

# GUIAS PROSPECTIVOS PARA MINERALIZAÇÕES EM ROCHAS GRANITÓIDES

*Cid Chiodi Filho*

SED 34

MCT

CNPq

CETEM

CE

Ex. 1

**PRESIDENTE DA REPÚBLICA:** Fernando Henrique Cardoso  
**VICE-PRESIDENTE DA REPÚBLICA:** Marco Antonio Maciel  
**MINISTRO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA:** José Israel Vargas

**PRESIDENTE DO CNPq:** José Galizia Tundisi  
**DIRETOR DE DESENV. CIENT. E TECNOLÓGICO:** Marisa B. Cassim  
**DIRETOR DE PROGRAMAS:** Eduardo Moreira da Costa  
**DIRETOR DE UNIDADES DE PESQUISA:** José Ubyrajara Alves  
**DIRETOR DE ADMINISTRAÇÃO:** Derblay Galvão

#### **CETEM - CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL**

##### **CONSELHO TÉCNICO-CIENTÍFICO (CTC)**

**Presidente:** Roberto C. Villas Bôas

**Vice-presidente:** Juliano Peres Barbosa

**Membros Internos:** Fernando Freitas Lins; Luiz Gonzaga S. Sobral; Vicente Paulo de Souza e João Alves Sampaio (suplente)

**Membros Externos:** Antonio Dias Leite Junior; Arthur Pinto Chaves; Antônio Eduardo Clark Peres; Celso Pinto Ferraz e Achilles Junqueira (suplente)

**DIRETOR:** Roberto C. Villas Bôas

**DIRETOR ADJUNTO:** Juliano Peres Barbosa

**DEPTº DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS (DTM):** Fernando Freitas Lins

**DEPTº DE METALURGIA EXTRATIVA (DME):** Ronaldo Luiz C. dos Santos

**DEPTº DE QUÍMICA INSTRUMENTAL (DQI):** Luiz Gonzaga S. Sobral

**DEPTº DE ESTUDOS E DESENVOLVIMENTO (DES):** Carlos César Peiter

**DEPTº DE ADMINISTRAÇÃO (DAD):** Antônio Gonçalves Dias



ISSN - 0103-6319

#### **Cid Chiodi Filho**

*Geólogo (Instituto de Geociências da USP, 1976), trabalhou na Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais - CPRM (1976/1985) e na Rio Doce Geologia e Mineração - DOCEGEO (1985/1991). Atua no setor de rochas ornamentais desde 1988. Foi pesquisador bolsista do Programa RHA/CNPq (1992/1994). Atualmente trabalha como consultor para empresas do setor de rochas ornamentais.*

MCT - Ministério da Ciência e Tecnologia



CETEM - Centro de Tecnologia Mineral

FE034  
CE  
EX. 1

Tombo: 00 6245

1997

CT-00007403-3

## SÉRIE ESTUDOS E DOCUMENTOS

### CONSELHO EDITORIAL

#### Editor

Ronaldo Luiz C. dos Santos

#### Conselheiros Internos

Maria Laura T. M.G. C. Barreto, Carlos César Peiter, Francisco E. de Vries Lapido  
Loureiro, Francisco R. C. Fernandes.

#### Conselheiros Externos

Luís Henrique Sanchez (USP), J. R. Andrade Ramos (UFRJ), Eduardo C. Damasceno  
(USP), Saul Barisnik Suslick (UNICAMP), Abraham Benzaquem Sicsu (Fundação  
Joaquim Nabuco), Helena Maria Lastres (IBICT), Hildebrando Herrmann (UNICAMP),  
Rupen Adamian (COPPE/UFRJ)

---

A **Série Estudos e Documentos** publica trabalhos que busquem divulgar estudos econômicos, sociais, jurídicos e de gestão e planejamento em C&T, envolvendo aspectos tecnológicos e/ou científicos relacionados à área minero-metalúrgica.

---

**Celso de O. Santos** COORDENAÇÃO EDITORIAL

**Vera Lúcia Ribeiro e Fátima da Silva C. Engel** EDITORAÇÃO ELETRÔNICA

Chiodi Filho, Cid

Guias prospectivos para mineralizações em rochas granitóides/Cid Chiodi Filho - Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1997.

64p.: il. - (Série Estudos e Documentos, 34)

1. Rochas granitóides. I. Centro de Tecnologia Mineral.  
II. Título. III. Série

ISBN 85-7227-096-5

ISSN 0103-6319

CDD 550.06381

## APRESENTAÇÃO

**G**uias prospectivos são, e serão, sempre bem-vindos.

*O texto ora apresentado ao público leitor, de autoria do conhecido geólogo Cid Chiodi Filho discute, tal como observado na sua introdução, as bases metodológicas e guias prospectivos para programas exploratórios de mineralização envolvendo rochas graníticas e granitóides.*

*Seguramente apresentará grande interesse àqueles que se dedicam ao assunto.*

*Rio de Janeiro, fevereiro de 1997.*

**Roberto C. Villas Bôas**  
Diretor

CETEM  
BIBLIOTECA

Reg. N.º 64 Data 14/05/99



CETEM

PERIÓDICO

17-B - 6711

COL. DE VOL VOLUME Nº

DATA

REG. Nº 6711

BMP

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	3
2. PRINCIPAIS TIPOS DE MINERALIZAÇÃO .....	5
3. MINERALIZAÇÕES E ALTERAÇÃO HIDROTHERMAL .....	7
3.1 Alteração Hidrotermal nos Sistemas a Pórfiros. ....	9
3.2 Alteração Hidrotermal nos Sistemas a Greisen. ....	12
3.3 Alteração Hidrotermal em Skarnitos. ....	15
4. MINERAIS E METAIS AFINS E CARACTERÍSTICOS DOS DIFERENTES TIPOS DE MINERALIZAÇÃO .....	18
5. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E EXEMPLOS DAS MINERALIZAÇÕES .....	20
5.1 Pórfiros .....	20
5.2 Greisens .....	21
5.3 Skarns .....	23
5.4 Pegmatitos .....	24
6. CLASSIFICAÇÃO DOS GRANITÓIDES PARA PROSPECÇÃO .....	26
7. FEIÇÕES DE INTERESSE PARA OBSERVAÇÃO EM ÁREAS DE TRABALHO .....	30
8. SISTEMÁTICA E METODOLOGIA DE TRABALHO PARA PROSPECÇÃO .....	32
8.1 Trabalhos Regionais .....	32
8.2 Trabalhos de Semidetalhe .....	34
9. FEIÇÕES DE INTERESSE PARA MINAS GERAIS: UM EXEMPLO .....	40
10. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	44
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA .....	47
ANEXO .....	52

## 1. INTRODUÇÃO

---

Na literatura geológica internacional são apresentadas numerosas propostas de classificação para rochas graníticas. Tais propostas utilizam diferentes parâmetros de enquadramento e sistematização de nomenclatura, introduzindo por vezes a discussão de condicionamentos metalogenéticos e bases de correlação para corpos observados em um mesmo ambiente geológico.

Os critérios de descrição e classificação, ainda convencionalmente aplicados no Brasil, são baseados sobretudo em características texturais e colorimétricas das rochas graníticas. Os critérios de correlação, da mesma forma, são ainda muito genéricos, baseando-se na composição e estabelecendo suítes ou linhagens sin, tardi e pós-tectônicas/orogênicas.

Os referidos critérios de classificação e correlação, bem como o problema de tradução (aplicação) das escolas mundiais mais avançadas, proporcionam o entendimento apenas isolado dos corpos assinalados em mapas geológicos no Brasil, dificultando a fixação de bases exploratórias. Em termos metalogenéticos, acrescenta-se o próprio preconceito assumido para rochas graníticas mais antigas (proterozóicas e arqueanas), como não-geradoras dos tipos de mineralização classicamente descritos em corpos fanerozóicos.

Estudos mais recentes demonstram, no entanto, que rochas graníticas antigas apresentam os mesmos atributos metalogenéticos que aquelas geradas em tempos fanerozóicos. O menor número de jazidas associadas a terrenos antigos, é, no caso, justificado pelo seu normalmente maior grau de transposição e arrasamento erosivo, o que não invalida o desenvolvimento de programas prospectivos e a efetiva atribuição de potencial.

O texto a seguir apresentado discute bases metodológicas e guias prospectivos para programas exploratórios de mineralizações relacionadas a rochas graníticas e granitóides. A abor-

dagem envolve parâmetros objetivos sobre a gênese e a metalogênese dos corpos intrusivos, destacando-se o estudo de elementos terras-raras como ferramenta exploratória regional.

A base do texto foi consolidada a partir de trabalhos desenvolvidos pelo autor na Rio Doce Geologia e Mineração S.A. - DOCEGEO, durante a segunda metade da década de 80 e início dos anos 90.

Foram várias as premissas assumidas para esta publicação, destacando-se:

- a maior importância metalogenética ultimamente - e finalmente - atribuída aos granitos, tanto por empresas mineradoras quanto por pesquisadores acadêmicos;
- o enorme potencial brasileiro para mineralizações associadas a rochas granitóides, sobretudo na região norte do país;
- a oportunidade do assunto em uma nova fase de investimentos geo-exploratórios, atualmente vivenciada pelo Brasil através de empresas estrangeiras;
- o campo de possibilidades vislumbrado para mineralizações auríferas, que constituem o alvo principal desses novos investimentos;
- a perspectiva de aplicação de conceitos geológicos e metalogenéticos muito mais claros e objetivos do que nos faz supor a literatura disponível sobre o tema;
- o interesse de que as noções apresentadas sejam mais amplamente avaliadas e de fato aplicadas pelos prospectores, e
- a expectativa de que o investimento pessoal de tantos anos de trabalho tenha realmente valido a pena.

## 2. PRINCIPAIS TIPOS DE MINERALIZAÇÃO

Rochas graníticas, ou mais amplamente caracterizáveis como granitóides, constituem fontes potenciais para metais raros, nobres e base, destacando-se jazimentos de Au, Ag, Sn, W, Mo, Nb, Ta, Cu, Pb, Zn, Be, U e Th, em diferentes associações. Do ponto de vista econômico, as principais mineralizações estão ligadas a sistemas hidrotermais manifestados nas zonas de cúpula das intrusões, filiando-se normalmente às últimas fases (mais diferenciadas) do magmatismo gerador, e sendo comumente caracterizadas como tardi a pós-magmáticas em relação à colocação do corpo granitóide.

Apesar de relativamente controvertidos quanto à designação, dois grandes grupos de mineralizações em granitóides podem ser caracterizados: o do tipo pórfiro e o de greisen. Outros tipos de mineralizações relacionam-se a skarns e veios (de quartzo e pegmatíticos), encontrados tanto no endo-contato como no exo-contato dos corpos granitóides.

As mineralizações do tipo pórfiro admitem três formas de enquadramento: *stockworks*, *breccia-pipes* e disseminadas, definidas pelas suas características próprias e relacionadas principalmente à preparação estrutural do maciço e nível de posicionamento da intrusão em relação à superfície da crosta. As mineralizações classificadas como *stockworks* manifestam-se pela atuação de soluções hidrotermais que permeiam zonas intensamente fraturadas, formando figuras do tipo "rede" com preenchimento das fraturas e alteração da rocha hospedeira. Nas mineralizações disseminadas ocorre permeação mais homogênea das soluções hidrotermais, com alteração pervasiva das rochas envolvidas. Os *breccia-pipes* representam zonas de violento alívio de pressão de fluidos, ocorrendo normalmente na forma de *pipes* com dimensões decamétricas.

Os greisens não se distinguem dos pórfiros (disseminados e *stockworks*) propriamente pela forma de manifestação das soluções hidrotermais, mas sim pelo tipo de fluido e reações por

ele provocadas nas rochas envolvidas. O processo de greisenização pode materializar-se tanto no endo-contato (endo-greisen) quanto no exo-contato (exo-greisen) das intrusões, observando-se grandes variações na sua intensidade em um mesmo maciço.

Os efeitos de metamorfismo de contato em rochas carbonáticas, ocorridos na presença de fluídos hidrotermais, determinam a formação de mineralizações em skarnitos. Veios de quartzo e pegmatíticos preenchem sobretudo zonas de fraturamento, manifestando-se, normalmente, na porção periférica dos maciços graníticos.

### 3. MINERALIZAÇÕES E ALTERAÇÃO HIDROTHERMAL

---

Existe uma grande quantidade de feições mineralógicas, químicas e texturais reconhecidas e descritas nas zonas de alteração hidrotermal, traduzidas via de regra por diferentes formas de micro, meso e macrozoneamentos. O detalhamento mais apurado de tais feições não é o objetivo desta síntese, pretendendo-se reportar tão somente às características marcantes e diagnósticas para cada tipo de processo hidrotermal e mineralização associada. As principais transformações mineralógicas manifestadas em diferentes sistemas de alteração hidrotermal dos granitóides são apresentadas no Quadro 1.

Destaca-se que os modelos de zoneamento sugeridos na literatura para as cúpulas hidrotermalizadas de corpos granitóides, tanto do tipo pórfiro quanto greisen, servem apenas como base de referência. O que normalmente ocorre é um grande imbricamento de feições, derivado da superposição espaço-temporal de fases intrusivas e processos de alteração hidrotermal associados.

**Quadro 1 - Principais transformações mineralógicas nos sistemas de alteração hidrotermal**

Quartzo	geralmente resiste à alteração, mas pode ser substituído por sericita, feldspatos, carbonatos e outros minerais.
K-feldspato	frequentemente resiste em zonas de alteração, podendo gerar, em condições mais enérgicas, sericita, hidromuscovita, argilo-minerais, alunita, epidoto, zoisita, quartzo e albita.
Plagioclásio	altera-se a sericita, hidromuscovita, argilo-minerais, alunita, epidoto, zoisita e quartzo; conteúdo cálcico pode gerar calcita; conteúdo aluminoso pode gerar clorita e biotita; freqüente substituição por sulfetos; variedades cálcicas geralmente perdem cálcio e geram albita e/ou K-feldspato.
Muscovita	gera hidromuscovita, argilo-minerais e quartzo.
Biotita	produz hidrobiotita, clorita, sericita, hidromuscovita, argilo-minerais, epidoto e quartzo; conteúdo em Fe e Mn pode gerar carbonatos (ankerita); conteúdo em Fe e Ti pode gerar magnetita, rutilo e leucóxênio. É freqüentemente substituída por sulfetos.
Hornblenda	gera biotita, hidrobiotita, clorita, sericita, argilo-minerais, epidoto e quartzo; conteúdo em Ti pode formar rutilo e leucóxênio. É freqüentemente substituída por vários sulfetos; pode gerar serpentina e talco sob certas condições.
Augita	gera hornblenda (uralita), biotita, clorita, quartzo e outros minerais comuns à alteração da biotita e hornblenda. Pode gerar serpentina e talco.
Olivina	gera minerais serpentínicos, talco, magnetita ou hematita; é freqüentemente carbonatizada, desenvolvendo ankerita; mais raramente altera-se para clorita, piroxênios e anfibólios.
Ilmenita	conteúdo de Fe pode gerar pirita; conteúdo de Ti gera leucóxênio ou rutilo.
Magnetita	frequentemente substituída por pirita; componente titanífero pode gerar leucóxênio ou rutilo.
Esfeno	gera leucóxênio ou rutilo, calcita e quartzo.
Zircão	geralmente não se altera.
Apatita	geralmente não se altera; pode ser destruída sob condições enérgicas.
Carbonatos	alteram-se em vários silicatos de cálcio, magnésio e manganês, bem como em talco e serpentina (minerais). São freqüentemente substituídos inteiramente por quartzo.

### 3.1 Alteração Hidrotermal nos Sistemas a Pórfiros

K-feldspatização (notadamente ortoclásio, mas também geração de microclínio) e sulfetação pervasivas constituem os processos dominantes. Zonas de propilitização (epidoto e/ou clorita e carbonatos), sericitização, caulínização, silicificação e carbonatização podem ser também observadas. A rocha afetada tende à coloração avermelhada/rosada ou esbranquiçada, perdendo, no todo ou em parte (dependendo da intensidade do processo), os seus minerais ferro-magnesianos. A rocha alterada também perde o brilho, tornando-se mais opaca e com aspecto graxo. Albitização normalmente ocorre de forma subordinada à K-feldspatização. No caso de *breccia-pipes*, especificamente, destacam-se as feições de brechação e a intensa turmalinização.

Os principais minerais associados aos sistemas do tipo pórfiro estão representados por pirita, calcopirita, molibdenita, scheelita e ouro, podendo ocorrer hematita em fraturas. A fluórita sempre comparece com maior ou menor expressão em qualquer sistema hidrotermal. Scheelita pode ser mineral comum, devendo-se proceder ao uso sistemático do *mineralight* (lâmpada ultravioleta), para sua determinação.

O zoneamento clássico dos Cu-pórfiros inclui basicamente um núcleo interno potássico (K-feldspatização), uma zona filica intermediária (sericitização) e um halo externo propilitico (cloritização, epidotização e carbonatização), com a mineralização sulfetada mais importante definida na interface do núcleo potássico e zona filica. (Figura 1)



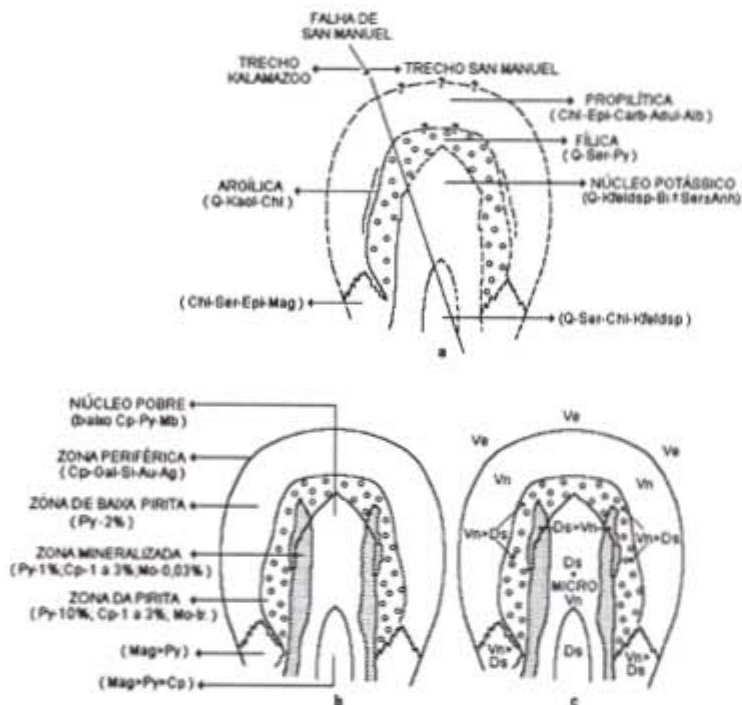


Figura 1 - Perfil esquemático de um cobre-pórfiro (Modelo Lowell e Guilbert, 1970 - Inspirado na área San Manuel-Kalamazoo/Arizona-EUA)

A evolução, profundidade e dimensões de um stock epizonal vulcânico/subvulcânico, com sistema de alteração hidrotermal do tipo pórfiro associado, são ilustradas esquematicamente na Figura 2.

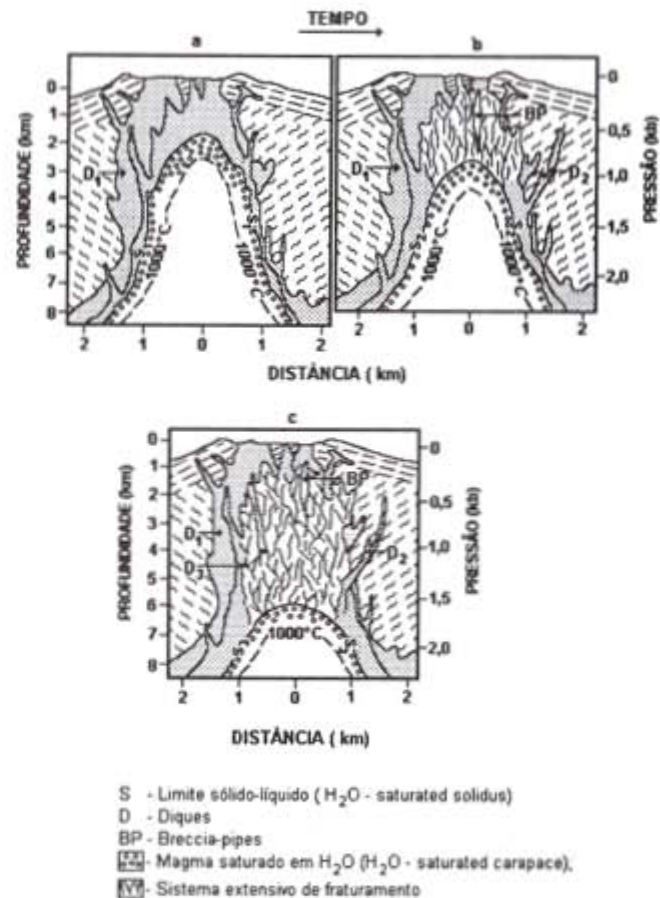


Figura 2 - Seção esquemática de um stock granodiorítico mostrando a evolução de um sistema pórfiro a Cu-Mo (Simplificado de Barnes, 1979)

### 3.2 Alteração Hidrotermal nos Sistemas a Greisen

Na-feldspatização (albitização) pervasiva, e também acompanhando fraturas, é o processo dominante. Muscovitização e presença de mica verde, nas mesmas condições da Na-feldspatização, ocorrem em situações mais enérgicas de alteração hidrotermal e identificam as zonas promissoras verdadeiramente greisenizadas. Fluorita é normalmente mais abundante do que nos pórfiros. K-feldspatização e sulfetação podem ocorrer em setores isolados e de forma subordinada. Turmalina e topázio são minerais comuns. O Y e principalmente o Rb são muito enriquecidos no sistema. O processo hidrotermal é conduzido por oxidação, tendo-se cassiterita e wolframita como principais minerais de interesse econômico. Molibdenita pode ocorrer como subproduto, presente notadamente em veios.

Os modelos clássicos de mineralizações de greisen em cúpulas graníticas, por exemplo do Erzgebirge, admitem uma zona inferior enriquecida em álcalis ( $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ) e Rb, e uma zona superior ou externa enriquecida em Li, F, B, Sn, W, ambas no endo-contato. Na zona superior, os greisens compõem um nível com 50-100 metros de espessura, acompanhando a morfologia da cúpula e sendo capeados por uma *facies* pegmatóide (*stockscheider*). As feições descritivas gerais para zonas de cúpula greisenizadas são apresentadas nas Figuras 3 e 4.

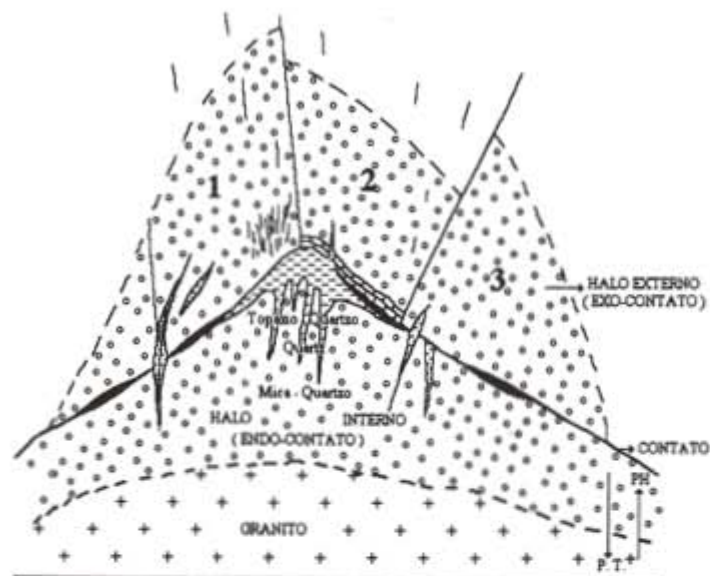


CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DOS JAZIMENTOS DO TIPO GREISEN (MODELO GREISEN CLÁSSICO DO ERZGEBIRGE / APOORANITOS NA TERM. RUSSA) (BAUMAN, 1988)



ESQUEMA DA MUDANÇA NA ACIDEZ-ALCALINIDADE DAS SOLUÇÕES NOS DEPÓSITOS GREISEN-ALBITÍCIOS

Figura 3 - Greisens: seções esquemáticas e evolução



ESQUEMA GERAL ILUSTRATIVO DAS CÚPULAS GREISENIZADAS (SICHERER, 1970)  
(Referente a quartzo-greisen e cassiterita em ambientes aluminosilicáticos, carbonáticos e ultrabásicos)



- 1) Rochas Aluminosilicáticas: Geração de Hornfels, com associações turmalina-mica e quartzo-mica
- 2) Rochas Carbonáticas: Geração de mármore, com associações de turmalina-fluorita, mica-fluorita e topázio-fluorita
- 3) Rochas Ultrabásicas: Geração de anfibólitos, com associações de clorita-talco, biotita-plagioclásio e flogopita-plagioclásio-quartzo

Figura 4 - Greisens: feições gerais em diferentes encaixantes.

### 3.3 Alteração Hidrotermal em Skarnitos

Skarnitos constituem produto de termometamorfismo sobre rochas carbonáticas no contato de intrusões. O termo hornfels designa o mesmo fenômeno sobre rochas pelíticas, caracterizando o crescimento de porfiroblastos. Contactito ou tactito são os termos genéricos aplicáveis a rochas produzidas por metamorfismo de contato.

Rochas skarníticas são mais interessantes para prospecção que as hornfelsicas, caracterizando-se por intensa recristalização (principalmente de carbonatos), neo-formação de granadas e piroxênios (blastese) e silicificação. Cloritização, piritização e epidotização são comuns. Presença acentuada de magnetita pode indicar a atuação de processos hidrotermais na intrusão, pois os minerais máficos originais do granitóide são destruídos, e o ferro migra, precipitando-se como magnetita nas rochas carbonáticas.

Skarnitos podem ser encontrados tanto no exo-contato (rocha encaixante) quanto no endo-contato (encraves) de uma intrusão. Colorações esbranquiçadas são comuns nos mármore, e verde-escuras a negras nos skarnitos de mais alto grau (*facies hornblenda-hornfels*). O principal (ou mais comum) mineral de interesse é a scheelita, que pode ser por vezes molibdenífera.

Para rochas carbonáticas com calcita dominante (calcários ou mármore calcíticos), a mineralogia básica dos skarns formados é definida por granadas, piroxênios, anfibólitos (Ca-Fe) e wollastonita. Para rochas com dolomita dominante (calcários ou mármore dolomíticos), a mineralogia básica é determinada por espinélio, forsterita, serpentina, talco, granada e anfibólitos (Ca-Fe). A maior parte dos exo-skarns mineralizados a W conhecidos são cálcicos.

Metalogeneticamente, distinguem-se os skarns do tipo W-Mo-Cu e do tipo W-Sn-F, relacionados respectivamente a granitos que desenvolvem sistemas de alteração hidrotermal e mineralizações do tipo pórfiro, e a granitos que desenvolvem sistemas de alteração hidrotermal e mineralizações do tipo

greisen. Suas principais características são sumarizadas nos Quadros 2 e 3.

**Quadro 2 - Skarns: características gerais**

Tipo W-Mo-Cu	Tipo W-Sn-F
Razões do W com Cu e Mo são de 7:1 e 3:1	Razões entre os metais são muito variáveis
Profundidade de formação > 2 km (provável)	Profundidade de formação é rasa, assumida como < 3 km
Relação com granodioritos ou quartzo-monzonitos tipo I ou magnetita	Relação com adamelitos, leucogranitos e alcaligranitos dos tipos S, A e ilmenita
A mineralização é sempre disseminada em concentrações variáveis na massa skarnizada, podendo ocorrer veios de quartzo com scheelita molibdenífera	A mineralização ocorre tanto como disseminação no skarn s.s., quanto em veios, massas sílexíticas, <i>pipes</i> com quartzo e flúor, <i>stockworks</i> quartzosos, greisens e raras zonas de brechas sulfetadas
Veios de quartzo atingem 0,5 m de espessura, contendo baixa Mo-scheelita, K-feldspato, molibdenita e pirita	Veios de quartzo atingem até 2 m de espessura, contendo wolframita e quantidades variáveis e subordinadas de Mo-scheelita, esfalerita, galena, pirita, berilo, bismutinita, topázio, fluorita e molibdenita
Os elementos diagnósticos são W, Mo e Cu, com Au, Bi, Pb e Zn subordinados	Os elementos diagnósticos são W, Sn, Be, U, ETR, Zn, Mo e Pb, com Cd, In, Au e Ag subordinados
Rochas formadoras e/ou substituídas são calcíticas	Rochas formadoras e/ou substituídas são calcíticas e dolomíticas
Principal mineral de W é a scheelita	Principal mineral é a scheelita, com wolframita dominante em veios e greisens associados

**Quadro 3 - Principais características mineralógicas dos skarns**

		Tipo W-Mo-Cu	Tipo W-Sn-F
tempo ↓	temperatura crescente ↓	granada (andradita-grossularia) + piroxênio (hedenbergita-diopsídio) + quartzo + Mo-scheelita + magnetita (rara)	magnetita + fluorita + vesuvianita rica em Fe e F ± ilmenita ± Mo-scheelita ± cassiterita ± quartzo ± k-feldspato ± siderita ± danalita ± helvita ± esfalerita ± turmalina azul
	temperatura decrescente ↓	wolastonita + vesuvianita + scheelita + granada + fluorita ± diopsídio ± grossularia	andradita rica em Sn e Ti + Fe-piroxênio + vesuvianita rica em Fe ± esfero ± scheelita
		(-350-450°C) anfibólio (Fe-hastingsita) + epidoto + calcita + quartzo + pirrotita + calcopirita + esfero ± pirita + scheelita + molibdenita ± óxidos de ferro (magnetita) ± bismutinita ± galena ± esfalerita	Fe-hastingsita rica em F e Sn + epidoto + calcita + esfero rico em Sn + esfalerita + fluorita + pirrotita ± pirita ± baringtonita ± bismutinita
		biotita ± pirita ± plagioclásio ± calcita ± pirrotita ± scheelita ± epidoto	biotita rica em F e Fe + fluorita ± ilmenita ± calcita
		stilpnomelana (rara) + clorita ± hematita	stilpnomelana rica em F + clorita ± hematita
		zeólitas cálcicas	zeólitas ricas em Ca e F. apofilita

#### 4. MINERAIS E METAIS AFINS E CARACTERÍSTICOS DOS DIFERENTES TIPOS DE MINERALIZAÇÃO

- Pórfiros (Cu, Au, Mo, W): molibdenita, scheelita, pirita, calcopirita, berilo, fluorita, ouro e turmalina (esta última em *breccia-pipes*)
- Greisens (Sn-W, Nb, Ta, U, Th, Mo): cassiterita, wolframita, topázio, turmalina, fluorita, albita, berilo, muscovita, lepidolita, zinwaldita, protolitionita.
- Skarns (W-Cu, Mo, Au): scheelita, granadas (grossulária-andradita), wollastonita, biotita, pirita, calcopirita, malaquita, magnetita
- Pegmatitos (Nb, Ta, Sn, Be): cassiterita, turmalina, muscovita, biotita, columbita, tantalita e berilo.
- Veios de Quartzo (Cu, Pb, Zn, Mo, Au, W): galena, pirita, calcopirita, esfalerita (blenda), molibdenita, ouro e scheelita.

A definição destes campos de especialização metalogênica, está ligada à hipótese de que certas linhagens granitóides reúnem condições favoráveis à remobilização de um grupo específico de elementos e à gênese de tipos também específicos de depósito, em função de características próprias ligadas à origem do corpo intrusivo.

O processo seria encarado como interativo e dependente, tanto do corpo intrusivo quanto da disponibilidade dos elementos químicos nas seqüências encaixantes. Assim, a idéia de um processo interativo admitiria, em um mesmo ambiente geológico, tanto a mobilização de Sn, W, Be, Nb, Ta e U em greisens, quanto de Cu, Mo, Au e W em pórfiros, desde que houvesse disponibilidade dos metais nas seqüências encaixantes e granitos do tipo apropriado para lixiviá-los.

O grupo de elementos que integra um ou outro campo de afinidade não é rígido, o que significa dizer que Mo poderá se associar à linhagem de mineralizações de greisen sem constituir entretanto o elemento principal, ou, em outras palavras, que os campos de especialização marcam a tônica dos jazimentos esperados, sem serem excludentes para a presença de outros elementos não simpatéticos.

Em situações desfavoráveis, produzidas ou pela inexistência de um conteúdo metálico no ambiente regional ou pela não manifestação de granitos capazes de remobilizar os metais existentes, não se deve esperar a ocorrência de mineralizações.

As principais assembléias de interesse econômico para os diferentes tipos de mineralização são sumarizadas no Quadro 4.

**Quadro 4 - Principais assembléias metálicas/mineralógicas de interesse econômico em metalogênese granítica**

Pórfiros	Pirita (Fe, S); calcopirita (Cu); molibdenita (Mo); scheelita (W); ouro; calcocita (Cu); enargita (As, Cu); arsenopirita (As, Au); tennantita (Ag); Mo-scheelita (W, Mo); galena (Pb); esfalerita (Zn); digenita (Cu); bornita (Cu).
Greisens	Cassiterita (Sn); wolframita (W); ferberita (W); huebnerita (W); powellita (Mo); molibdenita (Mo); columbita/tantalita (Nb e Ta); monazita (ETR); rutilo (Ti); xenotima (Y e ETR); fluorita; berilo (Be); minerais de U e Th; scheelita (W) - exo-contato.
Skarns e Veios	scheelita (W >>> que demais minerais dos greisens e pórfiros).
Pegmatitos	Cassiterita (Sn); wolframita (W); columbita/tantalita (Nb e Ta); berilo; monazita (ETR); xenotima (Y e ETR); minerais de U e Th; rutilo (Ti); topázio.

## 5. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E EXEMPLOS DAS MINERALIZAÇÕES

### 5.1 Pórfiros

Esta designação deriva das relações entre mineralizações cupríferas e rochas com texturas porfíricas, observadas nos Andes e na região oeste dos EUA. O termo é hoje utilizado para identificar um tipo de mineralização associada a complexos granitóides plutono/subvulcânicos/vulcânicos, não tendo conotação textural.

Até o início deste século eram apenas lavrados os filões ricos em Cu, Zn, Pb-Ag e Au, periféricos a corpos granitóides, em Bingham Canyon, Chuquicamata e El Teniente. A partir de então, o engenheiro Daniel Jackling introduziu o princípio da escala de produção, para lavra a céu aberto, de mineralizações com baixo teor, viabilizando a exploração das zonas de disseminação com Cu, W, Mo (0,5% a 2% de metal contido) nos granitóides.

Estima-se que, em média, 70% da mineralização alojam-se nas rochas ígneas do complexo plutono/vulcânico, e 30% alojam-se nas encaixantes (exo-cantato). Os sistemas do tipo pórfiro assim formados têm área de representação normalmente variável entre 1 km<sup>2</sup> e 4 km<sup>2</sup>, podendo conter, geralmente, de dezenas a centenas de milhões de toneladas de minério de cobre e molibdênio sulfetado de baixo teor; dezenas a centenas de toneladas de ouro; e, centenas de toneladas de prata.

As principais províncias de mineralizações do tipo pórfiro incidem sobre cinturões fanerozóicos e particularmente mesozóicos. A ocorrência de pórfiros do Proterozóico Médio e Superior é assinalada na Escandinávia, Canadá, África Central, Escócia e Brasil.

No geral, merecem destaque as seguintes regiões:

- Cordilheira Andina: Cu e Mo;
- América Central: Cu e Au;
- Sudoeste Americano: Cu e Mo;
- Cinturão do Colorado: Mo e W;
- Cordilheira Canadense: Cu e Mo/Mo e W;
- Urais e Transbaikalia: Cu e Mo;
- Udokan: Cu e Mo/Mo;
- Paquistão: Cu e Mo;
- China: Cu e Mo;
- Filipinas e Nova Guiné: Cu e Au, e
- Namíbia e África do Sul: Cu e Mo/Mo.

### 5.2 Greisens

O termo greisen deriva do Erzgebirge, na Europa Central, definindo os produtos extremos da alteração hidrotermal observada em cúpulas graníticas mineralizadas a Sn e W. Em sentido mais amplo, o termo greisen designa um processo de lixiviação ácida, conduzido por soluções hidrotermais muito aquecidas e ricas em voláteis, que promovem a progressiva substituição de minerais pré-existentes por agregados de micas, quartzo, topázio, fluorita e turmalina (vide Figura 3).

O processo de greisenização s.s. é antecedido e sucedido por estágios alcalinos, que desenvolvem microclinização (K-feldspatização) e albitização (Na-feldspatização). A intensidade do processo pode não ser suficiente para a formação dos greisens s.s., gerando-se nessas condições um sistema apenas albitizado (sistema albitico ou albititos).

A literatura especializada consagra diversas designações para os granitóides que geram sistemas do tipo greisen e/ou albitizados, destacando-se: granitos estaníferos, granitos a

duas micas, apogranitos e granitos especializados a metais raros. A maior parte e as mais importantes mineralizações estão relacionadas a suítes monzograníticas/sienograníticas, assumidas como de origem crustal (refusão de crosta continental) e geradas em cinturões orogênicos de tectônica colisional. São também observadas mineralizações e/ou sistemas do tipo greisen em granitos alcalinos/peralcalinos anorogênicos, bem como em suítes alaskíticas/leucograníticas de faixas orogênicas.

A região do Erzgebirge, na porção norte do Maciço da Bohêmia (Europa Central), constitui a área tipo ou clássica de definição dos sistemas a greisen, ali relacionados a intrusões multifásicas de evolução monzo/sienogranítica, datadas do Carbonífero Superior (Ciclo Variscano). Na zona superior das cúpulas dessas intrusões ocorrem massas mais intensamente greisenizadas, muito enriquecidas em Li, F, B, Sn, W e Mo e, portanto, de interesse econômico. Essas massas greisenizadas compõem um nível de 50-100 m de espessura, acompanhando grosseiramente a morfologia das cúpulas, sendo parcialmente capeadas (manteadas) pelo material pegmatóide denominado *stockscheider*.

Os teores de Sn + W (cassiterita e wolframita) variam de 0,5% a 1% , atingindo até 20% a 30% em zonas excepcionalmente ricas e compondo jazidas de 20-30 milhões de toneladas de minério. Mineralizações de interesse econômico são também anotadas em veios periféricos no exo-contato, constituindo filões isolados ou lodes (enxames). Da mesma forma que nos pórfiros, tais veios representam as mineralizações historicamente lavradas no Erzgebirge, até que trabalhos de lavra subterrânea acessaram as cúpulas não-aflorantes com minério de maior tonelagem e menor teor.

A maior produção de metais raros provenientes de mineralizações a greisen deriva das seguintes províncias:

- Brasil: Rondônia, Roraima, Amazonas, Goiás e Pará (greisens a Sn, W, Nb, Ta, Be, ETR), Bahia (albititos com U);
- Bolívia: greisens a Sn, W, Nb e Ta;

- Grã-Bretanha: greisens a Sn e U;
- Portugal: greisens a W, Sn, Nb, Ta e ETR;
- Europa Central: greisens a Sn, W, Mo, U, Be e ETR;
- Ex-União Soviética: greisens a Sn, W, Nb, Ta, Be, U e ETR;
- China e Coreia: greisens a W, Sn, Nb, Ta e ETR;
- Indonésia: greisens a Sn, W, Nb, Ta e ETR, e
- Nigéria: greisens a Sn, Nb, Ta, Be e ETR

### 5.3 Skarns

As rochas carbonáticas que formam os skarnitos funcionam como "depressoras" de grandes quantidades e tipos de fluídos, neutralizando as soluções hidrotermais, mudando a solubilidade dos constituintes e causando precipitação e fixação de minerais de interesse. O transporte de massa é realizado por fluídos salinos quentes, sendo o fluxo facilitado por fraturas relacionadas à intrusão do corpo granítico, principalmente quando o plúton é alojado em nível crustal mais raso.

Skarnitos podem ser encontrados tanto no exo-contato (rocha-encaixante) quanto no endo-contato (encraves) das intrusões. A maior parte dos skarns conhecidos são cálcicos e posicionados no exo-contato, destacando-se: King Island-Tasmânia; Pine Creek-EUA; Mactung-Canadá; Sandong-Coréia e Sulare-França. Rochas skarníticas com mineralizações de W podem ainda resultar da intrusão de granitoides em unidades (camadas) carbonáticas portadoras de metais, formando depósitos com caráter *stratabound* (por exemplo scheelita na área Bindal-Noruega; no Colorado-EUA; em Felbertal-Austria, e em Broken Hill-Austrália).

Os teores de  $WO_3$  em skarnitos variam normalmente de 0,3% a 2%, podendo atingir 10% a 15% em zonas excepcionalmente ricas. O prospecto do IPT no Granito Itaoca - Vale do Ribeira/SP, por exemplo, evidenciou teores de até 1,5% de

WO<sub>3</sub> com média de 0,5%, apontando reservas que poderiam se situar entre 1.000.000 e 10.000.000 t de minério.

Na região do Bloco Moldanúbico, no Maciço da Bohêmia, a empresa Geoindústria identificou quase uma centena de alvos para scheelita associada a skarnitos, em encraves carbonáticos do Maciço Centro-Bohêmico (granodioritos). As dimensões dos encraves são geralmente reduzidas (da ordem de dezenas de metros), mas as mineralizações alcançam teores muito elevados (de 20% a 30% de scheelita, como no prospecto de Vrbik).

A presença de conteúdos de molibdênio na scheelita foi, no caso dos pesquisadores tchecos, apontada como especificação positiva para aços especiais a W e Mo. Outras referências apontam a scheelita molibdenífera como fator restritivo de aproveitamento, o que dá margem a dúvidas sobre a questão.

#### 5.4 Pegmatitos

O termo pegmatito designa rochas quartzo-feldspáticas grosseiras, via de regra geradas por cristalização fracionada de magmas graníticos residuais ricos em voláteis. A importância econômica dos pegmatitos graníticos está relacionada ao conteúdo de elementos raros e outros metais/minerais de interesse industrial, destacando-se feldspato (para cerâmicos), cristal de rocha (quartzo de coloração variada), topázio, turmalina, muscovita, berilos, cassiterita (Sn), wolframita (W), columbita-tantalita (Nb e Ta), polucita (Cs), petalita, espodumênio e lepidolita (Li), microlita (Ta), ETR e U.

Os corpos pegmatíticos têm forma muito variada, predominando as tabulares sobre as lenticulares, ramificadas, irregulares, bulbosas e tubulares. Suas formas são dependentes das estruturas das rochas encaixantes que condicionam as intrusões, destacando-se falhas, fraturas, acamamento/bandeamento e xistosidade.

A dimensão dos corpos é também muito variável, atingindo até 1.500 m de comprimento por 150 m de espessura, sendo

que seu interesse econômico é diretamente proporcional à sua dimensão. A grande irregularidade morfológica dos corpos pegmatíticos traduz dificuldades para os moldes tradicionais de pesquisa e lavra das grandes corporações mineiras, decorrendo daí o pouco interesse dessas corporações em programas exploratórios. Algumas das maiores jazidas relacionadas a pegmatitos são conhecidas na Austrália (Greenbushes), Zaire (Manono), Canadá (Tanco) e Brasil (Xupé).



## 6. CLASSIFICAÇÃO DOS GRANITÓIDES PARA PROSPECÇÃO

Para efeito objetivo de prospecção, pode-se caracterizar a existência de dois grandes grupos de granitóides: greisen-granitos e pórfiro-granitos.

Essa divisão não está baseada em qualquer proposta formal de classificação, refletindo uma possibilidade de enquadramento julgado interessante em programas exploratórios. A noção básica embutida nessa classificação está ligada à especialização metalogenética e origem dos granitóides, sendo os greisen-granitos potenciais para Sn, W, Nb, Ta, U, Th e Mo, supostamente derivados de crosta continental, e os pórfiro-granitos, potenciais para Cu, Mo, Au, W, supostamente derivados do manto, neste caso com ou sem contaminação de crosta continental.

Quanto ao enquadramento de um corpo intrusivo no grupo dos greisen-granitos ou no dos pórfiro-granitos, conforme discutido no presente texto, pode-se lançar mão de um parâmetro simples e objetivo, que tem mostrado boa aplicabilidade nos casos estudados.

Esse parâmetro diz respeito ao padrão de comportamento de elementos terras-raras no diagrama de normalização a condritos. O diagrama é apresentado junto com os resultados de análise de terras-raras nas amostras de rochas granitóides dosadas, sendo, portanto, de fácil observação.

Três tipos básicos de diagramas são obtidos em rochas granitóides, dois deles para greisen-granitos e um para pórfiro-granitos. Algumas amostras fornecem padrões não convencionais em determinados maciços, constituindo, entretanto, exceções à regra. Outras vezes padrões dos pórfiro-granitos e dos greisen-granitos são observados em um mesmo corpo, o que parece refletir um exemplo (raro) de rochas com diferentes origens integradas a maciços multifásicos.

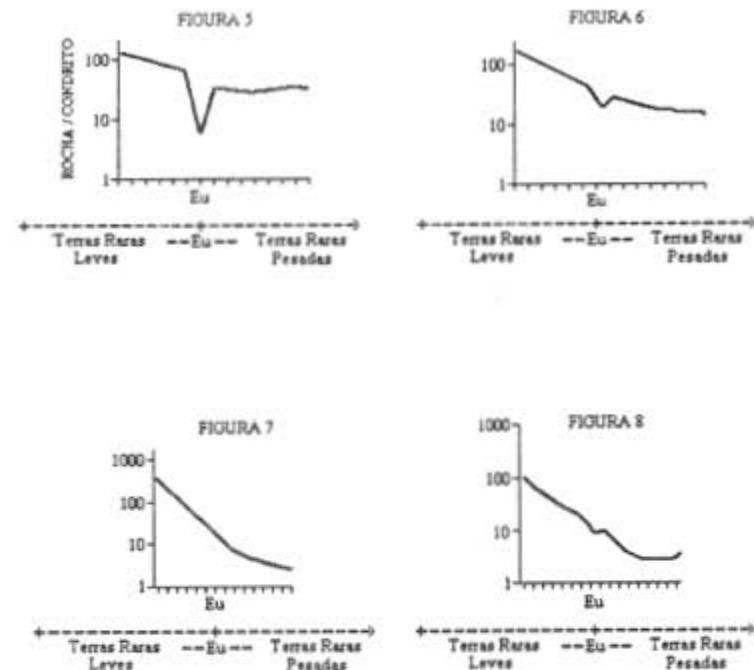
Os dois padrões que tipificam os greisen-granitos têm como características comuns a depleção mais ou menos acentuada de Eu e um maior equilíbrio entre terras-raras leves e pesadas, conforme ilustrado nas Figuras 5 e 6.

Na Figura 5 observa-se tanto um maior equilíbrio entre terras-raras leves e pesadas quanto uma depleção mais acentuada de Eu, em relação à Figura 6. Pelos numerosos exemplos estudados no Brasil, o diagrama da Figura 5 reflete fases mais evoluídas/diferenciadas, normalmente tardias, de um maciço polifásico, ou corpos mais diferenciados de uma mesma suíte ou linhagem manifestada no ambiente geológico.

Também a partir de diversos exemplos conhecidos, pode-se atribuir maior favorabilidade metalogenética aos greisen-granitos que fornecem o padrão da Figura 5, que devem ser assim priorizados, em relação àqueles com padrão da Figura 6, nos programas de exploração.

Para os pórfiro-granitos, o padrão de terras-raras no diagrama de normalização apresenta-se como uma curva descendente mais acentuada das terras leves para as pesadas, sem depleção de Eu. O comportamento geral desse padrão pode ser observado na Figura 7.

A análise de alguns granitos brasileiros, portadores de mineralizações auríferas, revelou um padrão semelhante ao dos pórfiro-granitos, mas com depleção discreta de Eu no diagrama de normalização (Figura 8). Os corpos analisados evidenciaram que as zonas de alteração hidrotermal mineralizadas são caracterizadas por um processo marcante de albitização, substituindo a K-feldspatização comum aos sistemas do tipo pórfiro. O mesmo padrão de diagramas foi obtido para corpos granitóides aflorantes, em faixas com mineralizações auríferas associadas a outros controles litológicos/estruturais, sinalizando que tais granitóides podem ter participado da fertilidade do ambiente metalogenético.



Figuras 5, 6, 7 e 8 - Padrões de ETR obtidos em granitóides no diagrama de normalização a condritos

Ressalta-se, assim, a possibilidade de utilização desses diagramas para o estabelecimento de zoneografias metalogenéticas e análise previewal dos granitóides em uma determinada região. A distinção efetiva entre as duas linhagens (greisen/crustais x pórfiros/mantélicos), permite dirigir os trabalhos para os corpos com especialização metalogenética identificada às prioridades da prospecção, enquanto que a caracterização de rochas que fornecem diagramas típicos da Figura 5 permite priorizar os corpos ou fases mais promissoras especificamente entre os greisen-granitos.

A proposta de enquadramento genético e metalogenético dos granitóides, correspondente a greisen-granitos de origem

crustal e pórfiro-granitos de origem mantélica, traduz a essência do conceito dualista emitido por vários pesquisadores.

As principais referências de consulta, sugeridas pela objetividade e clareza do enfoque, são os trabalhos de Keqin *et al.* (1984), Harris *et al.* (1986) e Lyakovich (1988 e 1989).

Keqin introduz bases sólidas de distinção para granitóides aflorantes no sul da China, destacando os padrões de ETR como um dos parâmetros mais importantes de enquadramento.

Harris descreve as características do magmatismo granitóide em cinturões de tectônica colisional, identificando grupos de intrusões relacionados a diferentes estágios de evolução.

Lyakovich apresenta numerosos critérios para identificação e discriminação de granitóides mantélicos e granitóides crustais, mas também abordando seus campos de especialização metalogenética.

Esses três autores vinculam-se a escolas diferentes, mas sintetizam o mesmo pensamento, distinguindo dois grupos básicos de granitos (crustais e mantélicos) e dois campos básicos de especialização metalogenética a eles atribuídos (Sn, W, Nb, Ta, U, Th e Mo para os crustais e Cu, Au, Mo e W para os mantélicos).

A especialização metalogenética dos granitóides crustais é compatível a mineralizações do tipo greisen, enquanto a dos mantélicos correlaciona-se às mineralizações do tipo pórfiro, justificando-se assim a proposta de enquadramento aqui apresentada para greisen-granitos e pórfiro-granitos.

Um exemplo brasileiro de aplicação dessas bases de enquadramento genético e metalogenético é fornecido por Chiodi Filho *et al.* (1989) para os granitóides aflorantes no Escudo Paranaense.

## 7. FEIÇÕES DE INTERESSE PARA OBSERVAÇÃO EM ÁREAS DE TRABALHO

---

Para o estabelecimento de programas exploratórios que enfoquem metalogênese granítica, alguns pontos devem ser observados no âmbito da área objetivada:

- a) presença mais ou menos extensiva de intrusões graníticas aflorantes e conhecidas, compondo corpos circunscritos;
- b) presença de encaixantes supracrustais, envolvendo seqüências vulcano-sedimentares de baixo e médio grau metamórfico (devem ser priorizados os granitos com encaixantes supracrustais, em relação àqueles com encaixantes infracrustais);
- c) caracterização de parâmetros que indiquem um certo grau de preservação erosiva dos corpos granitóides e encaixantes, destacando-se como mais interessantes, no Brasil, as faixas de borda de bacias paleozóicas e aquelas tectonicamente abatidas (grabens etc.);
- d) caracterização do nível de alojamento dos granitóides, pois admite-se que as cúpulas dos corpos potencialmente mineralizados posicionam-se, quando da sua intrusão, entre 0 e 6 km de profundidade. Constitui feição diagnóstica, neste caso, a presença de vulcânicas e/ou subvulcânicas (riolitos, quartzo-pórfiros e granófiros) associadas ao maciço, da mesma forma que a ocorrência de texturas aplíticas e/ou pegmatóides indicaria alojamento pouco mais profundo e, portanto, menos interessante para as mineralizações de cúpula;
- e) presença de corpos com pequenas e médias dimensões (até 25 km<sup>2</sup>);

- f) observação da existência de corpos maiores que constituam intrusões multifásicas, pois cada fase integrante de um maciço tem características próprias, inclusive metalogênicas, e
- g) identificação de processos de alteração hidrotermal e mineralizações em corpos conhecidos, ressaltando-se que a distinção visual da alteração hidrotermal em relação à intempérica é problemática em climas tropicais/subtropicais.

## 8. SISTEMÁTICA E METODOLOGIA DE TRABALHO PARA PROSPECÇÃO

### 8.1 Trabalhos Regionais

#### 8.1.1 Análise morfo-estrutural de fotos e imagens

Esta atividade possibilita a identificação de lineamentos tectônicos (possíveis controladores de intrusões granitóides), estruturas circulares (intrusões aflorantes ou subaflorantes não mapeadas) e a melhor delimitação dos corpos conhecidos. Podem ser utilizadas fotos aéreas convencionais (1:60.000), imagens de radar (1:100.000, 1:250.000) e imagens de satélite (normalmente canais 3 e 4 do TM - 1:100.000 e 1:250.000).

#### 8.1.2 Análise multiespectral de imagens de satélite

As composições coloridas falsa-cor de imagens de satélite, processadas automaticamente por computador, permitem a discriminação de zonas de hidrotermalismo manifestadas em corpos granitóides e ao longo de lineamentos tectônicos. O programa de varredura na região enfocada deve idealmente partir de um padrão amostral, relacionado a uma mineralização conhecida e que possa ser reproduzida através de processamento em todo o ambiente para detecção de similares. Também em termos ideais, a área enfocada não deve estar descaracterizada fisiograficamente pela ação antrópica, pois as zonas afetadas por hidrotermalismo são detectadas principalmente pelo "estressamento" da vegetação original. Aplicações muito positivas de análise multiespectral têm sido efetuadas na Austrália, Canadá e Estados Unidos, dispondo-se no Brasil de testes com bons resultados para os granitos estaníferos de Goiás.

#### 8.1.3 Aerocintilometria

Programas de levantamento cintilométrico aeroportado para os canais de U, Th, K e contagem total também têm boa aplicabilidade na prospecção de granitóides, ainda mais se analisados os perfis rebatidos das razões U/Th, Th/K e U/K. Todos os corpos granitóides fornecem algum tipo de assinatura cintilométrica destacada em relação às encaixantes, permitindo a caracterização de conjuntos com padrões equivalentes. Os granitóides de assinatura compatível ao de um corpo com mineralização conhecida podem ser, assim, priorizados no programa de exploração.

Trabalhos efetuados em outros continentes (principalmente Austrália) demonstraram a aplicabilidade da cintilometria, diagnosticando que padrões anômalos para a razão U/Th podem associar-se a granitóides potencialmente mineralizados a wolframita e cassiterita, e que anomalias Th/K são obtidas em skarnitos mineralizados.

#### 8.1.4 Litoquímica e petrografia

A análise química de rocha total (óxidos maiores, elementos traços e raros), aliada à análise petrográfica com vistas à classificação modal no Diagrama QAP, permitem fixar critérios de discriminação de linhagens e suites granitóides no ambiente geológico considerado. A observação dos padrões de ETR nos diagramas de normalização a condritos, particularmente, viabiliza, conforme já referido, o estabelecimento de zoneografias metalogenéticas.

Tais procedimentos devem também ser observados em mineralizações conhecidas, no sentido de caracterizar o tipo de alteração hidrotermal manifestada e o comportamento dos ETR frente à alteração. Parâmetros assinalados em granitóides do Vale do Ribeira/PR indicaram a preservação das características básicas das curvas de ETR, em rochas hidrotermalizadas e não hidrotermalizadas de um mesmo maciço granitóide.

## 8.2 Trabalhos de Semidetalhe

Os trabalhos enquadráveis como de semidetalhe, envolvendo levantamentos específicos para o corpo granitóide e encaixantes imediatas, incluem mapeamento geológico na escala 1:25.000 e prospecção geoquímica por concentrados de bateia e sedimentos de corrente. A realização de levantamentos integrados de mapeamento e prospecção geoquímica é fundamental, pois são técnicas que se complementam no rastreamento e entendimento das mineralizações.

### 8.2.1 Mapeamento geológico 1:25.000

A técnica de fotoanálise ou fotointerpretação, que precede os levantamentos de campo, é primordial para o entendimento do maciço e discriminação de diferentes *facies* ou fases intrusivas. Procedimentos sistemáticos de fotoanálise, como os utilizados pelo Dr. Paulo César Soares (UFPR), viabilizam a caracterização de zonas homólogas através de feições morfo-estruturais; tais zonas homólogas, internas ao maciço, traduzem diferenciações litológicas dificilmente diagnosticáveis no mapeamento de campo. Todos os maciços estudados, por exemplo, pela DOCEGEO, no Escudo Paranaense, são multifásicos e têm mineralizações associadas a fases específicas da intrusão, derivando daí a necessidade de critérios rígidos de fotointerpretação.

Ao nível dos trabalhos de campo, deve-se ter em mente que as rochas granitóides aflorantes são normalmente "secas", pois aquelas hidrotermalmente alteradas e, portanto, de interesse, são mais facilmente intemperizadas. Outro detalhe importante é a dificuldade de distinção, em climas subtropicais, dos processos de alteração intempérica daqueles de alteração hidrotermal.

Os principais campos de observação no terreno referem-se a: definição de sistemas de fraturamentos abertos; reconhecimento de feições de alteração hidrotermal; definição da presença de megaenclaves skarnizados; definição do halo de metamorfismo de contato e alteração hidrotermal nas encaixan-

tes, e reconhecimento de rochas vulcânicas e subvulcânicas co-magmáticas.

Os sistemas de fraturamentos abertos representam estruturas potencialmente mineralizadas no endo e exo-contato do corpo intrusivo, tendo-se em certos casos uma menor inclinação dos veios nas zonas superiores do exo-contato das cúpulas graníticas, e verticalização nas porções laterais do exo-contato.

O reconhecimento das feições de alteração hidrotermal representa um primeiro passo na definição de favorabilidades metalogenéticas, devendo-se proceder à caracterização do tipo, seqüência e intensidade dos processos através de análises petrográficas. Diagramas binários  $K_2O \times SiO_2$  e  $Na_2O \times SiO_2$ , bastante simples, também permitem a distinção de rochas metassomatizadas e não-metassomatizadas.

A presença de megaenclaves poderá definir prospectos específicos, para jazimentos de pequeno volume e alto teor, com mineralizações de Cu (sulfetos e óxidos) e W (scheelita), principalmente quando tais enclaves se associarem a granitóides de derivação mantélica (pórfiro-granitos).

O halo de metamorfismo de contato e a alteração hidrotermal nas encaixantes imediatas constituem feições favoráveis para a presença de mineralizações no exo-contato das intrusões.

Rochas vulcânicas e subvulcânicas, co-magmáticas à intrusão granitóide, indicam nível de alojamento epizonal e preservação erosiva (pelo menos parcial) das zonas de cúpula das intrusões, destacando-se assim a importância do reconhecimento de granófiros, riolitos e quartzo-pórfiros. Da mesma forma, a presença de texturas aplíticas e pegmatóides indicaria, ou nível de alojamento mesozonal, ou nível de erosão já mais profundo, traduzindo, assim, menor favorabilidade para geração/preservação de mineralizações em zonas de cúpula.

No caso dos maciços multifásicos, a observação das relações de contato entre os diferentes constituintes da intrusão permite definir os estágios de evolução. A evolução magmática

de um maciço prograde normalmente de fases precursoras menos ácidas para fases tardias mais ácidas, tendo-se, via de regra, mineralizações associadas às fases tardias (enriquecidas em voláteis e, portanto, metalogeneticamente especializadas).

### 8.2.2 Prospecção geoquímica - Sedimentos de corrente

Trabalhos de prospecção geoquímica de sedimentos de corrente devem prever a cobertura total do maciço focado e encaixantes diretas, com densidade de coleta nunca inferior a 1 amostra/km<sup>2</sup> e amostragem em duplicata a cada 10 pontos para controle de laboratório. Estudos orientativos são recomendados em mineralizações conhecidas, visando definir a melhor fração granulométrica para análise e o espaçamento da malha. Normalmente, a fração -80 mesh (0,175 mm) atende de forma satisfatória a prospecção, fornecendo, para os elementos dosados, maior número de resultados acima do limite inferior de detecção, maior média geométrica e maior variância.

Em campanhas sistemáticas podem ser analisados 19 elementos químicos (Cu, Pb, Zn, Nb, Ta, F, Be, Y, Sn, Mo, W, Au, Ag, As, Sb, Li, B, Bi, Rb), utilizando-se o método analítico mais indicado para cada elemento e evitando-se assim um procedimento padrão não-adequado, por exemplo, como a espectrografia ótica semiquantitativa. A prévia definição da tipologia dos granitóides permite inferências sobre as mineralizações esperadas (greisens ou pórfiros) e focaliza o campo de análise.

O tratamento de dados deve incluir estatística convencional univariada (média, desvio e histogramas normais e lognormais), matriz de correlação, análise de tendência (ajustamento de superfícies lineares, quadráticas e cúbicas) e análise de fatores (*proportional plot* e mapa de contorno dos fatores). Análise de tendência e fatores apresentam ótimos resultados mesmo para malhas de amostragem não-regulares, pois basicamente mapeiam um processo metalogenético de forma integrada.

Ao nível de uma primeira avaliação dos resultados, o mais importante é a definição de contrastes entre áreas de um mesmo maciço, pois a manifestação de resultados positivos,

independentemente dos valores absolutos, indica a existência de fases/*facies* metalogeneticamente especializadas e talvez efetivamente mineralizadas. Neste sentido, vale destacar que existem granitóides absolutamente estéreis, e estes não fornecem nenhum resultado na prospecção geoquímica, contrariando-se assim a idéia de que qualquer corpo granitóide fornece algum tipo de anomalia em amostragem de sedimentos de corrente.

Nos pontos de coleta de sedimentos, é também recomendada a dosagem de íon fluoreto em água. Esta medição pode ser efetuada no próprio local, com a utilização de kits colorimétricos. Os kits fabricados no Brasil permitem leitura imediata, com sensibilidade de 0,1 ppm na faixa de 0 a 1,2 ppm. Tal procedimento é interessante, não só para o rastreamento de mineralizações de fluorita, como também para a prospecção de outros sistemas metalogenéticos em granitóides, pois o flúor comparece na associação geoquímica dos principais jazimentos ligados a greisens e pórfiros. De maneira geral, valores entre 0,2 e 0,4 ppm de flúor em águas podem ser considerados normais nas drenagens de seqüências supracrustais com intrusões granitóides, elevando-se a patamares superiores a 0,6 ppm em zonas mineralizadas.

### 8.2.3 Prospecção geoquímica - Concentrados de bateia

A prospecção por concentrados de bateia em aluviões deve ser implementada com densidade média de 1 amostra/km<sup>2</sup>, coletando-se material preferencialmente nas mesmas estações arbitradas para sedimentos de corrente. Em cada ponto é necessário o bateamento de 2 amostras com 10 litros cada, destinadas à análise química e mineralógica quali-quantitativa.

A amostra selecionada para análise química deve ser pouco apurada ("sal com pimenta"), prevendo-se dosagem de Sn, W, Mo, Nb, Ta, F, B, Li, Be, Au, Ag e As. A amostra selecionada para mineralogia pode ser mais apurada, prevendo-se avaliação quali-quantitativa das frações magnética, não-magnética densa e não-magnética leve.

Recomenda-se ainda a coleta de uma amostra complementar, de 5 litros, para análises expeditas em escritórios de campo, envolvendo morfoscopia em lupa binocular; queima de amostra com HCl em cadinho de chumbo (observação de cassiterita); utilização de *mineralight* (lâmpada ultravioleta) para detecção de scheelita; contagem de pintas de Au e, separação de magnetita.

Em exemplos conhecidos, a prospecção geoquímica por concentrados de bateia mostrou-se como base diagnóstica para sistemas metalogenéticos de granitóides, superando a prospecção por sedimentos de corrente, sobretudo em mineralizações de greisen.

Os minerais destacados na prospecção geoquímica por concentrados de bateia são a seguir discriminados:

**Pórfiros:** scheelita, ouro e turmalina (esta nos *breccia-pipes*);

**Greisens:** cassiterita e/ou wolframita, topázio, turmalina, fluorita e berilo;

**Skarns:** scheelita, granadas, anfíbólios, piroxênios e magnetita;

**Pegmatitos:** columbita, tantalita, cassiterita e berilo, e

**Velos de quartzo:** galena, blenda, pirita, calcopirita (desde que a amostra provenha de ponto muito próximo da mineralização) e ouro.

### 8.3.4 Trabalhos de Detalhe

Com a definição de alvos, através de adensamento da malha de prospecção geoquímica de concentrados e sedimentos, passa-se a um estágio de maior detalhe onde a metalometria de solos é exigida. A metalometria de solos deve cobrir todo o setor anômalo em malha regular, preferencialmente de 100 x 50 m (100 m entre linhas e 50 m entre amostras). A coleta pode

ser efetuada com "bocas de lobo", selecionando-se amostras do horizonte B ou níveis inferiores ao do capeamento orgânico superficial. Para cada ponto é recomendável a amostragem de material para análise química (1 kg, com dosagem da fração - 80 mesh após pulverização da amostra) e material para bateamento (2-3 litros, com mesmo procedimento referido para concentrados de aluvião). As picadas da malha de solos devem ser aproveitadas para detalhamento geológico na escala 1:5.000, com análises químicas quantitativas, em rochas, para os elementos de interesse na pesquisa.

A malha de solos servirá também como base para levantamentos geofísicos, adotando-se métodos compatíveis ao tipo do jazimento vislumbrado.

O tratamento dos resultados de análise química de solos, que envolve análise de tendência e análise de fatores, permitirá a delimitação física da mineralização ou mineralizações e viabilizará a abertura de trincheiras e furos de sonda.

Alguns autores admitem que, nas condições de clima tropical/subtropical, os teores esperados na mineralização primária serão três vezes maiores que aqueles valores obtidos em solos.

## 9. FEIÇÕES DE INTERESSE PARA MINAS GERAIS: UM EXEMPLO

No estado de Minas Gerais, numerosos corpos granitóides são assinalados nas faixas móveis marginais ao Cráton do São Francisco, intrudindo tanto seqüências vulcano-sedimentares de baixo a médio grau metamórfico (supracrustais) quanto complexos gnáissico-migmatíticos e granulíticos (infracrustais).

Neste contexto são bastante acentuados os processos de transposição tectônica, associados a zonas de cisalhamento e característicos dos terrenos policíclicos de evolução complexa. É também já bastante acentuado o nível geral de erosão das seqüências encaixantes e corpos graníticos nelas alojados. Tais fatores (transposição estrutural e nível de erosão) são, conforme já referido, negativos para a preservação das zonas de cúpula de intrusões que porventura contivessem mineralizações.

Assim, as melhores perspectivas de enfoque metalogenético de granitóides podem ser fixadas para mineralizações de veios, skarns e obviamente pegmatitos, não necessariamente apicais nas intrusões e portanto preserváveis em condições de maior arrasamento.

Na borda leste do Cráton do São Francisco, em Minas Gerais, reporta-se um primeiro exemplo no qual se evidencia a existência de mineralizações diretamente associadas a corpos graníticos, bem como um segundo caso em que as informações sugerem participação de granitos na fertilização do ambiente.

O primeiro exemplo é ilustrado pelos granitos Itabira e Morro do Urubú, aflorantes no Bloco Guanhães-Itabira e integrados à denominada Suite Borrachudos, que inclui outros corpos co-genéticos (Açucena, Peti, Senhora do Porto e São Félix). Nas áreas de afloramentos dos granitos Itabira e Morro do Urubú são descritas feições comuns de albitização e fluoritização, bem

como assinaladas anomalias extensivas de Sn e W em sedimentos de corrente e de cassiterita e wolframita em concentrados de bateia nos aluviões. A par das assinaturas obtidas nos diagramas de terras-raras (Figura 9), compatíveis às dos já mencionados greisen-granitos, tais informações comprovam: a existência de mineralizações do tipo greisen em granitóides mais antigos; a efetiva existência de greisen-granitos em Minas Gerais, o que já se poderia deduzir pela existência de pegmatitos com metais raros; o efeito da transposição e erosão das zonas de cúpula nos terrenos antigos de evolução complexa mais denudados; a necessidade de parâmetros em petrografia e litológica, bem como da prospecção geoquímica, para o reconhecimento e entendimento de mineralizações nos granitóides.

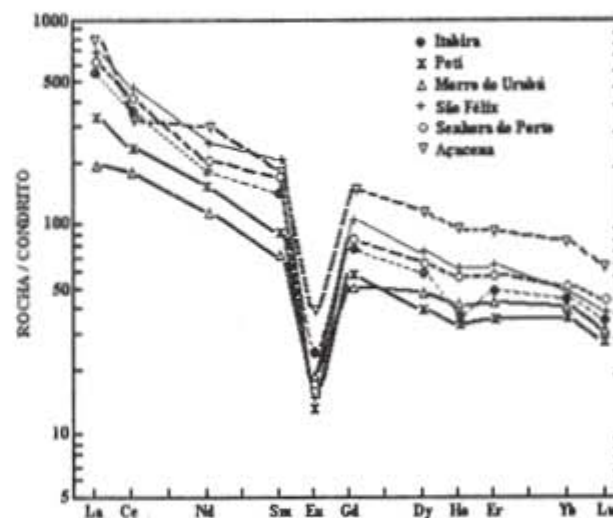


Figura 9 - Padrões de ETR no diagrama de normalização a condritos, para granitos da suite Borrachudos



O segundo caso é ilustrado por um alinhamento de corpos granitoides, ainda não perfeitamente cartografados, que se distribui desde Itabira (sul) até Riacho dos Machados e Rochedo (norte). Esses granitoides são informalmente designados como Ribeirão do Tanque (Itabira), Córrego do Chiqueiro (Gouveia), Botumirim, Itacambira, Barreiro da Raiz, Cemitério (Riacho dos Machados) e Rochedo, aflorando principalmente em janelas do embasamento das rochas Espinhaço e Macaúbas. A linearização das intrusões e a proximidade de várias mineralizações auríferas conhecidas, sugere condicionamento tectônico específico e a sua correlação genética, o que é reforçado pelo padrão de ETR (Figura 10), similar para todos os corpos e compatível aos de granitos auríferos de outras regiões brasileiras (vide Figura 8). Pelo menos no granito Botumirim são anotadas anomalias geoquímicas para ouro e observadas alterações hidrotermais semelhantes às dos pórfiros, sinalizando que tais granitoides podem ter, pelo menos em parte, funcionado como fonte primária das mineralizações auríferas, manifestadas em zonas de cisalhamento (por exemplo, Riacho dos Machados).

Outros corpos aflorantes no norte do estado, já no Vale do Jequitinhonha (Pedra Azul-Medina), fornecem os mesmos padrões de ETR dos granitoides auríferos do tipo Botumirim, destacando-se assim a referida favorabilidade para o ambiente da Faixa Araçuaí. Da mesma forma, destaca-se o granito Ibituruna (Governador Valadares), que apresenta diagrama compatível ao dos granitoides mantélicos (pórfiro-granitos, referenciados na Figura 7) e evidencia anomalias geoquímicas de cobre em sedimentos de corrente.

Esse assunto mereceria discussão mais ampla para o estado de Minas Gerais, pois o estudo detalhado dos granitoides, inclusive geocronológicos, permitiria inferências bastante interessantes, não só do ponto de vista metalogenético quanto das formulações geotectônicas de evolução crustal.

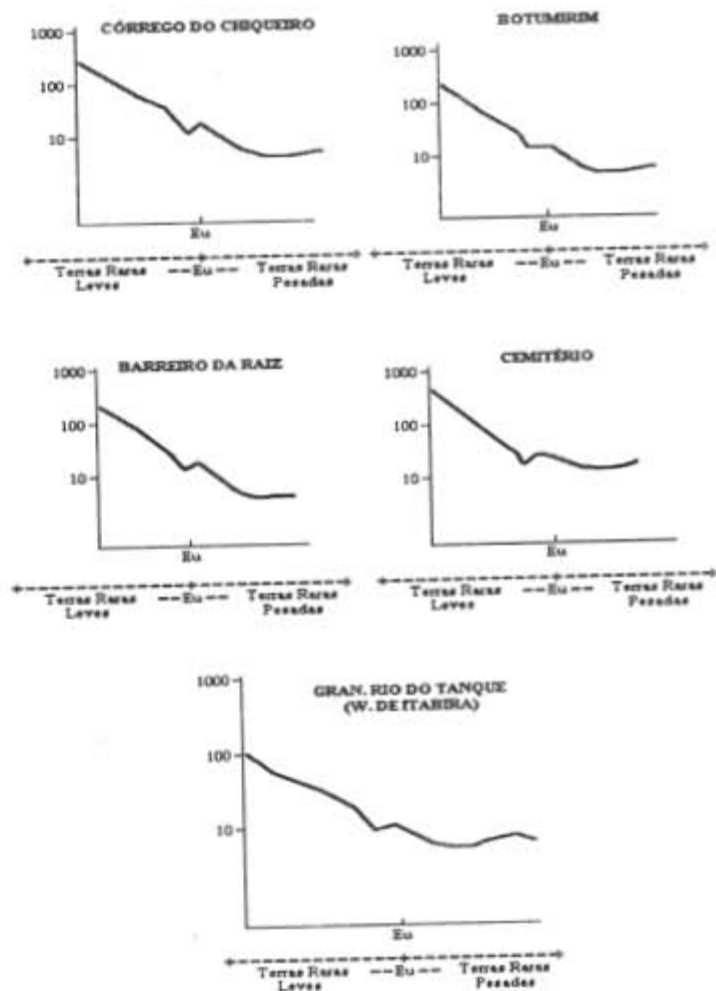


Figura 10 - Diagramas de ETR para granitoides aflorantes em janelas do embasamento das rochas Espinhaço e Macaúbas-MG

## 10. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A partir dos parâmetros comentados no texto, pode-se apresentar as conclusões e recomendações seguintes:

- As mineralizações em intrusões granitóides são decorrentes de processos interativos, vinculados à origem do corpo intrusivo, evolução magmática espaço-temporal, índice de autometassomatismo e disponibilidade dos elementos químicos nas seqüências encaixantes.
- Supõe-se que certas linhagens granitóides favoreçam a remobilização de grupos específicos de elementos e a gênese de tipos específicos de depósitos. Para efeito de programas exploratórios, pode-se formalizar a existência de greisen-granitos e pórfiro-granitos, compatíveis respectivamente a uma origem crustal e mantélica. Os greisen-granitos apresentam-se mais favoráveis para Sn e W, enquanto que os pórfiro-granitos para Mo, Cu e Au.
- A origem dos corpos intrusivos e o tipo de especialização metalogenética potencial são aparentemente refletidos na assinatura de terras-raras dos granitóides, mas não mostram necessariamente uma relação direta com a composição química em elementos maiores destes granitóides.
- Os exemplos de diagramas de elementos terras-raras, fornecidos no texto, tipificam os campos básicos de enquadramento genético e metalogenético. Outros padrões e, portanto, diferentes formas de enquadramento podem, no entanto, ser esperados.
- Desde que haja disponibilidade dos metais e a geração de granitos apropriados para remobilizá-los, os dois campos de especialização (greisen e pórfiros) podem ser esperados em um mesmo ambiente geológico. Em situa-

ções desfavoráveis, produzidas tanto pela inexistência de um conteúdo metálico no ambiente regional, quanto pela não manifestação de granitos capazes de remobilizar os metais existentes, não se esperaria a ocorrência de mineralizações importantes. Nesse sentido, sistemas de alteração hidrotermal tardi/pós-magmáticos bem desenvolvidos, tanto de greisens quanto de pórfiros, podem não manifestar mineralizações metálicas.

- Em metalogênese granitóide, situações mais favoráveis são traduzidas por áreas de domínio de supracrustais com baixo metamorfismo, pouco arrasadas, intrudidas por pequenos corpos granitóides de caráter multifásico e nível epizonal de alojamento, nos quais estejam preservadas as zonas de cúpula.
- A questão da favorabilidade metalogenética de grandes dorsais batolíticas deve ser observada com atenção, perante a possibilidade de evolução multifásica e polidiapirismo (intrusões menores nas dorsais). Atenção maior deve ser dispensada a skarnitos no endo-contato e exo-contato.
- Os granitóides aflorantes em um determinado ambiente geológico podem agrupar-se em suítes relacionadas a diferentes fases de evolução. A distribuição desses granitóides no terreno, sua forma, composição em óxidos maiores e elementos traços e raros, relações com encaixantes, deformação e mineralizações conhecidas têm que ser observadas para efeito de discriminação, pois intrusões férteis e metalogeneticamente especializadas podem se associar a suítes específicas.
- Alguns corpos granitóides são absolutamente estéreis, não fornecendo qualquer resposta na prospecção.
- Grande parte dos corpos são multifásicos, com mineralizações associadas a fases específicas de intrusão.
- O estudo e pesquisas de mineralizações associadas a granitóides têm sido centrados em terrenos fanerozóicos,

pois os granitóides mais antigos são considerados de menor interesse para exploração. Essa diferenciação é devida ao maior número de depósitos minerais conhecidos nos terrenos mais jovens, apesar de que os processos responsáveis pela gênese de mineralizações são observados em rochas mais antigas. O problema parece estar relacionado com a preservação de granitóides antigos e não com a gênese destes granitóides e das mineralizações a eles associadas. Considera-se assim que terrenos antigos com pouco arrasamento erosivo, podem constituir campos de potencial adequado para programas exploratórios.

- Na avaliação metalogenética de granitóides, julga-se fundamental a observação de três preceitos: a) aplicação integrada de mapeamento geológico e prospecção geoquímica, para o necessário entendimento das mineralizações eventualmente existentes; b) realização de prospecção geoquímica por sedimentos de corrente e concentrados de bateia, pois são técnicas que se complementam no rastreamento das diferentes mineralizações potenciais; e, c) aperfeiçoamento de metodologia na prospecção geoquímica, pois particularidades regionais ou locais têm que ser consideradas para a fixação de procedimentos.

## BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- BARNES, H.L.. *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*. John Wiley & Sons, 2 ed., 1979. 797p.
- BAUMAN, L. *Fundamentos de metalogenia*. (Curso ministrado na Bergakademie Freiberg/ DDR - comunicação pessoal), 1988.
- BETTENCOURT, J. *Exploração em complexos granitóides* (Apostila e anotações do curso ministrado na UFPR, Curitiba), 1986.
- CHAPPEL, B.W. & WHITE, A.J.R. Two contrasting granite types. *Pacific Geol.*, 1974, 8:173-174.
- CHIODI FILHO, C. "Contribuição à geologia das regiões Sul-Paulista e Leste-Paranaense: Grupos Açungui e Setuva". In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33, Rio de Janeiro, 1984. *Anais*, SBG, Rio de Janeiro, 1984. v.5, p.2394-406.
- \_\_\_\_\_. *Relatório de visita à Alemanha Oriental e Tchecoslováquia*. DOCEGEO, 1988. (Relatório Interno).
- CHIODI FILHO, C.; SANTOS, J.F.; SOARES, P.C.; MORETZOHN, J.S. "Estudo de elementos terras-raras para caracterização e avaliação metalogenética de granitóides no Escudo Paranaense". In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 2, Rio de Janeiro, 1989. *Anais*, SBGq, Rio de Janeiro, 1989. p.487-93.
- DANTAS, A.S.L. *Classificação de granitóides*. IG-USP, Seminários Gerais, 1985. 43p.
- EMMERMAN, R.; DAIEVA, L.; SCHNEIDER, J. Petrological significance of trace and rare earth distribution in granites. *Contrib. Mineral Petrol.*, 1975, 52:267-83.

- EVENSEN, N.M.; HAMILTON, P.J.; O'NIONS, R.K. Rare earth abundances in chondritic meteorites. *Geochim. Cosmoch. Acta*, 1978, 42:1199-212.
- FORD, K.L. & O'REILLY, G.A. "Airborne gamma-ray spectrometric surveys as an indicator of granophile element specialization and associated mineral deposits in the granitic rock of Meguna Zone of Nova Scotia, Canada". In: *Proc. High Heat Production (HHP) Granites, Hydrothermal Circulation and Ore Genesis*. IMM ed., 1985. p.113-33.
- GROSSI SAD, J.H. & DUTRA, C.V. *Fracionamento dos elementos de terras-raras e suas aplicações em metalogênese. Parte I: Princípios gerais; Parte II: Comportamento geoquímico em sistemas diversos* (trabalho apresentado no CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 1, SBGq, Porto Alegre, 1987) 53p.
- GROSSI SAD, J.H.; CHIODI FILHO, C.; SANTOS, J.F. dos; MAGALHÃES, J.M.M.; CARELOS, P.M. "Duas suites graníticas do bordo sudeste do Cráton Sanfranciscano, em Minas Gerais: petroquímica e potencial metalogenético". In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36, Natal, 1990. *Anais*, SBG, Natal, 1990.
- HARRIS, N.B.W.; PEARCE, J.A.; TINDLE, A.G. "Geochemical characteristics of collision-zone magmatism". In: COWARD, M.P. & RIES, A.C., eds., *Collision Tectonics*. Geological Society, 1986. p.67-81 (Special Publ., n.19).
- HASKING, L.A. & PASTER, T.P. "Geochemistry and mineralogy of the rare earth". In: *Handbook of the Physics and Chemistry of Rare Earth*. Chap. 21. K.A.G. Schneider, J. & Eyring L., eds., North Holland Publ.Co., 1979.
- HOLLISTER, V.F. *Geology of the porphyry copper deposits of Western Hemisphere*. AIME, 1979. 219p.
- ISHIHARA, S. The magnetite series and ilmenite series granitic rocks. *Min. Geol.*, Tokyo, 1977, 27:293-305.

- ISHIHARA, S. The granitoid series and mineralization. *Econ. Geol.*, 1981. p.458-84 (75th Anniv. Vol.).
- KEQIN, X.; NAI, S.; DEZI, W.; SHOUXI, X.; YINGJUN, L.; SHOUYAN, J. "Petrogenesis of the granitoids and their metallogenetic relations in South China". In: KEQIN, X. & GUANGCHI, T., eds., *Geology of Granites and their Metallogenetic Relations*. Beijing, Science Press, 1984. p.1-32.
- LASNIKA, P. *Empirical metallogeny*. Elsevier, 1985. 1758p. (Developments in Economic Geology, 11)
- LE BEL, L. *Evolution des granitoids et phase fluide*. BRGM-CNRS, Orleans, Cedex, France, 1983. (Unpublished Report)
- LOWELL, J.D. & GUILBERT, J.M. Lateral and vertical alteration - mineralization zoning in porphyry ore deposits. *Econ. Geol. Bull.*, 1970, 65(4):373-408.
- LYAKHOVICH, V.V. Mantle granitoids. *Intern. Geol. Rev.*, 1988. p.1257-71.
- LYAKHOVICH, V.V. Crustal granitoids. *Intern. Geol. Rev.*, 1989. p.868-84.
- MITCHELL, A.H.F. & GARSON, M.S. *Mineral deposits and global tectonic settings*. Academic Press Geology Series, 1981. 450p.
- MORETZSOHN, J.S.; CHIODI FILHO, C.; SANTOS, J.F. dos; SOARES, P.C. "Caracterização metalogenética de corpos granitoides através de prospecção geoquímica: o exemplo do Maciço Morro Grande - PR". In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 1, Porto Alegre, 1987. *Anais*, SBGq, Porto Alegre, 1987. v.1, p.401-16.
- PITCHER, W.S. Granite type and tectonic environment. In: HSUK, eds. *Mountain Building Processes*. Academic Press, London, 1983. p.19-40.

SANTOS, J.F. dos. *Relatório de visita à República Popular da China e Japão*. DOCEGEO, 1985. (Relatório Interno).

\_\_\_\_\_. *Granitóides e mineralizações associadas*. 76p. (Apostila de curso do CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE GEOLOGIA, 7, Belém, 1988)

SANTOS, J.F. dos; CHIODI FILHO, C.; MORETZSOHN, J.S.; SOARES, P.C. "Mineral exploration and metallogenesis of granitoid intrusions in Southern Brazil". In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE GEOLOGIA, 7, Belém, 1988. *Anais*, SBG, Belém, 1988. p.173-84.

SHERBA, G.N. Greisen. *Intern. Geol. Rev.*, 1974, 12:239-55.

SOARES, P.C. "Tectônica colisional em torno do Bloco Paraná". In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE GEOLOGIA, 7, Belém, 1988. *Anais*, SBG, Belém, 1988. p.63-79.

SOARES, P.C.; CHIODI FILHO, C.; SANTOS, J.F. dos; MORETZSOHN, J.S.; GÓES, J.R. de. "Alguns resultados na utilização de sensoriamento remoto em geologia exploratória no Paraná (Brasil)". In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 5, Natal, 1988. v.4.

STRECKEISEN, A.S. To each plutonic rock its proper name. *Earth Science Rev.*, 1976, 12:1-33.

TAYLOR, R.P. & FRYER, B.J. Rare earth element lithochemistry of granitoid mineral deposits. *CIM Bull.*, 1983, 76(860):74-84.

TISCHENDORF, G.; GEISLER, M.; GERSTENBERGER, H.; BUDZINSKI, H.; VOGLER, P. Geochemie of variscan granites of the Westerzgebirge - Vogtland Region - an example of tin deposit-generating granites. *Chem. Erde*, Berlin (DDR), 1987, 46:213-35.

VEIGA, M.M.; SILVA, A.P. & SANTOS, J.F. dos. Kits colorimétricos - uma solução analítica para a prospecção mineral. *Brasil Mineral*, 1987, 40:50-53.

VINOGRADOV, A.P. Average contents of chemical elements in the main types of eruptive rocks. *Geoch. Intern.*, 1962. p.641-64.

YEATES, A.N.; WYATT, B.W.; TUCKER, D.H. Application of gamma-ray spectrometry to prospecting for tin and tungsten granites, particularly within the Lachlan Fold Belt, New South Wales. *Econ. Geol. Bull.*, 1982, 77:1725-38.

YONGLE, W. & WEN, M.Y. "Multi-phase intrusion and multi-phase mineralization in Xihuashan tungsten ore field". In: *Proceed. Tungsten Geology Symp.* ESCAP. RMRDC, Bandung, Indonesia, Beijing Geol. Publ. House, 1982. p.473-49.

## ANEXO

**NOTAS GERAIS SOBRE PROSPECÇÃO GEOQUÍMICA  
DE CONCENTRADOS DE BATEIA EM SEDIMENTOS DE  
CORRENTE**

**1. Considerações preliminares**

Este segmento do texto aborda e avalia determinadas questões referentes à coleta, preparação e interpretação de concentrados de bateia na prospecção geoquímica de sedimentos de corrente, discutindo formas de atribuir caráter não só qualitativo, mas também quantitativo, para este tipo de atividade ao nível da interpretação de ambientes metalogenéticos.

O objetivo principal dessa discussão está ligado à tentativa de rastrear mineralizações através da correta manipulação dos dados químicos e mineralógicos em concentrados de bateia, estudando-se as possibilidades de trabalhar diretamente os resultados de análise química, a exemplo do que é efetuado para sedimentos de corrente e a despeito da eliminação do material argiloso e siltico no bateamento. Alguns parâmetros serão a seguir apresentados para efeito de uma primeira avaliação, demandando reparos para melhor entendimento do texto e críticas para esclarecimento do assunto.

**2. Conceitos básicos**

A composição mineralógica dos sedimentos de corrente reflete a composição das rochas drenadas na bacia de captação, sendo a quantidade de sedimentos controlada pelas condições de dispersão mecânica nesse ambiente. Admitindo-se como correta essa formulação, teremos que diferentes teores de um elemento em sedimentos refletirão diferentes

teores deste elemento na rocha fonte, sendo este o princípio básico da prospecção geoquímica.

Grande parte dos elementos químicos potenciais em sistemas metalogenéticos aparece na forma de minerais mais densos e não-magnéticos em sedimentos de corrente. Cita-se, por exemplo, fluorita, scheelita, wolframita, columbita-tantalita, cassiterita, ouro, galena, molibdênio, argentita, blenda, bismutinita, turmalina, topázio etc. Os sulfetos (galena, blenda, molibdenita, bismutinita, argentita e arsenopirita) têm dureza baixa e oxidam-se rapidamente, o que leva a uma dispersão mais comumente química do que mecânica, sendo assim que sua ocorrência nos sedimentos está sempre ligada às fontes muito próximas. Minerais de berílio (berilo, fenacita, bertrandita), também muito comuns, integram-se à fração leve dos sedimentos.

Dessa forma, exceção feita aos minerais de berílio e alguns outros, que são leves, os demais devem ser encontrados na fração não-magnética densa de um sedimento de corrente, o que significa dizer que, ao nível do material grosseiro de uma amostra, todo o conteúdo dos elementos constituintes desses minerais está definido nessa fração. Se no ambiente pesquisado a composição do sedimento de corrente estiver direta e unicamente ligada às rochas dos sistemas metalogenéticos de interesse, o teor dos elementos nesse sedimento poderá ser, de acordo com o pressuposto anteriormente mencionado, reflexo do nível de enriquecimento da rocha fonte. Admitindo-se também que, exceto minerais de berílio, todos os demais estão representados na fração não-magnética densa do material grosseiro do sedimento, pode-se concluir que:

- 1) o rastreamento das mineralizações poderá ser efetuado através de concentrados de bateia do sedimento;
- 2) a análise química dos concentrados poderá eventualmente ser efetuada apenas na fração não-magnética densa, e

- 3) a avaliação de alvos primários poderá ser efetuada pela simples comparação dos resultados da análise química, sem necessidade do cálculo convencional do contido em metros cúbicos.

Quanto ao item 2, deve-se referir que, tendo em vista a virtual inexistência dos minerais de interesse na fração magnética densa e na fração não-magnética leve, ou no máximo a sua presença em teores destituídos de significação nessas frações, as análises químicas em concentrados poderão ser efetuadas apenas na fração não-magnética densa. Tal procedimento aumenta a representatividade da alíquota necessária para análise, pois esta alíquota, por ser muito pequena, implicará em uma diluição de teor se a eliminação das frações estéreis não for efetuada, ainda mais que a fração magnética contribui, normalmente, com pelo menos 50% em peso nas amostras de concentrados. Em casos específicos a eliminação da fração magnética é fundamental, pois ela pode compor até 70 - 80% do concentrado e na sua totalidade derivar de rochas estéreis. Tanto quanto a fração magnética, pode-se eliminar a fração não-magnética leve, fazendo-se nesta dosagem específica para berílio. Após a eliminação das frações magnética e não-magnética leve restará, portanto, a fração não-magnética densa, na qual os teores dos elementos de interesse poderão refletir o nível de enriquecimento das rochas fonte nesses elementos.

No que se refere ao item 3 (avaliação dos resultados), o cálculo da quantidade de um elemento contida em  $m^3$  poderá nivelar amostras com teores muito distintos nesse elemento, já que leva-se em conta o peso do concentrado como fator de ponderação; assim, um concentrado de 100 g com 1% de um elemento qualquer, dará em  $1 m^3$  o mesmo teor contido que outro de 10 g com 10% de teor neste elemento, sendo no entanto aparentemente mais significativa a concentração na 2ª amostra para efeito de prospecção; em outro exemplo, dois concentrados de 100 g e 10 g cada e com 1% de um determinado elemento, darão resultados muito diferentes em termos de  $m^3$  e, na realidade, poderão ter o mesmo significado. Considera-se, portanto, que o cálculo do contido em volume talvez deva ser realizado unicamente para avaliação econômica

de aluviões, e não para prospecção de mineralizações primárias.

Ainda com relação à avaliação dos resultados, deve ficar claro que a discussão sobre a forma de tratamento é válida para discriminação de zonas mais e menos enriquecidas em uma ampla faixa mineralizada, onde o contraste pode não ser nítido e que então demandaria a comparação dos resultados analíticos. A discriminação de áreas mineralizadas e não-mineralizadas é, obviamente, mais simples, e será observada através de qualquer forma de tratamento dos dados, pois ocorreria simplesmente no nível da confrontação de dados mineralógicos/químicos negativos e positivos.

### 3. Coleta de amostras

A campanha de concentrados de bateia em sedimentos de corrente deve prever a apuração de duas amostras em cada ponto de coleta: uma para estudos mineralógicos e outra para análises químicas. É fundamental que o procedimento de coleta não implique na perda do material grosseiro com minerais densos, e nem que o material leve seja intensamente apurado, isso para evitar a descaracterização da amostra sob o ponto de vista da sua constituição. Para tanto, faz-se necessária apenas uma deslamagem e posterior eliminação do material leve ocorrente como pequenos seixos, pedriscos e fragmentos. O material para deslamagem e apuração deve totalizar 20 litros, obtidos após corte da amostra bruta em peneira de 4 mm; a apuração deve ser efetuada em duas etapas (10 litros cada), misturando-se depois o concentrado para secagem.

### 4. Preparação das amostras

A preparação das amostras deve incluir a separação das frações magnética, não-magnética densa e não-magnética leve, após corte da amostra, no laboratório, em peneira de 2 mm (9 mesh). Como dos 20 litros bateados devem ser obtidas 2 amostras, representativas de 10 litros de material cada, e

como as duas amostras têm de ser equivalentes em peso e constituição para as análises químicas e mineralógicas pretendidas, o ideal é que a separação das frações e posterior divisão em duas partes sejam efetuadas pelo mesmo laboratório, de tal forma que as meias partes das frações sejam absolutamente equivalentes (peso e constituição) e representativas de 10 litros de amostra cada. Tal necessidade está ligada aos diferentes procedimentos empregados na separação da fração magnética, pois a manipulação do FRANZ por diferentes operadores implicará na obtenção de um produto final também distinto entre os laboratórios.

Na impossibilidade de se efetuar a preparação da amostra em um único laboratório, recomenda-se:

- dividir o concentrado proveniente dos 20 litros de amostra em 2 partes iguais no próprio escritório de campo, para que cada uma delas seja representativa de 10 litros de amostra;
- encaminhar as amostras para os laboratórios de mineralogia e química, com instruções específicas referentes à separação das frações magnética e não-magnética leve, e
- pesar as frações resultantes e proceder à análise em separado para cada uma delas (identificação e percentagem estimada no laboratório de mineralogia e dosagem dos elementos de interesse no laboratório de análise química).

As instruções aos laboratórios dizem respeito à utilização de ímã de mão e FRANZ para separação de magnetita (ímã), ilmenita, hematita e ilmenita leucóxenizada (FRANZ) como fração magnética, e a utilização de bromofórmio para separação da fração não-magnética leve. A correta separação da ilmenita, hematita e ilmenita leucóxenizada através do Franz depende da experiência do operador em calibrar o aparelho, requerendo normalmente duas graduações de amperagem e inclinação. Para que se obtenha um produto equivalente nos dois laboratórios, torna-se necessário fornecer uma graduação

média que seja obedecida por ambos, e satisfatória para os objetivos de trabalho. Através dos contatos com técnicos experimentados nesse tipo de operação, pode-se arbitrar que uma graduação média para procedimento constante em laboratórios externos seria 20° de inclinação lateral, 15 a 20° de inclinação frontal e 0,2 a 0,3 A de corrente.

Para melhor operação do separador FRANZ, recomenda-se a cominuição de toda a amostra, após corte de 2 mm, para a granulometria de - 20 mesh.

## 5. Análise das amostras

Para efeito de análise, deve-se recomendar especificamente ao laboratório de mineralogia:

- corte da amostra em peneira de 2 mm;
- separação das frações magnética, não-magnética densa e não-magnética leve, seguindo instruções anteriormente mencionadas;
- pesagem das três frações, e
- identificação e percentagem estimada dos minerais em cada fração, com utilização de técnicas auxiliares (difração de raios X, seções polidas de grãos, queima de cassiterita e *mineralight*) para identificação.

Para o laboratório de análises químicas deve-se recomendar:

- corte da amostra em peneira de 2 mm;
- separação das frações magnética, não-magnética densa e não-magnética leve (procedimento já comentado);
- pesagem das frações,



- análise dos elementos de interesse em cada uma das frações; e
- dosar no esquema minério os elementos cujo teor ultrapassar o limite superior de detecção em uma determinada fração.

A análise esquema minério deve ser assinalada, pois o teor aumentará na fração que contiver preferencialmente os elementos pesquisados, ou seja, em muitos casos os níveis de concentração estarão acima do limite superior de detecção dos métodos instrumentais utilizados em geoquímica. Com a análise em separado das três frações, pode-se, da mesma forma que na avaliação do concentrado total, calcular o contido em m<sup>3</sup> do aluvião.

Principalmente quando a prospecção por concentrados de bateia for efetuada através do estudo individual das frações constituintes, é fundamental que se proceda a um estudo paralelo por mineralogia e química das amostras, pois os resultados poderão ser cruzados e permitirão verificar se há teores dos elementos de interesse nas três frações, e que minerais respondem por esses teores. Com o avanço dos estudos e realização de orientativos, é possível que se chegue à conclusão que o conteúdo dos elementos de interesse nas frações magnética e não-magnética leve é nulo ou muito baixo, o que permitiria, conforme já comentado, o descarte dessas frações nas análises químicas. Caso a quantidade de material obtido em cada uma das frações se mostre sistematicamente insuficiente para as análises químicas, ou ainda se fosse constatada em muitas amostras a presença dos elementos de interesse nas frações magnética e não-magnética leve, poder-se-ia estabelecer, por exemplo, apenas a separação da magnetita como fração magnética das amostras, pois assim talvez se resolvesse não só esses problemas como o da questão da operação do FRANZ. O ouro representa um caso específico, pois demanda 30 g de amostra para uma precisão de 5 ppm em análise por absorção atômica; tal quantidade poderia comprometer as análises para os demais elementos, pelo que deve-se sugerir, nesses casos, o seu estudo apenas por mineralogia (contagem de pintas).

## 6. Manipulação dos dados

Os dados referentes a concentrados de bateia são quase sempre avaliados qualitativamente, pois se destinam simplesmente a detectar a presença, ou não, dos elementos e minerais de interesse na área de trabalho. Tratando-se de um método de prospecção comprovadamente eficiente, tal objetivo será seguramente alcançado, independentemente da forma de tratamento ou tipo de análise efetuada, desde que haja um mínimo de rigor.

O problema maior reside na tentativa de melhor avaliar, através de concentrados de bateia, setores mais ou menos importantes de áreas com presença ostensiva de uma ou mais substâncias de interesse. Neste ponto se coloca a questão, já comentada, da análise do concentrado *in natura* e cálculo da quantidade de um elemento contido em m<sup>3</sup>, cuja utilização é imprescindível para estudos de aluviões mineralizados, mas discutível para rastreamento e avaliação de alvos primários em áreas ostensivamente mineralizadas.

## 7. Tratamento de dados

Os dados químicos de concentrados de bateia em sedimentos de corrente podem ser processados através de estatística básica uni- e multivariada, destacando-se a análise de tendência (*Trend Surface Analysis*) e a análise de fatores. Na análise de tendência devem ser configuradas superfícies lineares, quadráticas e cúbicas, referindo-se como importante na análise de fatores a determinação e variação explicada pelos fatores 1 e 2, rotacionados e não rotacionados pelo método VARIMAX. Outro procedimento sempre recomendado é a elaboração de matrizes de correlação, para definição de elementos químicos rastreadores da mineralização perseguida em um determinado ambiente geológico.

## 8. Fórmulas de Cálculo

### 8.1 Principais conceitos

- Todos os valores calculados de teor referem-se a partes em peso, sendo que resultados em percentagem fornecem a quantidade do elemento em peso por cem, enquanto que g/t ou ppm, em peso por milhão; assim, teor de 1% em uma amostra fornecerá 1/100 de contido do elemento nessa amostra, tanto quanto 10 ppm ou 10 g/t fornecerão 10/1.000.000 de contido;
- O cálculo do contido em uma amostra é obtido pela multiplicação do peso da amostra pelo teor em ppm, g/t ou % ( $p \times \text{teor} = \text{contido}$ ), exemplo:
  - a) amostra de 10 g com 1% de Sn  $\Rightarrow 10 \times 1/100 = 0,1$  g de Sn na amostra
  - b) amostra de 10 g com 100 ppm de Sn  $\Rightarrow 10 \times 100/1.000.000 = 0,001$  g de Sn na amostra
  - c) amostra de 10 g com 100 g/t de Sn  $\Rightarrow$  idem "b"
    - 10.000 ppm correspondem à centésima parte de milhão, portanto equivalem a 1% de 1 milhão de partes, ou seja, resultados expressos em percentagem podem ser transformados em ppm ou g/t se forem multiplicados por 10.000. Exemplo: 1% equivale a 10.000 ppm e 5% equivalem a 50.000 ppm, etc.
    - Para a transformação de ppm ou g/t para percentagem, a conta é feita dividindo-se o valor por 10.000. Exemplo: 5.000 ppm = 0,5% e 10.000 ppm = 1%.

### 8.2 Cálculo do contido em volume ( $q_v$ )

Conforme já referido, esse cálculo é efetuado em campanhas de prospecção geoquímica por concentrados de bateia em sedimentos de corrente, necessitando-se do volume da amostra de sedimento bateado, do peso obtido e do teor dos elementos no concentrado.

Já foi visto que  $\text{peso} \times \text{teor} = \text{contido}$ , tendo-se de calcular o contido do elemento no concentrado, que será o contido no volume de amostra bateada; exemplo: amostra com volume de "V" litros, que forneceu concentrado com peso de "P" gramas e teor de "t" (ppm ou g/t) de um elemento qualquer.

O cálculo é:

$$q_v = \frac{P_{(g)} \times t \frac{\text{ppm ou g}}{t}}{V_{(l)}} \Rightarrow \frac{P_{(g)} \times \frac{t}{1.000.000}}{\frac{V}{1.000} \text{ m}^3} \Rightarrow \frac{P_{(g)} \times t \times 1.000}{V(\text{m}^3) \times 1.000.000} \Rightarrow \frac{P \times t}{V \times 1.000} \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$$

O cálculo numérico pode ser assim efetuado pela multiplicação do peso do concentrado (em gramas) pelo teor do concentrado (em ppm), dividido pelo volume da amostra (em litros) vezes 1.000. Exemplo:

- Amostra de 10 litros com concentrado de 100 g e 100 ppm de Sn no concentrado:

$$q_v = \frac{100 \times 100}{10 \times 1.000} = \left( \frac{10.000}{10.000} \right) = 1 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$$

- Amostra de 10 litros com concentrado de 500 g e 0,5% de Sn no concentrado:

$$q_v = \frac{500 \times (0,5 \times 10.000)}{10 \times 1.000} = \frac{500 \times 5.000}{10.000} = 250 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$$

Para resultados de análises químicas expressos em %, de amostras com 10 litros, sempre aparecerá o fator de multiplicação 10.000 no numerador e denominador, pelo que o cálculo é feito simplesmente através da multiplicação do peso do concentrado (Pc) pelo teor em %, que dará direto a  $q_v$  (g/m<sup>3</sup>); exemplo:

- Amostra de 10 litros com 200 g de concentrado e 5% de Sn no concentrado:

$$q_v = \frac{200 \times 5 \times 10.000}{10 \times 1000} = 200(Pc) \times 5 \text{ teor}(\%) = 1000 \frac{g}{m^3}$$

### 8.3 Cálculo do contido em volume através do teor das frações

Quando se dosa individualmente as frações magnética, não-magnética densa e não-magnética leve de um concentrado, o cálculo do contido em volume é efetuado pelo teor médio do concentrado total para um determinado elemento, usando-se a seguinte fórmula:

Teor médio do concentrado:

$$\frac{(P_{fm} \times t_{fm}) + (P_{fndensa} \times t_{fndensa}) + (P_{fnleve} \times t_{fnleve})}{P_{fm} + P_{fndensa} + P_{fnleve}}$$

$$\text{como: } P_{fm} + P_{fndensa} + P_{fnleve} = P_{Ctotal}$$

aplicando-se a fórmula de  $q_v$  teríamos:

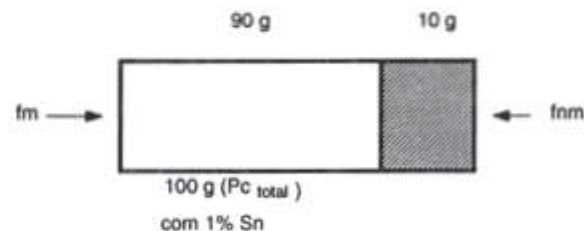
$$q_v = \left[ \frac{(P_{fm} \times t_{fm}) + (P_{fndensa} \times t_{fndensa}) + (P_{fnleve} \times t_{fnleve})}{P_{Ctotal}} \right] \times P_{Ctotal} \times 10.000$$

$$q_v = \frac{(P_{fm} \times t_{fm}) + (P_{fndensa} \times t_{fndensa}) + (P_{fnleve} \times t_{fnleve})}{V(l) \times 1000} \frac{g}{m^3}$$

### 8.4 Diluição e concentração de teores em peso

Se considerarmos que um concentrado de bateia é constituído por uma fração magnética e uma não-magnética, e ainda que os elementos químicos de interesse possam estar totalmente contidos em uma ou outra fração, podemos efetuar alguns cálculos de diluição e concentração de teores nas amostras, de acordo com os exemplos seguintes:

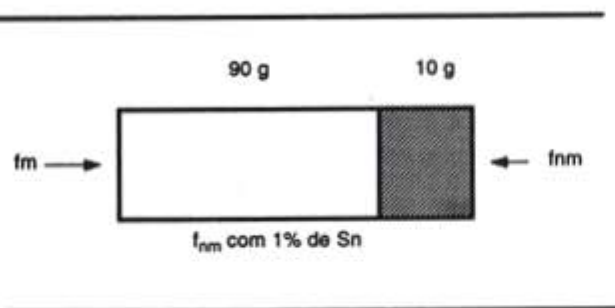
- amostra de concentrado com 100 g, sendo 90 g de fração magnética e 10 g de fração não-magnética, em que foi dosado 1% de Sn em alíquota do concentrado total, supondo-se que todo o Sn esteja contido na fnm e querendo-se calcular o teor nessa fração admite-se o esquema ilustrativo abaixo.



O cálculo é efetuado através da multiplicação do teor obtido no concentrado total pelo número de vezes que o concentrado total é mais pesado que a fnm, ou seja:

$$t_{fnm} = \frac{1\% \times 100 (P_{Ctotal})}{10 (P_{fnm})} = 10\%$$

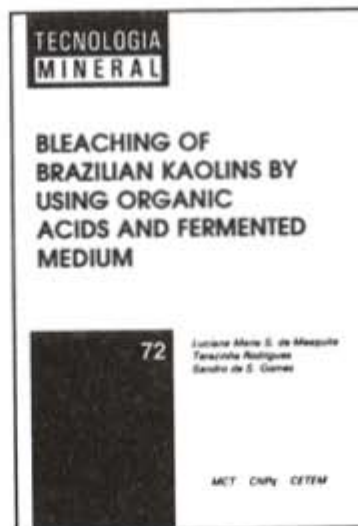
- b) amostra de concentrado com 100 g, sendo 90 g de fm e 10g de fnm, no qual foi dosado 1% de Sn em alíquota da fnm, supondo-se que a fm não contenha Sn mas querendo-se diluir o teor obtido na fnm para o concentrado total, a situação pode ser esquematizada conforme a seguir.



O cálculo é efetuado através da multiplicação do teor obtido na fnm, pela relação  $P_{fnm}/P_{C_{total}}$ :

$$t_{medio} = \frac{1\% \times 10g (P_{fnm})}{100g (P_{C_{total}})} = 0,1\%$$

A regra é: sempre que se quiser diluir o teor em um peso maior, deve-se dividir este teor pela relação peso maior/peso menor, enquanto que, para se concentrar o teor em um peso menor, deve-se multiplicar este teor pela relação peso maior/peso menor.



1. Flotação de Carvão: Estudos em Escala de Bancada - Antonio R. de Campos, Salvador L. M. de Almeida e Amílcar T. dos Santos, 1979. (esgotado)
2. Beneficiamento de Talco: Estudos em Escala de Bancada - Nelson T. Shimabukuro, Carlos Adolpho M. Baltar e Francisco W. Hollanda Vidal, 1979. (esgotado)
3. Beneficiamento de Talco: Estudos em Usina Piloto - Nelson T. Shimabukuro, Carlos Adolpho M. Baltar e Francisco W. Hollanda Vidal, 1979. (esgotado)
4. Flotação de Cianita da Localidade de Boa Esperança (MG) - Ivan O. de Carvalho Masson e Tulio Herman A. Luco, 1979. (esgotado)
5. Beneficiamento de Diatomita do Ceará - José A. C. Sobrinho e Adão B. da Luz, 1979. (esgotado)
6. Eletrorecuperação de Zinco: uma Revisão das Variáveis Influentes - Roberto C. Villas Bôas, 1979. (esgotado)
7. Redução da Gipsita com Carvão Vegetal - Ivan O. de Carvalho Masson, 1980. (esgotado)
8. Beneficiamento do Diatomito de Canavieira do Estado do Ceará - Franz Xaver H. Filho e Marcello M. da Veiga, 1980. (esgotado)
9. Moagem Autógena de Itabirito em Escala Piloto - Hedda Vargas Figueira e João Alves Sampaio, 1980. (esgotado)
10. Flotação de Minério Oxidado de Zinco de Baixo Teor - Carlos Adolpho M. Baltar e Roberto C. Villas Bôas, 1980. (esgotado)
11. Estudo dos Efeitos de Corrente de Pulso Sobre o Eletrorefino de Prata - Luiz Gonzaga dos S. Sobral, Ronaldo Luiz C. dos Santos e Delfin da Costa Laureano, 1980. (esgotado)
12. Lixiviação Bacteriana do Sulfeto de Cobre de Baixo Teor Caraíba - Vicente Paulo de Souza, 1980. (esgotado)
13. Flotação de Minérios Oxidados de Zinco: uma Revisão de Literatura - Carlos Adolpho M. Baltar, 1980. (esgotado)
14. Efeito de Alguns Parâmetros Operacionais no Eletrorefino do Ouro - Marcus Granato e Roberto C. Villas Bôas, 1980. (esgotado)
15. Flotação de Carvão de Santa Catarina em Escala de Bancada e Piloto - Antonio R. de Campos e Salvador L. M. de Almeida, 1981. (esgotado)
16. Aglomeração Seletiva de Finos de Carvão de Santa Catarina: Estudos Preliminares - Lauro Santos N. da Costa, 1981. (esgotado)
17. Briquetagem e a sua Importância para a Indústria - Walter Shinzel e Regina Célia M. da Silva, 1981. (esgotado)
18. Aplicação de Petrografia no Beneficiamento de Carvão por Flotação - Ney Hamilton Porphírio, 1981. (esgotado)
19. Recuperação do Cobre do Minério Oxidado de Caraíba por Extração por Solventes em Escala Semipiloto - Ivan O. C. Masson e Paulo Sérgio M. Soares, 1981. (esgotado)
20. Dynawhirlpool (DWP) e sua Aplicação na Indústria Mineral - Hedda Vargas Figueira e José Aury de Aquino, 1981. (esgotado)

45. Geopolítica dos Novos Materiais - Roberto C. Villas Bóas, 1989. (esgotado)
46. Beneficiamento de Calcário para as Indústrias de Tintas e Plásticos - Vanilda da Rocha Barros e Antonio R. de Campos, 1990. (esgotado)
47. Influência de Algumas Variáveis Físicas na Flotação de Partículas de Ouro - Fernando A. Freitas Lins e Ruyen Adamian, 1991.
48. Caracterização Tecnológica de Caulim para a Indústria de Papel - Rosa Malena Fernandes Lima e Adão B. da Luz, 1991.
49. Amostragem de Minérios - Maria Alice C. de Goes, Mário V. Possa e Adão B. da Luz, 1991.
50. Design of Experiments in Planning Metallurgical Tests - Roberto C. Villas Bóas, 1991. (esgotado)
51. Eletrorecuperação de Ouro a partir de Soluções Diluídas de seu Cianeto - Roberto C. Villas Bóas, 1991.
52. Talco do Paraná - Flotação em Usina Piloto - Salvador Luiz M. de Almeida, Adão B. da Luz e Ivan F. Pontes, 1991.
53. Os Novos Materiais e a Corrosão - Roberto C. Villas Bóas, 1991.
54. Aspectos Diversos da Garimpagem de Ouro - Fernando Freitas Lins (coord.), José Cunha Costa, Adão B. da Luz, Marcello M. da Veiga, Fernando Freitas Lins, Luiz Henrique Fariid, Márcia Machado Gonçalves, Ronaldo Luiz C. dos Santos, Maria Laura Barreto e Irene C. M. H. Medeiros Portela, 1992. (esgotado)
55. Concentrador Centrifugo - Revisão e Aplicações Potenciais - Fernando Freitas Lins, Lauro S. Norbert Costa, Oscar Cuéllar Delgado, Jorge M. Alvares Gutierrez, 1992. (esgotado)
56. Minerais Estratégicos: Perspectivas - Roberto C. Villas Bóas, 1992. (esgotado)
57. O Problema do Germânio no Brasil - Roberto C. Villas Bóas, Maria Dionísia C. dos Santos e Vicente Paulo de Souza, 1992.
58. Caracterização Tecnológica do Minério Aurífero da Mineração Casa de Pedra-Mato Grosso - Ney Hamilton Porphírio e Fernando Freitas Lins, 1992.
59. Geopolitics of the New Materials: The Case of the Small Scale Mining and New Materials Developments - Roberto C. Villas Bóas, 1992. (esgotado)
60. Degradação de Cianetos por Hipoclorito de Sódio - Antonio Carlos Augusto da Costa, 1992.
61. Paládio: Extração e Refino, uma Experiência Industrial - Luís Gonzaga S. Sobral, Marcus Granato e Roberto B. Ogando, 1992.
62. Desempenho de Ciclones e Hidrociclones - Giulio Massarani, 1992.
63. Simulação de Moagem de Talco Utilizando Seixos - Regina Coeli C. Carriso e Mário Valente Possa, 1993.
64. Atapuligita do Piauí para a Indústria Farmacêutica - José Pereira Neto, Salvador L. M. de Almeida e Ronaldo de Miranda Carvalho, 1993.
65. Caulim: um mineral industrial importante - Adão B. da Luz e Eduardo C. Damasceno, 1993.
66. Química e Tecnologia das Terras-Raras - Alcídio Abrão, 1994.
67. Tiouréia e Bromo como Lixivantes Alternativos à Cianação do Ouro. Roberto de Barros E. Trindade, 1994.
68. Zólitais: Propriedades e Usos Industriais - Adão Benvido da Luz, 1994.
69. Caracterização Tecnológica de Lascas de Quartzo - Marília Inês Meneses Barbosa e Ney Hamilton Porphírio, 1994.
70. Froth Flotation: Relevant Facts and the Brazilian Case - Armando Corrêa de Araújo e Antônio Eduardo Clarek Peres, 1995.
71. Uma revisão da Síntese de Pós Cerâmicos Via Alcóxidos - Estudo de Caso: alcóxidos de Terras-Raras - Plínio Eduardo Praes e Maurício Moutinho da Silva, 1995.

21. Flotação de Rejeitos Finos de Scheelita em Planta Piloto - José Farias de Oliveira, Ronaldo Moreira Horta e João Alves Sampaio, 1981. (esgotado)
22. Coque de Turfa e suas Aplicações - Regina Célia M. da Silva e Walter Schinzel, 1982.
23. Refino Eletrolítico de Ouro, Processo Wohlwill - Juliano Peres Barbosa e Roberto C. Villas Bóas, 1982. (esgotado)
24. Flotação de Oxidados de Zinco: Estudos em Escala Piloto - Adão Benvido da Luz e Carlos Adolpho M. Baltar, 1982.
25. Dosagem de Ouro - Luiz Gonzaga S. Sobral e Marcus Granato, 1983.
26. Beneficiamento e Extração de Ouro e Prata de Minério Sulfetado - Márcio Torres M. Penna e Marcus Granato, 1983.
27. Extrações por Solventes de Cobre do Minério Oxidado de Carajás - Paulo Sérgio M. Soares e Ivan O. de Carvalho Masson, 1983.
28. Preparo Eletrolítico de Solução de Ouro - Marcus Granato, Luiz Gonzaga S. Sobral, Ronaldo Luiz C. Santos e Delfin da Costa Laureano, 1983. (esgotado)
29. Recuperação de Prata de Fixadores Fotográficos - Luiz Gonzaga dos Santos Sobral e Marcus Granato, 1984. (esgotado)
30. Amostragem para Processamento Mineral - Mário V. Possa e Adão B. da Luz, 1984. (esgotado)
31. Indicador de Bibliotecas e Centros de Documentação em Tecnologia Mineral e Geociências do Rio de Janeiro - Subcomissão Brasileira de Documentação em Geociências - SBDG, 1984.
32. Alternativa para o Beneficiamento do Minério de Manguezês de Urucum, Corumbá-MS - Lúcia Maria Cabral de Góes e Silva e Lélito Fellows Filho, 1984.
33. Lixiviação Bacteriana de Cobre de Baixo Teor em Escala de Bancada - Teresinha R. de Andrade e Francisca Pessoa de França, 1984.
34. Beneficiamento do Calcário da Região de Cantagalo-RJ - Vanilda Rocha Barros, Hedda Vargas Figueira e Ruyen Adamian, 1984.
35. Aplicação da Simulação de Hidrociclones em Circuitos de Moagem - José Ignácio de Andrade Gomes e Regina C. C. Carriso, 1985. (esgotado)
36. Estudo de um Método Simplificado para Determinação do "Índice de Trabalho" e sua Aplicação à Remoagem - Hedda Vargas Figueira, Luiz Antonio Pretti e Luiz Roberto Moura Valle, 1985. (esgotado)
37. Metalurgia Extrativa do Ouro - Marcus Granato, 1986. (esgotado)
38. Estudos de Flotação do Minério Oxidado de Zinco de Minas Gerais - Francisco W. Hollanda Vidal, Carlos Adolpho M. Baltar, José Ignácio de A. Gomes, Leonardo A. da Silva, Hedda Vargas Figueira, Adão B. da Luz e Roberto C. Villas Bóas, 1987.
39. Lista de Termos para Indexação em Tecnologia Mineral - Vera Lúcia Vianna de Carvalho, 1987.
40. Distribuição de Germânio em Frações Densimétricas de Carvões - Luiz Fernando de Carvalho e Valéria Conde Alves Moraes, 1986.
41. Aspectos do Beneficiamento de Ouro Aluvionar - Fernando A. Freitas Lins e Leonardo A. da Silva, 1987. (esgotado)
42. Estudos Tecnológicos para Aproveitamento da Atapuligita de Guadalupe-PI - Adão B. da Luz, Salvador L. M. de Almeida e Luciano Tadeu Silva Ramos, 1988.
43. Tratamento de Efluentes de Carvão Através de Espessador de Lameias - Francisco W. Hollanda Vidal e Franz Xaver Horn Filho, 1988.
44. Recuperação do Ouro por Amalgamação e Cianação: Problemas Ambientais e Possíveis Alternativas - Vicente Paulo de Souza e Fernando A. Freitas Lins, 1989. (esgotado)

**DETERMINAÇÃO  
POTENCIOMÉTRICA DE  
CIANETOS EM AFLUENTES  
DE MINERAÇÃO**

15 *Rozane Valente Marins*

MCT CNPq CEFEM

**NÚMEROS PUBLICADOS NA SÉRIE  
TECNOLOGIA AMBIENTAL**

1. Poconé: Um Campo de Estudos do Impacto Ambiental do Garimpo - Marcello M. da Veiga, Francisco R. C. Fernandes, Luiz Henrique Farid, José Eduardo B. Machado, Antônio Odilon da Silva, Luís Drude de Lacerda, Alexandre Pessoa da Silva, Edinaldo de Castro e Silva, Evaldo F. de Oliveira, Gercino D. da Silva, Hélcias B. de Pádua, Luiz Roberto M. Pedroso, Nelson Luiz S. Ferreira, Saete Kiyoka Ozaki, Rosane V. Marins, João A. Imbassahy, Wolfgang C. Pfeiffer, Wanderley R. Bastos e Vicente Paulo de Souza (2ª edição), 1991. (esgotado)

2. Diagnóstico Preliminar dos Impactos Ambientais Gerados por Garimpos de Ouro em Alta Floresta/MT: Estudo de Caso (versão Português/Inglês) - Luiz Henrique Farid, José Eduardo B. Machado, Marcos P. Gonzaga, Saulo R. Pereira Filho, André Eugênio F. Campos, Nelson S. Ferreira, Gersino D. Silva, Carlos R. Tobar, Volney Câmara, Sandra S. Hacon, Diana de Lima, Vangil Silva, Luiz Roberto M. Pedroso, Edinaldo de Castro e Silva, Laís A. Menezes, 1992.

3. Mercúrio na Amazônia: Uma Bomba Relógio Química? - Luis Drude Lacerda e Win Salomons, 1992. (esgotado)

4. Estudo dos Impactos Ambientais Decorrentes do Extrativismo Mineral e Poluição Mercurial no Tapajós - Pré-Diagnóstico - Rita Maria Rodrigues et al., 1994.

5. Utilização do Aguapé no Tratamento de Efluentes com Cianetos - Marcus Granato, 1995.

6. Are Tropical Estuaries Environmental Sinks or Sources? - Egbert K. Duursma, 1995.

7. Assessment of the Heavy Metal Pollution in a Gold "Garimpo" - Saulo Rodrigues Filho e John Edmund L. Maddock, 1995.

8. Instrumental Multielement Analysis in Plant Materials - A Modern Method in Environmental Chemistry and Tropical Systems Research - Bernd Market, 1995.

9. Heavy Metals in Estuarine Sediments: Mangrove Swamps of the Subaé and Paraguaçu Tributary Rivers of Todos os Santos Bay, Bahia, Brazil - J. F. Paredes, A. F. S. Queiroz, I. G. Carvalho, M. A. S. B. Ramos, A. L. F. Santos e C. Mosser, 1995.

10. Metais Pesados nas Sub-bacias Hidrográficas de Poconé e Alta Floresta - Saulo Rodrigues Pereira Filho, 1995.

11. Diagnóstico Ambiental das Áreas Submetidas à Garimpagem de Ouro em Rio Preto - MG - Antonio José L. de A. Ramos e Saulo Rodrigues Pereira Filho, 1996.

12. Batch and Continuous Heavy Metals Biosorption by a Brown Seaweed - Antonio Carlos A. da Costa, Luciana Maria S. de Mesquita e João Tornovsky, 1996.

13. Emissões de Mercúrio na Queima de Amálgama: estudo da contaminação de ar, solos e poeira em Poconé, MT - Alexandre Pessoa da Silva, Volney Câmara, Osmar da Cruz N. Nascimento, Lázaro J. Oliveira, Edinaldo C. Silva, Fátima Piveta e Paulo R. G. e Barrocas, 1996.

14. Desativação de Minas - Adão Benvindo da Luz e Eduardo Camilher Damasceno, 1996.

**NOTAS SOBRE O  
LABORATÓRIO DA  
PRODUÇÃO MINERAL:  
LPM/DNPM**

10 *Neilde Vargas de O. Figueira*

MCT CNPq CEFEM

**NÚMEROS PUBLICADOS NA SÉRIE  
QUALIDADE E PRODUTIVIDADE**

1. Qualidade na Formulação de Misturas - Roberto C. Villas Bôas, 1992. (esgotado)

2. La Importância del Método em la Investigación Tecnológica - Roberto C. Villas Bôas, 1992.

3. Normalización Minerometalúrgica e Integración Latinoamericana - Rômulo Genuino de Oliveira, 1993.

4. A Competitividade da Indústria Brasileira de Alumínio: Avaliação e Perspectivas - James M. G. Weiss, 1993. (esgotado)

5. O Gerenciamento Ambiental: Estudo de Caso de Cinco Empresas de Mineração no Brasil - José Antônio Parizotto, 1995.

6. Situação Atual e Perspectivas da Indústria Mineral no Brasil - Ulysses Rodrigues de Freitas, 1995.

7. The Profile of the Brazilian Mining Professionals - Arthur Pinto Chaves, 1995.

8. Certification and Use of Reference Materials - Maria Alice C. de Goes, 1995.

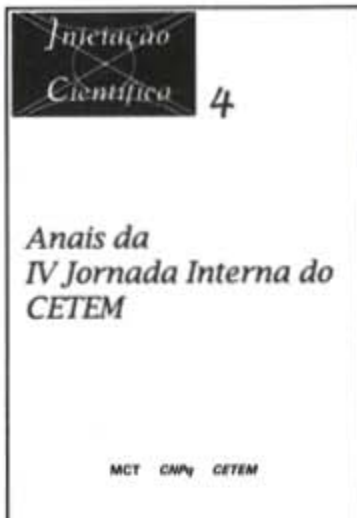
9. Arranjos Ortogonais de Taguchi: os  $Ln(2^k)$  - Roberto C. Villas Bôas, 1996.



## NÚMEROS PUBLICADOS NA SÉRIE ESTUDOS E DOCUMENTOS

1. Quem é Quem no Subsolo Brasileiro - Francisco R. C. Fernandes, Ana Maria B. M. da Cunha, Maria de Fátima Faria dos Santos, José Raimundo Coutinho de Carvalho e Maurício Lins Arcoverde, (2ª edição) 1987. (esgotado)
2. A Política Mineral na Constituição de 1967 - Ariadne da Silva Rocha Nodari, Alberto da Silva Rocha, Marcos Fábio Freire Montysuma e Luis Paulo Schance Heler Giannini, (2ª edição) 1987.
3. Mineração no Nordeste - Depoimentos e Experiências - Manuel Correia de Andrade, 1987. (esgotado)
4. Política Mineral do Brasil - Dois Ensaios Críticos - Osny Duarte Pereira, Paulo César Ramos de Oliveira Sá e Maria Isabel Marques, 1987. (esgotado)
5. A Questão Mineral da Amazônia - Seis Ensaios Críticos - Francisco R. C. Fernandes, Roberto Gama e Silva, Wanderlino Teixeira de Carvalho, Manuela Carneiro da Cunha, Breno Augusto dos Santos, Armando Álvares de Campos Cordeiro, Arthur Luiz Bernardelli, Paulo César de Sá e Maria Isabel Marques, 1987. (esgotado)
6. Setor Mineral e Dívida Externa - Maria Clara Couto Soares, 1987.
7. Constituinte: A Nova Política Mineral - Gabriel Guerreiro, Octávio Elísio Alves de Brito, Luciano Galvão Coutinho, Roberto Gama e Silva, Alfredo Ruy Barbosa, Hildebrando Herrmann e Osny Duarte Pereira, 1988. (esgotado)
8. A Questão Mineral na Constituição de 1988 - Fábio S. Sá Earp, Carlos Alberto K. de Sá Earp e Ana Lúcia Villas-Bôas, 1988. (esgotado)
9. Estratégia dos Grandes Grupos no Domínio dos Novos Materiais - Paulo Sá, 1989. (esgotado)
10. Política Científica e Tecnológica no Japão, Coreia do Sul e Israel. - Abraham Benzaquen Sicsú, 1989. (esgotado)
11. Legislação Mineral em Debate - Maria Laura Barreto e Gildo Sá Albuquerque (organizadores), 1990. (esgotado)
12. Ensaio Sobre a Pequena e Média Empresa de Mineração - Ana Maria B. M. da Cunha (organizadora) 1991. (esgotado)
13. Fontes e Usos de Mercúrio no Brasil - Rui C. Hasse Ferreira e Luiz Edmundo Appel, (2ª edição) 1991.
14. Recursos Minerais da Amazônia - Alguns Dados Sobre Situação e Perspectivas - Francisco R. C. Fernandes e Irene C. de M. H. de Medeiros Portela, 1991. (esgotado)
15. Repercussões Ambientais em Garimpo Estável de Ouro - Um Estudo de Caso - Irene C. de M. H. de Medeiros Portela, (2ª edição) 1991.
16. Panorama do Setor de Materiais e suas Relações com a Mineração: Uma Contribuição para Implementação de Linhas de P & D - Marcello M. Veiga e José Octávio Armani Pascoal, 1991.
17. Potencial de Pesquisa Química nas Universidades Brasileiras - Peter Rudolf Seidl, 1991.
18. Política de Aproveitamento de Areia no Estado de São Paulo: Dos Conflitos Existentes às Compatibilizações Possíveis - Hildebrando Hermann, 1991.

19. Uma Abordagem Crítica da Legislação Garimpeira: 1967-1989 - Maria Laura Barreto, 1993. (esgotado)
20. Some Reflections on Science in the Low-Income Economies - Roald Hoffmann, 1993. (esgotado)
21. Terras-raras no Brasil: depósitos, recursos identificados e reservas - Francisco Eduardo de V. Lápido Loureiro, 1994.
22. Aspectos Tecnológicos e Econômicos da Indústria de Alumínio, Marisa B. de Mello Monte e Rupen Adamian, 1994
23. Indústria Carbonífera Brasileira: conveniência e viabilidade - Gildo de A. Sá C. de Albuquerque, 1995.
24. Carvão Mineral: Aspectos Gerais e Econômicos - Regina Coeli C. Carriso e Mário Valente Possa, 1995.
25. "Sustainable Development: materials technology and industrial development in Brazil" - Roberto C. Villas Bôas, 1995.
26. Minerais e Materiais Avançados - Heloisa Vasconcellos de Medina e Luis Alberto Almeida Reis, 1995.
27. Poluição Mercurial: parâmetros técnico-jurídicos - Maria Laura Barreto e Anna Christiana Marinho, 1995.
28. Aspectos Técnicos e Econômicos do Setor de Rochas Ornamentais - Cid Chiodi Filho, 1995.
29. Mineração e Desenvolvimento Econômico: a questão nacional nas estratégias de desenvolvimento do setor mineral (1930-1964), Vol. I - Ana Lucia Villas-Bôas, 1995.
29. Mineração e Desenvolvimento Econômico: o projeto nacional no contexto da globalização (1964-1994), Vol. II - Ana Lúcia Villas-Bôas, 1995.
30. Elementos Estratégicos e Geopolíticos da Evolução Recente dos Materiais - Sarita Albagli, 1996.
31. A Produção de Fosfato no Brasil: uma apreciação histórica das condicionantes envolvidas - Gildo de A. Sá C. de Albuquerque, 1996.
32. Pequena Empresa: a base para o desenvolvimento da mineração nacional - Gilson Ezequiel Ferreira, 1996.
33. Gestão Ambiental: uma avaliação das negociações para a implantação da ISO 14.000 - Gisela A. Pires, do Rio, 1996.



#### NÚMEROS PUBLICADOS NA SÉRIE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

1. Anais da I Jornada Interna do CETEM, 1994.
2. Anais da II Jornada Interna do CETEM, 1995.
3. Anais da III Jornada Interna do CETEM, 1996

#### PUBLICAÇÕES AVULSAS EDITADAS PELO CETEM OU EM CO-EDIÇÃO

1. Programação Trienal: 1989/1991. Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/CNPq), 1989.
2. Manual de Usinas e Beneficiamento. Editor: Adão Benvindo da Luz, Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/CNPq), 1989. (esgotado)
3. Garimpo, Meio Ambiente e Sociedades Indígenas. Organizadores: Lívia Barbosa, Ana Lúcia Lobato, José Augusto Drummond (CETEM/CNPq/EDUFF), 1992. (esgotado)
4. Programação Trienal: 1992/1994. Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/CNPq).
5. Impactos Ambientais. Editores: H. Rattner (SPRU/USP/CNPq), 1993.
6. Relatório de Atividades de 1993. Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/CNPq), 1994.
7. Programação Trienal: 1995/1997. Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/CNPq), 1995.
8. Relatório Anual de Atividades 1994. Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/CNPq), 1995. (esgotado)
9. 2<sup>nd</sup> Swedish-Brazilian Workshop on Mineral Technology. Editores: Eric Forsberg and Roberto C. Villas Bôas, (CETEM/CNPq/LULEÅ/EPUSP), 1995. (esgotado)
10. Tratamento de Minério. Editores: Adão B. da Luz, Lauro N. Costa, Mário Valente Possa e Salvador Luiz M. de Almeida, (CETEM/CNPq), 1995. (esgotado)
11. Sustainable Development and the Advanced Materials: The Brazilian Case. Editor: Roberto C. Villas Bôas (IDRC/CRDI - CETEM/CNPq), 1995.
12. The Future of Extractive Metallurgy. Editor: Roberto C. Villas Bôas, (Laval/CETEM), 1996.
13. Relatório Anual de Atividades. Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/CNPq), 1995.



---

Pedidos ao

CETEM / CNPq - Centro de Tecnologia Mineral

Biblioteca

Rua 4 - Quadra D - Cidade Universitária - Ilha do Fundão

21949-590 - Rio de Janeiro - RJ - Brasil

Solicita-se permuta

We ask for interchange

---