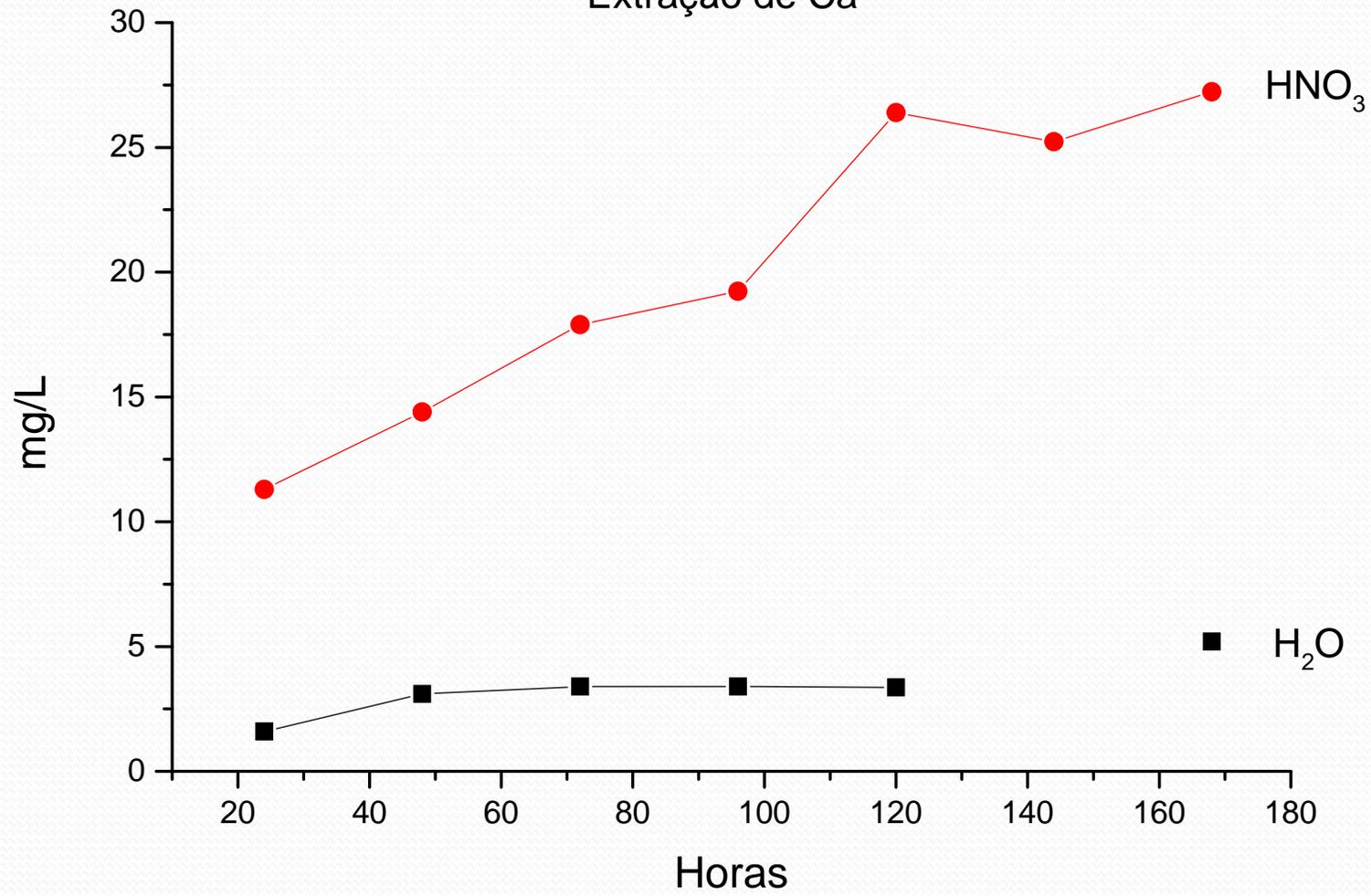
Comparativo dos ensaios de extração da fração +20#										
Solução extratora	Itens do contrato (mg/ L, média)									
	Al	Ca	Cu	Fe	K	Mg	Na	P	Pb	Si
<b>96 horas</b>										
Água	11,43	3,4	0,05	2,66	8,7	<0,05	3,0	11,06	<0,20	47,8
HNO <sub>3</sub> 0,01molar	14,7	19,23	0,18	5,23	11,46	0,18	5,3	17,56	<0,20	52,2
<b>120 horas</b>										
Água	12,8	3,36	0,09	3,67	10,37	<0,05	3,4	13,06	<0,20	52,6
HNO <sub>3</sub> 0,01molar	22,3	26,4	0,13	5,33	16,36	0,12	6,96	21,8	0,22	71,6
<b>144 horas</b>										
Água	14,73		0,63	4,5	13,13	<0,05	4,3	15,6	<0,20	68,9
HNO <sub>3</sub> 0,01molar	20,2	25,23	0,14	5,56	15,90	0,12	6,8	22,23	0,23	64,13
<b>168 horas</b>										
Água	17,3	5,2		4,7	16,9	<0,05	6,06	18,5	<0,20	83,6
HNO <sub>3</sub> 0,01molar	21,46	27,23	0,126	6,96	17,36	0,13	7,8	23,53	0,256	71,13

### Extração de K





### Extração de Ca



# Considerações Finais

- A rocha é constituída por quartzo, feldspato, micas, turmalina, entre outros. Dentro do grupo do feldspato, há o predomínio do mineral amazonita ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ );
- A amazonita concentra-se principalmente nas frações -20 +65# e -65 +150#. Além da amazonita ocorrem o quartzo, plagioclásio, biotita e turmalina. Neste intervalo a amazonita encontra-se liberada dos outros minerais;
- O mineral encontra-se pouco alterado;
- A extração de K em água e  $\text{HNO}_3$  0,01 mol/L foi baixa.

# Etapas futuras

- Realizar ensaios de extração utilizando outros extratores;
- Concentrar o mineral amazonita utilizando-se a flotação;
- Realizar tratamentos térmicos com o concentrado de amazonita visando a produção de um termofosfato.



Alberto Bernardi; Marisa Monte; Jose Carlos Polidoro; Fernando de Souza-Barros

# POTENCIAL DE USO DE ZEOLITAS NA AGROPECUÁRIA

# INTRODUÇÃO

- Arenito portador de zeolitas, proveniente da Bacia do Parnaíba.
- 2002, "Inovação Tecnológica no Uso de Minerais Industriais na Agricultura", (FNDCT)
- "Composição Mineral Zeolítica, Processos de Modificação e Utilização" (INPI nº 220401541026 em 24 de junho de 2005)
- 2004, "Zeolita no Aumento da Eficiência do Uso de Nitrogênio da Uréia", Embrapa-Petrobras-CETEM
- 2005, "Contribuições para os Efeitos Provocados pelo Uso Intensivo de Fertilizantes"
- 2006-2008, Eficiência Agronômica a partir da Adição de Zeolitas", Rede Brasil

# OBJETIVO

- Esta apresentação busca sistematizar o trabalho do grupo de pesquisa intermultidisciplinar (Embrapa Solos, Embrapa Pecuária Sudeste, CETEM, IF UFRJ, LCFIS UENF) que vem atuando desde 2002 e indica algumas diretrizes, que podem ser abordadas futuramente.



# Aplicações

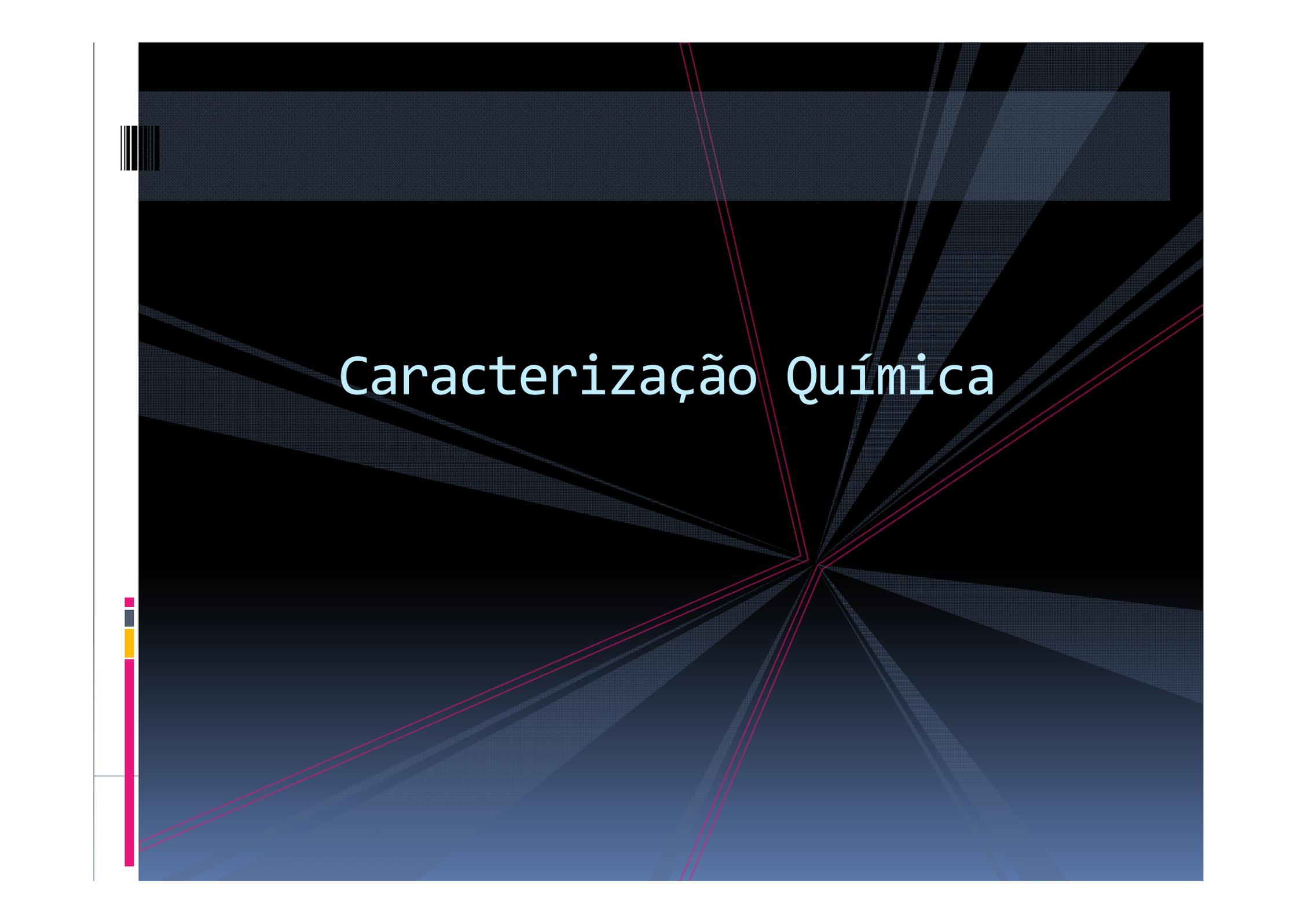
## EFICIÊNCIA NO USO DE NUTRIENTES

- ARENITO ZEOLÍTICO EM MISTURA COM FERTILIZANTES
- SUBSTRATOS DE CZ ENRIQUECIDOS
- CZ COMO CONDICIONADORES DE SOLOS

# METODOLOGIA

A partir dos 4 tipos de substratos zeolíticos preparados no CETEM, estabeleceu-se as seguintes etapas para avaliação destes materiais no crescimento de plantas:

- a) caracterização química;
- b) experimentos de extração de nutrientes e determinação da quantidade ideal de zeólita; e
- c) produção de porta-enxertos para mudas de citros utilizando zeólitas enriquecidas.



# Caracterização Química

# Caracterização Química de Substratos de CZ enriquecidos

Amostra	pH	N	P	K	Cu	Fe	Zn
		mg.Kg <sup>-3</sup>					
		Solução de Merlich (KCl 0,05 mol.L <sup>-1</sup> e H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,0125 mol <sup>-1</sup> )					
CZ	7,8	0,1	30	222	1,73	191	15
CZ+KNO <sub>3</sub>	6,4	9,4x10 <sup>-4</sup>	17	7,4x10 <sup>3</sup>	1,77	106	13,6
CZ+K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	7,6	0,1	1,1x10 <sup>4</sup>	975		0,4	0,31
CZ+H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> +apatita	3,7	0,2	7x10 <sup>3</sup>	121	4,83	609	19,1

# Caracterização Química de Substratos de CZ enriquecidos

Amostra	Ca	Mg	Al	H	CTC	K	Na
	meq . 100 cm <sup>-3</sup> Extrator: solução de 1 mol.L <sup>-1</sup>					mg.Kg <sup>-1</sup> Extraídos em pasta de saturação	
CZ	38,4	9,0	0	0	50,7	3,9	13,8
CZ+KNO <sub>3</sub>	41,4	1,7	0	0	66,2	1,5x10 <sup>4</sup>	119,6
CZ+K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	4,8	0,7	0	36	54,2	4,2x10 <sup>4</sup>	1564
CZ+H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> + apatita	43,8	15,5	8,4	23,4	93,0	3,9	41,4



## Placas de Petri

- Placas de Petri com 99 g de material inerte (areia lavada)
  - 1g de substrato (concentrado zeolítico +  $\text{KNO}_3$ ; concentrado zeolítico +  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  e, concentrado zeolítico +  $\text{H}_3\text{PO}_4$  + apatita), há um tratamento testemunha sem adição de substrato.
  - Semeadas 40 sementes de alface.
- 

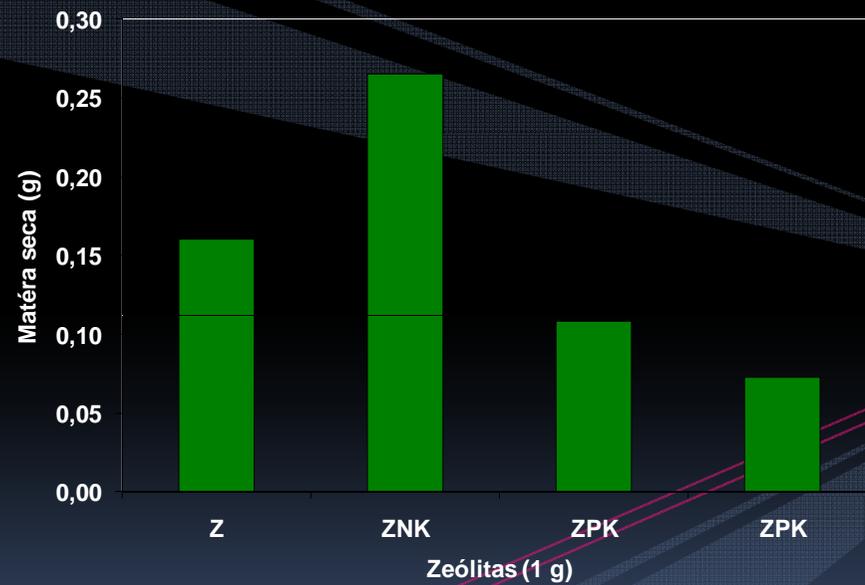
# SUBSTRATOS DE CZ ENRIQUECIDOS

Z=CZ

ZNK= CZ+KNO<sub>3</sub>

ZPK= CZ+K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>

ZP= CZ+H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>+apatita



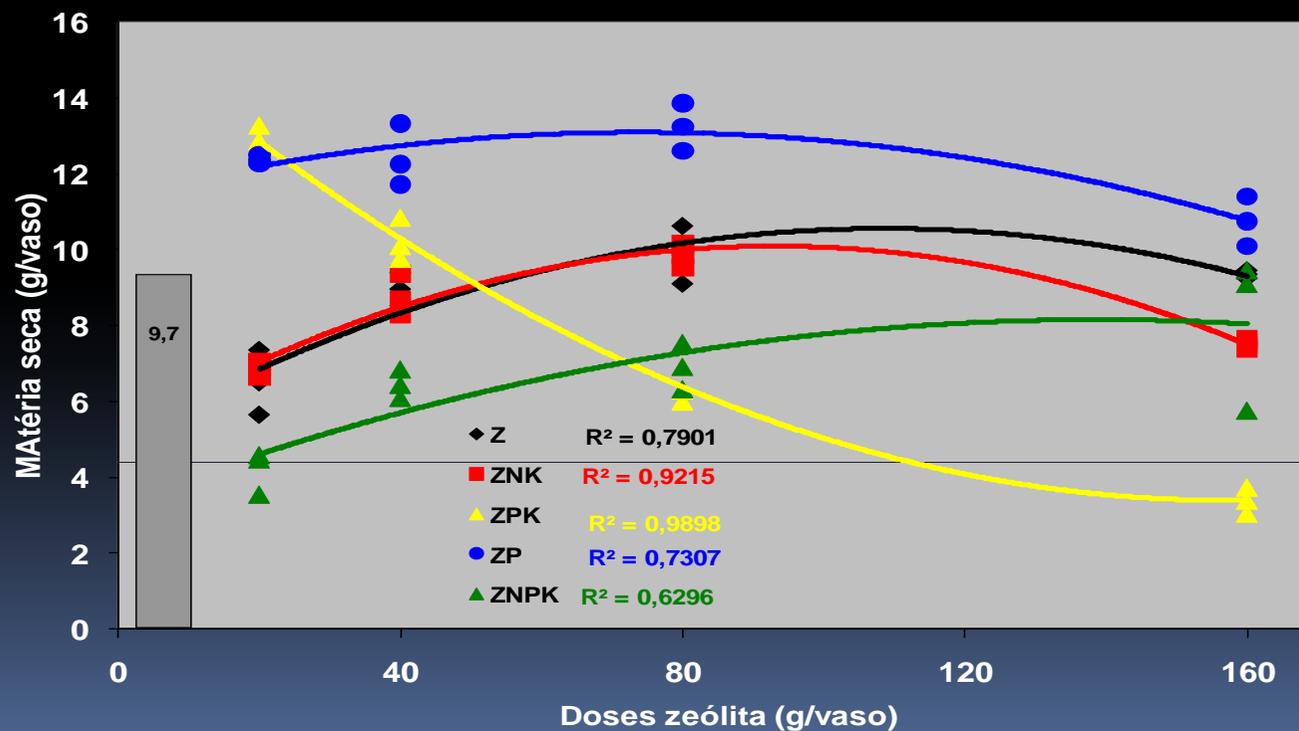
A photograph of a hydroponic lettuce production system in a greenhouse. The plants are growing in black plastic pots arranged in rows on a white surface. The plants are lush green and appear to be in the final stages of growth. The background shows the structure of the greenhouse and some equipment. The text "1º. Cultivo: Alface" is overlaid in orange, and "Produção" is overlaid in blue.

1º. Cultivo: Alface

*Produção*

# Produção de matéria seca dos alfaces cultivados com doses de concentrado zeolítico enriquecidos

A barra indica os valores médios observados para a testemunha •

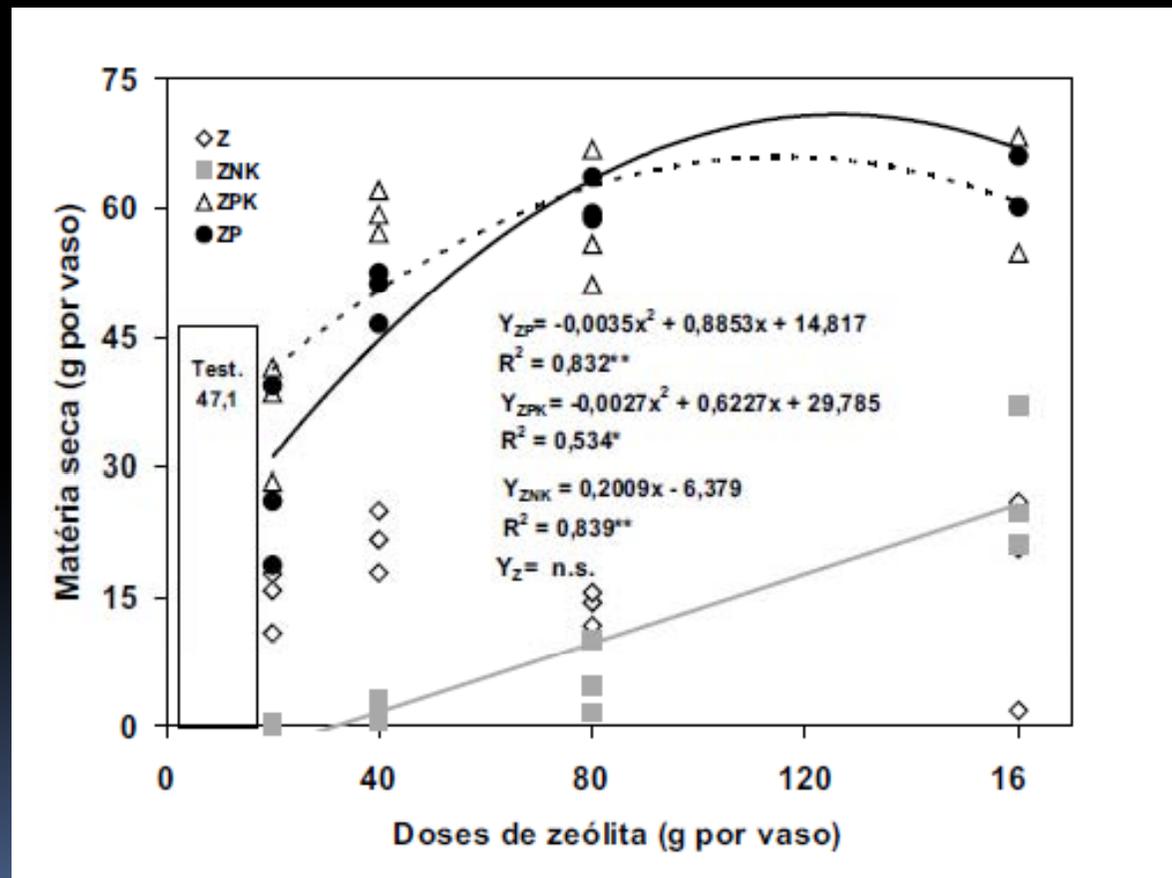


## 2º. Cultivo: Tomate



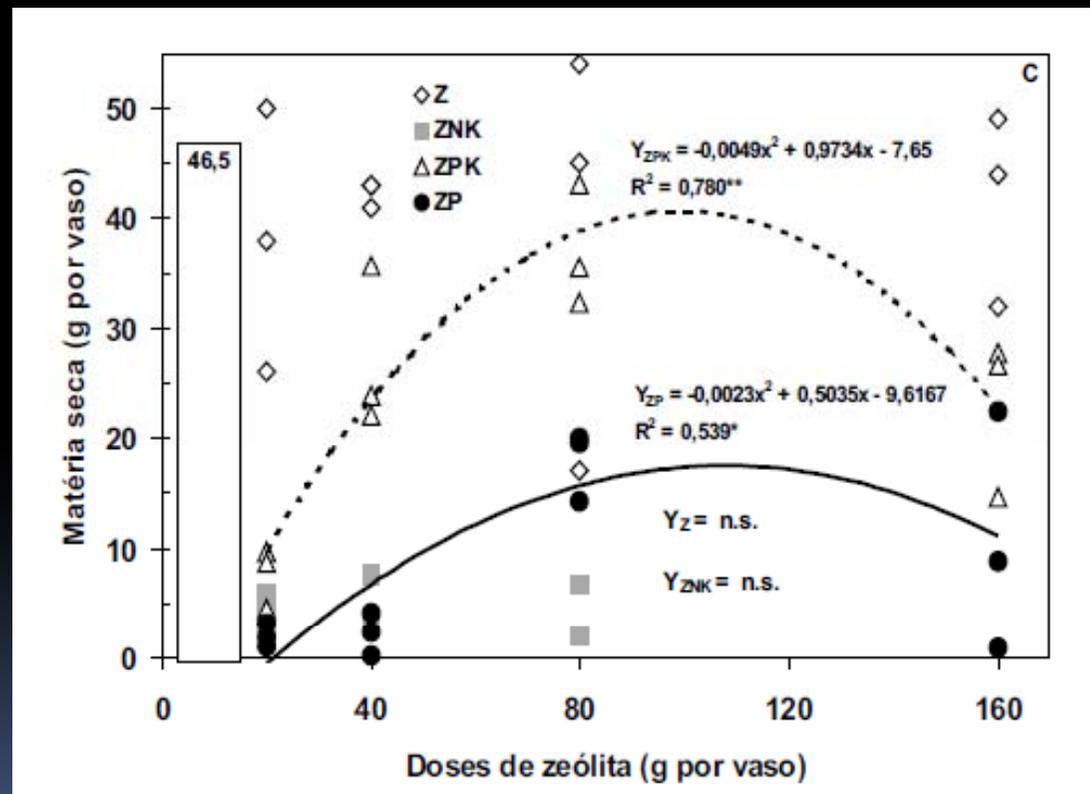
# Produção de matéria seca dos tomates cultivados com doses de concentrado zeolítico enriquecidos

A barra indica os valores médios observados para a testemunha.



# Produção de matéria seca de arroz cultivados com doses de concentrado zeolítico enriquecidos

A barra indica os valores médios observados para a testemunha •



# RESULTADOS

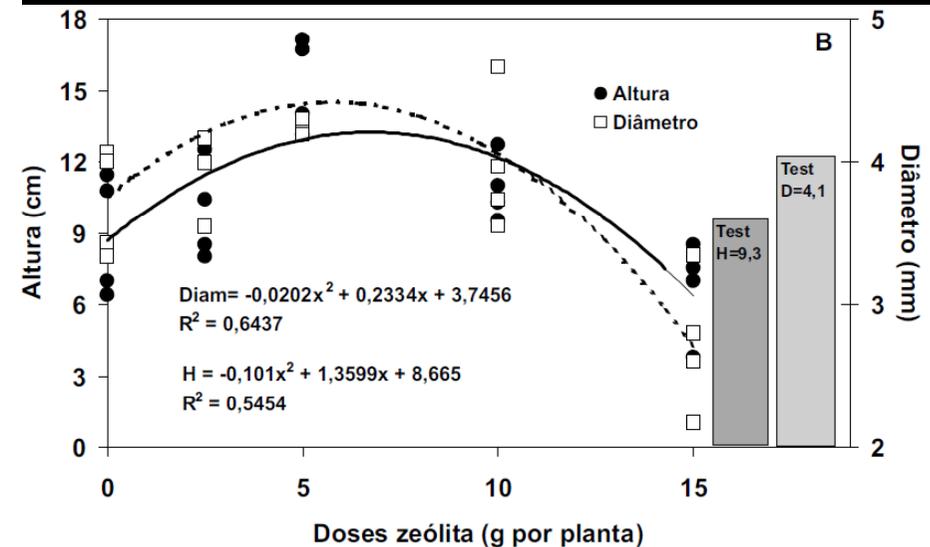
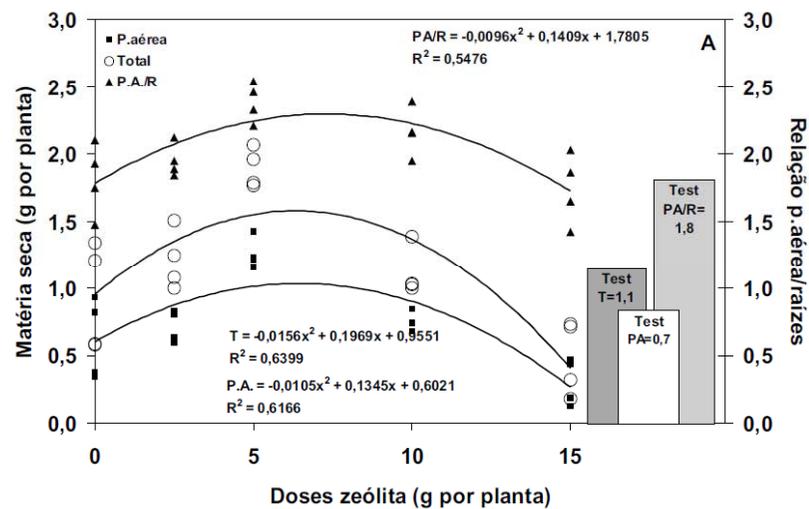
- Os substratos enriquecidos funcionaram adequadamente como fonte de nutrientes de liberação lenta.
- Os efeitos do tratamento sobre a produção de matéria seca total sobre os tres cultivos sucessivos foram os seguintes

CZ +K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>>CZ+H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>+apatita>CZ>CZ+KNO<sub>3</sub>

Avaliação do CZ com adição de NPK no crescimento de porta-enxertos para mudas de citros.



Produção de matéria seca pela parte aérea, produção de matéria seca total e razão entre parte aérea e raízes (A) e altura e diâmetro do caule (B) do porta enxerto de limão cravo (B) aos 93 dias de cultivo, em função das doses de CZ com NPK. As barras indicam os valores médios das testemunhas.



# RESULTADOS

- A adição do CZ aumenta a retenção de nutrientes na zona radicular, para utilização pelas plantas no momento mais necessário.
- Isso melhora a eficiência do uso dos fertilizantes pois reduz as perdas por lixiviação, especialmente N e K e também intensifica o crescimento.

# CONSIDERAÇÕES FINAIS

- O tema do desenvolvimento de bases tecnológicas em produção de novos insumos para a agropecuária, seja para condicionamento, correção e adubação de solos, seja para nutrição animal, é estratégico para o agronegócio do País.
- A reunião de resultados tecnicamente vantajosos, como foi feita neste documento, ainda fornece indicativo dos impactos econômicos, sociais e ambientais positivos do uso dessa tecnologia.
- A maior eficiência agrônômica dos fertilizantes e dos outros insumos minerais a serem produzidos poderá levar à diminuição da dependência externa de matérias-primas básicas e intermediárias e ainda melhorar a competitividade do agronegócio nacional.

-

# CETEM - CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL



**CETEM**  
CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL

Ministério da  
Ciência e Tecnologia



1º CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, BRASÍLIA, 21 a 24 de SETEMBRO de 2009

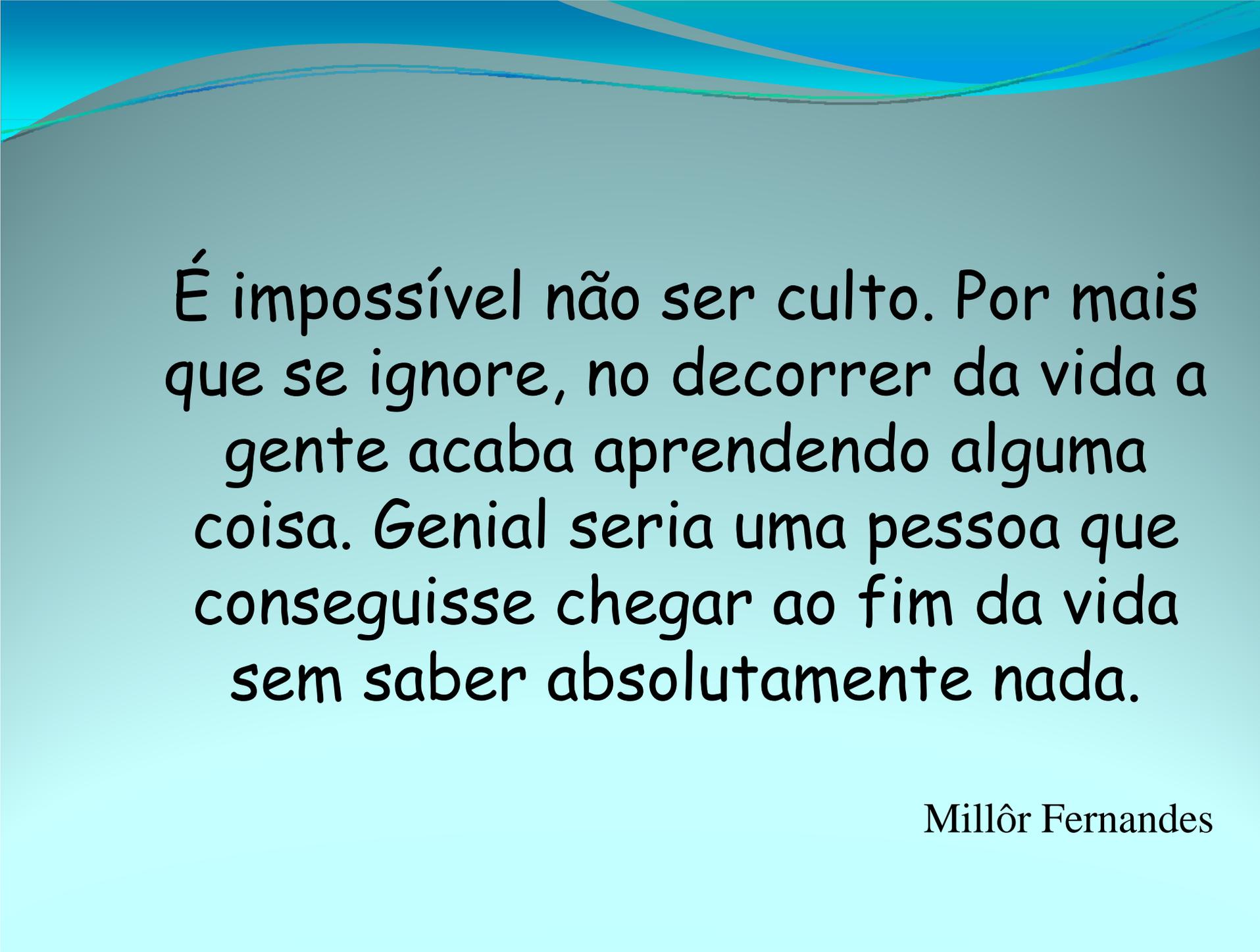
# TECNOLOGIAS DE APLICAÇÃO DE GLAUCONITA COMO FONTE DE POTÁSSIO NA AGRICULTURA: O CASO BRASILEIRO E A EXPERIÊNCIA INDIANA

**LAPIDO-LOUREIRO, Francisco E.** - [flapido@cetem.gov.br](mailto:flapido@cetem.gov.br)

**NASCIMENTO, Marisa** - [marisa@cetem.gov.br](mailto:marisa@cetem.gov.br)

**NEUMANN, Reiner** - [rneumann@cetem.gov.br](mailto:rneumann@cetem.gov.br)

**RIZZO, Andrea C.** - [arizzo@cetem.gov.br](mailto:arizzo@cetem.gov.br)



É impossível não ser culto. Por mais que se ignore, no decorrer da vida a gente acaba aprendendo alguma coisa. Genial seria uma pessoa que conseguisse chegar ao fim da vida sem saber absolutamente nada.

Millôr Fernandes

Solo  
Rocha Parental

Fertilidade ↔ Produtividade

Rochagem s.p.  
(Glaucionita)

Tecnologia Agrícola

Fertilizantes  
Industriais



## O SILOGISMO SÓCIO-ECONÔMICO DA AGRICULTURA BRASILEIRA

**FATOS:** => Premissa 1

O Brasil é um gigante na agroindústria mundial:

- Tecnologia de ponta nas grandes propriedades e, de uma forma geral, nas áreas mais desenvolvidas – sul de MG, SP, PR, SC, RS
- O agronegócio representa 1/3 do PIB, 17 milhões de trabalhadores no campo e 37% dos empregos.

Produto	Produção	Exportação
Café	1 <sup>o</sup>	1 <sup>o</sup>
Açúcar	1 <sup>o</sup>	1 <sup>o</sup>
Suco de laranja	1 <sup>o</sup>	1 <sup>o</sup>
Carne bovina	2 <sup>o</sup>	1 <sup>o</sup>
Soja e derivados	2 <sup>o</sup>	1 <sup>o</sup>
Carne de frango	3 <sup>o</sup>	1 <sup>o</sup>
Algodão	6 <sup>o</sup>	3 <sup>o</sup>

### FATOS =>Premissa 2

- A maioria dos solos do Brasil são pobres necessitando de altas taxas de fertilizantes
- O País apresenta grande dependência externa na importação de fertilizantes: mais de 50% do consumo, **90% no caso do K**
- Déficit anual de nutrientes nos seus solos é de (Fonte, Malavolta, 2009):

N => 900.000 t  
P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> => 400.000 t  
K<sub>2</sub>O => 400.000 t

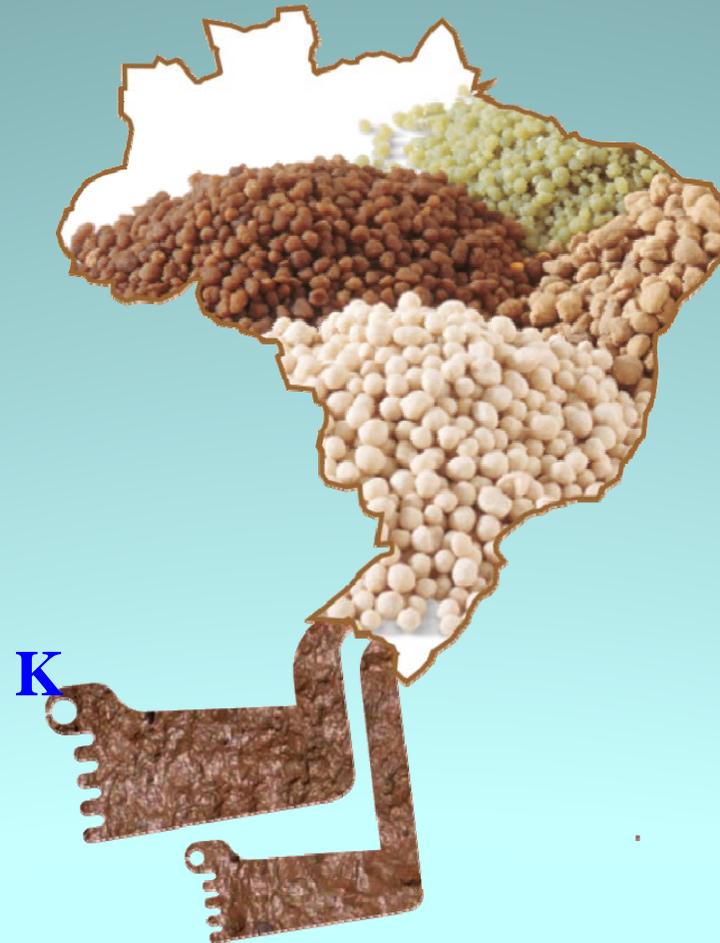
- Cerca de 60% dos estabelecimentos agropecuários não aplicam qualquer tipo de **fertilizante** e, quanto a **tecnologia** (Fonte IBGE):

Região	AT	FC	CS	Ir	EE
Norte	6,6	9,5	0,8	0,7	10,7
Nordeste	4,1	18,2	6,5	4,9	20,0
Centro-Oeste	32,9	36,8	19,4	4,4	51,9
Sudeste	30,6	64,5	30,1	12,4	61,9
Sul	48,6	76,4	45,5	5,4	73,7
<b>Total Brasil</b>	<b>19,6</b>	<b>38,4</b>	<b>18,8</b>	<b>5,9</b>	<b>39,1</b>

(No Nordeste localizam-se 47,7% das propriedades agrícolas do País)

AT-Assistência Técnica; FC-Fertilizantes e Calagem;  
CS-Controle Sanitário; Ir-Irrigação; EE-Energia Elétrica

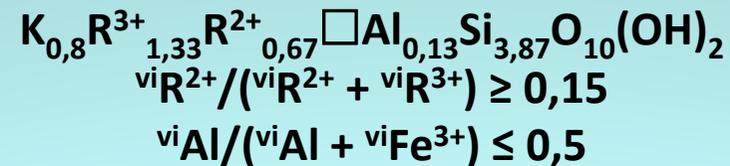
Conclusão => O Brasil, na agroindústria, é um gigante, mas de “pés-de-barro”



Dos tais “pés-de-barro” vamo-nos ocupar do “dedão” potássio e, em particular, da série de minerais designados por **glauconita** e da rocha **glauconito**, vulgo “**verdete**”.

## II – **Glaucônita** - Fertilizante Alternativo:

- A alta dependência externa de sais de potássio para a agricultura levou países como o Brasil e a Índia a estudarem outros materiais-fonte e a pesquisarem novas tecnologias de aplicação
- Entre os minerais alternativos destacam-se filossilicatos como a glaucônita, flogopita e vermiculita.
- O termo **glaucônita** refere-se a uma série de minerais, silicatos hidratados de Al, Fe e K, do grupo das micas, com deficiência de cátions interplanares de fórmula geral



### • Composição química média e limites (%)

$\text{K}_2\text{O} \Rightarrow 6,62$  (4,0 a 7,5);  $\text{Na}_2\text{O} \Rightarrow 0,36$  (0 a 3,3);  
 $\text{Al}_2\text{O}_3 \Rightarrow 3,58$  (4 a 16);  $\text{MgO} \Rightarrow 3,78$  (1,6 a 4,6);  
 $\text{SiO}_2 \Rightarrow 53,48$  (40 a 56);  $\text{FeO} \Rightarrow 3,37$  (0,8 a 9,6);  
 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \Rightarrow 24,3$  (5 a 27,9).

Fonte: TIFAC (*Technology Information, Forecasting and Assessment Council*), 2001

## Composição comparativa de teores de $K_2O$ de minerais solúveis e de rochas e minerais silicáticos

Minerais e Rochas	Composição	$K_2O$ (%)
<b>Silvita</b>	KCl	63,2
<b>'Nitrato do Chile'</b>	$KNO_3$	47
<b>Glaserita</b>	$3K_2SO_4Na_2SO_4$	42,5
<b>Silvinita</b>	KCl+NaCl	10-35
<b>Kainita</b>	$4(KCl.MgSO_4).H_2O$	19,2
<b>Carnalita</b>	$KCl.MgCl_2.H_2O$	17
<b>Leucita</b>	$K[AlSi_2O_6]$	21,6
<b>Ortoclásio</b>	$(K,Na)(AlSi_3O_8)$	até 17
<b>Muscovita</b>	$KAl_2(AlSi_3)O_{10}(OH)_2$	11,8
<b>Biotita</b> (2 análises) <sup>*</sup>	$K(Mg,Fe^{2+})_3(Al,Fe^{3+})Si_3O_{10}$	9,4
<b>Glauconita</b>	$(K,Na)(AlFe^{3+},Mg)_2(AlSi)_4O_{10}(OH)_2$	6,6
<b>Nefelina</b>	$(Na_3NaK)(Al_4Si_4O_{16})$	8
Fonolito (53 análises) <sup>*</sup>	Rocha total	13,27
Saprolito (3 análises) <sup>*</sup>	Rocha total	9,35
Rocha Feldspática <sup>#</sup>	Rocha total	12,6

<sup>\*</sup>Planalto de Poços de Caldas (MG).  $Na_2O = 0,60$  (Fonte: Poços de Caldas Report nº 15)

<sup>#</sup>Idem, estéril da mina Osamu Utsumi Média de 10 análises

## O problema do balanço de massa na fertilização / rochagem

A quantidade equivalente de  $K_2O$  da glauconita (6%) é 10 vezes menor que a do KCl (60%).

Ex.: Cana-de açúcar - Extração de nutrientes (kg/ha/ano) em função da produtividade (t/ha/ano)

Produção	Extração			Fonte
	N	$P_2O_5$	$K_2O$	
50	60	50	22	FAO/IFA 2002
100	110	90	39	idem
—	143	43	209	G.C. Vitti / ESALQ (a)
Alta Colheita	130	90	340	IPI Bol. n. 14 (1994) (b)

Para compensar a extração de nutriente, numa "alta colheita" seriam necessárias 3.400 t/ha/ano de glauconita, não considerando outros fatores

(a) "Nutrição e adubação de cana-de-açúcar"

(b) "Adubação para Altas Colheitas: Cana-de-Açúcar" (tradução e revisão de E. Malavolta de, "Fertilizing for High Yield – Sugarcane", IPI, 1994)

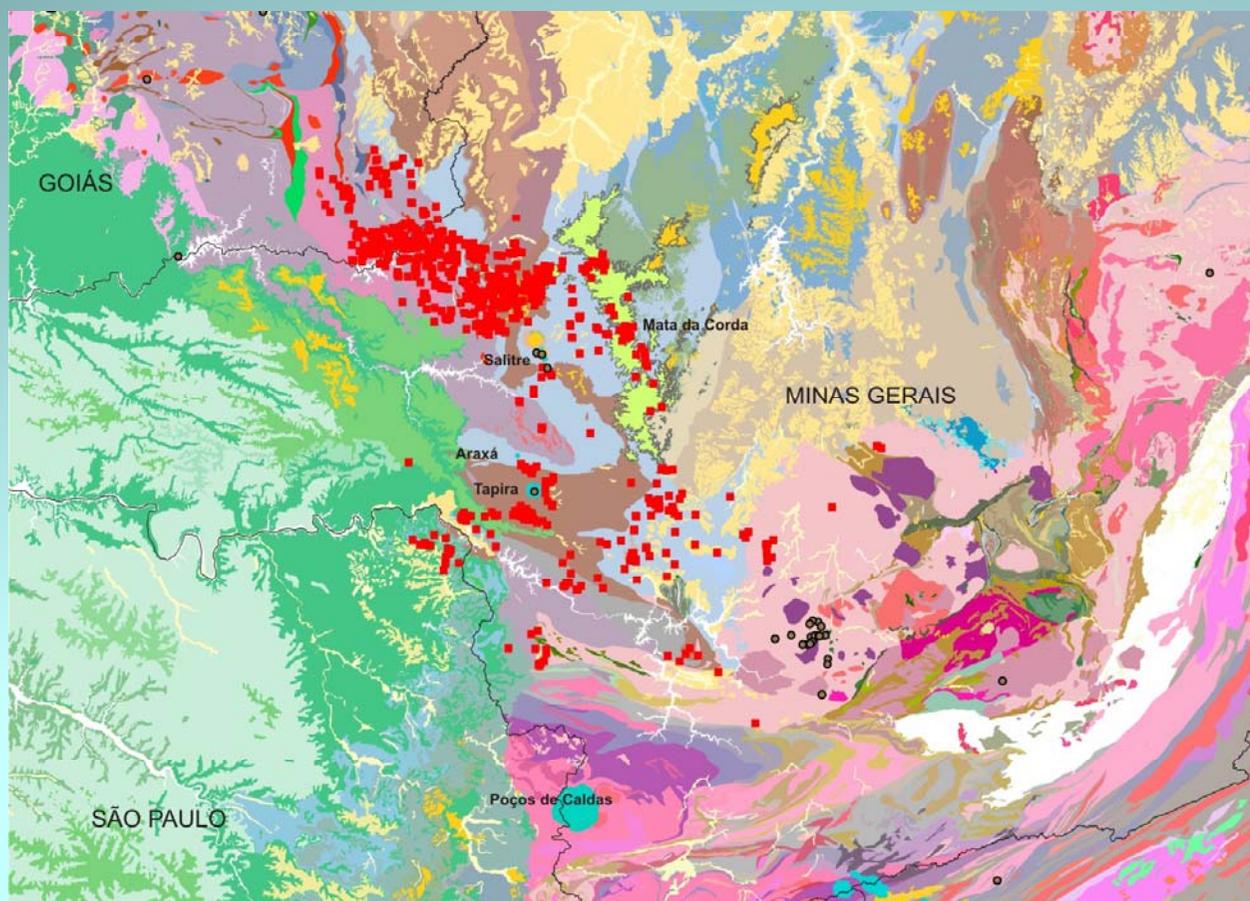
# Índia

## A Índia deu particular atenção, às areias glauconíticas (*green sand*) e à sua aplicação direta na agricultura:

- No seu programa propõe-se, em 10 anos, suprir 20% das necessidades do país em  $K_2O$
- Ficou comprovado em experimentos de campo, desenvolvidos por escolas de agronomia do país, que aplicação direta de glauconita, como fertilizante potássico de ação lenta, em solos ácidos, na proximidade de suas ocorrências, *“is found to be economic as well as eco-friendly”*.
- A **quantidade equivalente** de  $K_2O$  a glauconita mostrou ser 5 a 6 vezes mais barata do que o potássio importado.
- Deve ser feita a prévia concentração da glauconita, de fácil separação magnética.
- A liberação do potássio da glauconita pode ser incrementada por com compostagens associadas ou não a agentes biolixivantes ou ainda por calcinação :
  - i) glauconita + matéria orgânica;
  - ii) glauconita + fosfato (*phospho-glaucocompost*);
  - iii) glauconita + fosfato + pirita;
  - iv) glauconita calcinada a 200°C.
- A tecnologia a ser seguida deve ser previamente estudada e definida em função, das condições locais e do cultivar a ser desenvolvido.

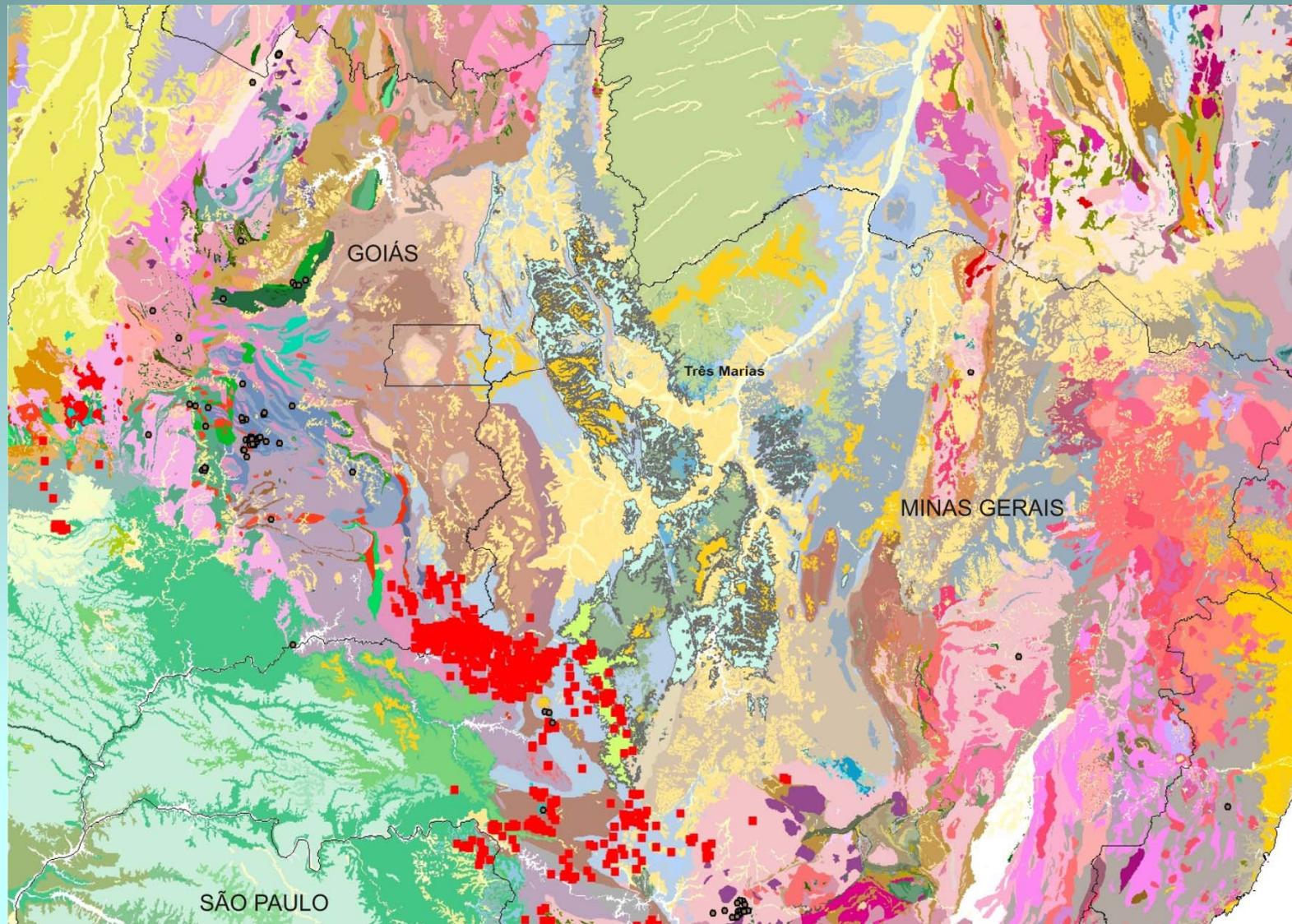
## No Brasil

- Não há dados sobre remineralização (rochagem) de solos recorrendo à **aplicação direta** de **glauconito** (vulgo '**verdete**'), ou de seus concentrados, no Brasil.
- São conhecidos várias ocorrências de verdetes no Brasil



Mata da Corda - MG

## Três Marias - MG



Afloramento de verdete de Mata da Corda  
(Fonte: Projeto Cerrado Verde-Amazon Mining)

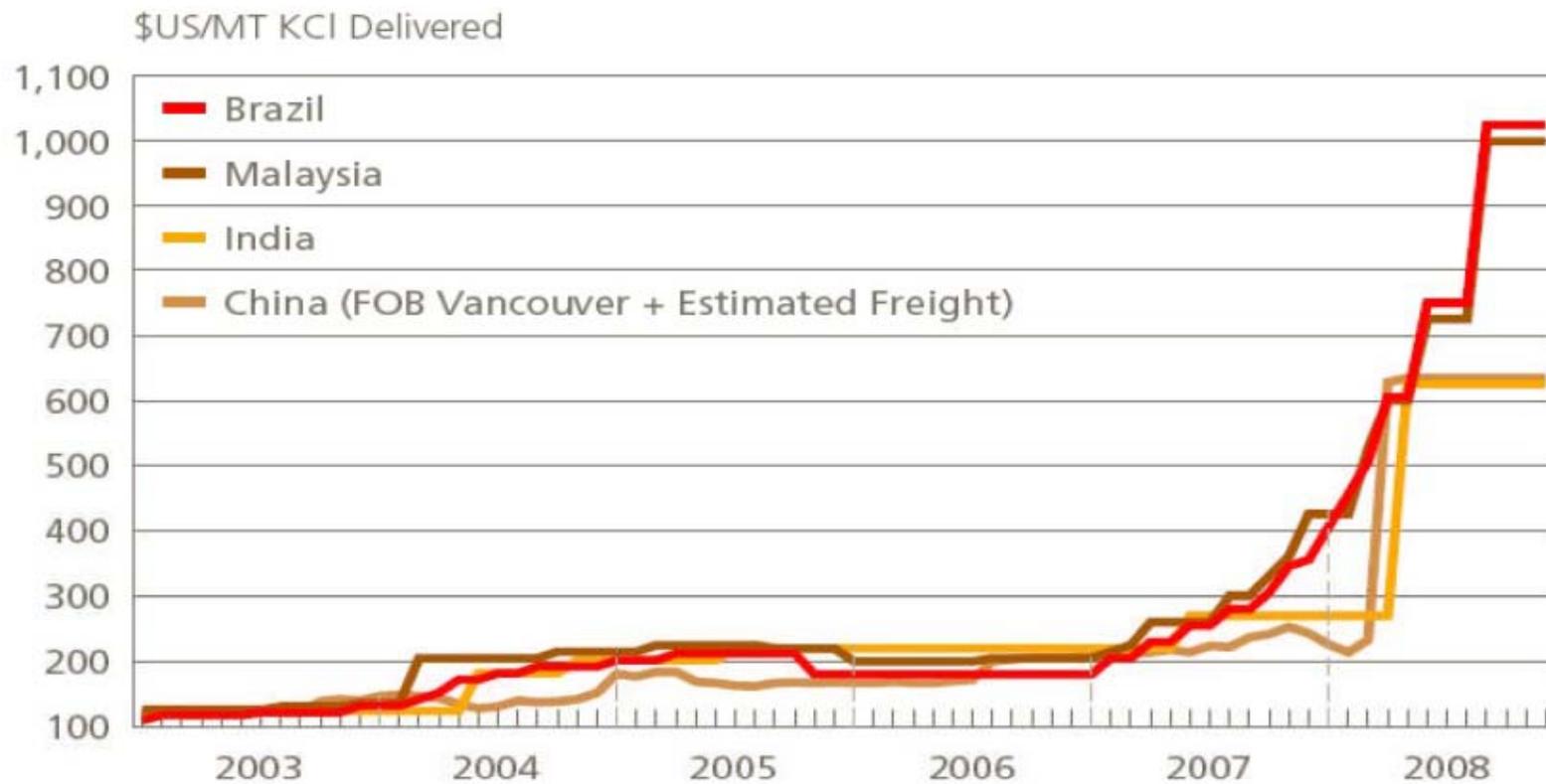


## Experimentos Brasileiros nos anos 80 e 90:

- Valarelli, 1981: fusão em forno elétrico a arco submerso de rocha fosfática mais rocha potássica e outros materiais;
- Eichler, 1983: combinação do verdete 50% com calcário (50%) aquecido a 1100° C;
- Leite, 1985 e Valarelli, 1993: produção de termofosfato potássico magnesiano e termofosfato potássico utilizando o Verdete do Abaeté;
- Projeto “Cerrado Verde”: viabilizar o aproveitamento econômico do “Verdete”; produção de TermoPotássio; aproveitar rochas fosfáticas , de baixo teor, rejeitadas; desenvolver e produzir termofosfato de Potássio;
- Projeto CETEM / IQ-UFRJ: Obtenção de termofosfato potássico por fusão de verdete + rocha magnesiana
- Estudo Prospectivo sobre o Uso de Processos Biotecnológicos para a Biossolubilização de Agro-Minerais (CTAGRO- Edital MCT/CNPq/CT –No 43/2008).



# Preço do Potássio



Source: Fertecon, FMB, OMS, PotashCorp

## Reflexões

- Deve ser dada particular atenção aos “verdetes” , a outras litologias ricas de filossilicatos, ás rochas alcalinas ultrabásicas e alcalinas efusivas, além dos basaltos, estes já muito utilizados, na remineralização do solo.
- No caso das rochas glauconíticas (após concentração prévia por processos magnéticos ?) a liberação do K poderá ser incrementada por calcinação ou compostagem (associada a agentes biolixiviantes?).
- Devem ser incrementados estudos de processos biotecnológicos para biossolubilização da glauconita e de outros agrominerais.
- Na Índia a quantidade equivalente de  $K_2O$  da glauconita mostrou ser 5 a 6 vezes mais barata do que a do potássio importado.
- No Brasil, os estudos de aplicação do “verdete”, como material fertilizante, tem seguido sempre rotas metalúrgicas.
- Na época não se mostraram econômicas quando o preço do KCl importado era 8 a 10 vezes mais baratos. E hoje?



◀ Home ▶

◀ Apresentação ▶

◀ Sumário ▶

◀ Créditos ▶

# FERTILIZANTES

**agroindústria & sustentabilidade**

Francisco Eduardo de V. Lapido-Loureiro

Ricardo Melamed

Jackson de Figueiredo Neto

**Editores**

Vera Lúcia do Espírito Santo Souza

**Projeto Gráfico**

Thatyana Pimentel Rodrigo de Freitas

**Revisão**

Tiragem: 1000 exemplares

Cópias do CD poderão ser solicitadas pelo e-mail: [biblioteca@cetem.gov.br](mailto:biblioteca@cetem.gov.br)