

Recuperação de Áreas Degradadas pela Mineração no Brasil

Pablo Guenther Soares

Bolsista Capacitação Institucional, Eng. Florestal, M. Sc.

Zuleica Carmen Castilhos

Orientadora, Bioquímica, D. Sc.

Resumo

A mineração constitui um setor estratégico para o provimento de matéria prima, energia e manufaturas de múltiplos usos e indispensáveis para o desenvolvimento industrial e o progresso tecnológico da humanidade. Em contrapartida, causa impactos ao ambiente natural e às populações em grandes proporções, conforme vão se intensificando as técnicas de lavra e beneficiamento de minérios. Como consequência, extensas áreas em estágio avançado de degradação desafiam a engenharia, o poder público e a sociedade a tomarem ações concretas para minimizar os impactos, recuperar as áreas degradadas e garantir a qualidade de vida nas regiões afetadas. Este trabalho tem como objetivo discutir algumas ações de recuperação ambiental nas áreas mineradas, apresentar estudos de caso e perspectivas futuras. Observa-se que, nas últimas décadas, técnicas de revegetação, monitoramento e recuperação ambiental têm sido aprimoradas e executadas incorporando-se os conceitos ecológicos à atividade mineradora, consolidando-se como a etapa final da atividade da exploração mineral para que esta seja cada vez menos agressora ao meio ambiente.

1. Introdução

Ao longo da história recente da América tropical, a busca pelo desenvolvimento econômico das nações levou à devastação de extensas áreas naturais para a implantação de grandes centros urbanos, agropecuária intensiva, extração mineral, indústrias etc. Segundo Oldeman (1994), do total de áreas de solo degradado ou em degradação, 1,2 % corresponde às atividades de indústria e mineração, enquanto que atividades de produção e extrativismo ocupam 98 %. A mineração, embora não demande grandes proporções territoriais em comparação com a agricultura predatória, gera impactos de grande intensidade como poluição, degradação do solo e perda da biodiversidade. Com isso, das atividades degradantes, é a que mais contribui com tecnologia, estando muito à frente nas pesquisas de recuperação de ecossistemas com relação às demais atividades (BALENSIEFER, 1998).

O nível de alteração do material remanescente de um processo de degradação frente ao solo original varia de acordo com a intensidade e com o tempo de duração do impacto e da resiliência do solo. Na maioria dos solos tropicais, a matéria orgânica é a principal fonte de nutrientes para as plantas, e a sua perda causa sérios problemas na estrutura do solo e na disponibilidade de água, enxofre, fósforo e nitrogênio necessários ao desenvolvimento vegetal (FRANCO et al., 2000). Normalmente, materiais remanescentes da mineração apresentam baixo teor ou são desprovidos de matéria orgânica e pouca ou nenhuma atividade biológica. As ações de recuperação desses ecossistemas forçosamente têm que contar previamente com o retorno do

substrato (diferentes materiais resultantes do processo de exploração de minério) à condição de solo, retornando com suas funções ecológicas o mais próximo possível da condição original (DIAS; FRANCO e CAMPELLO, 2007). Onde não é mais possível a auto-regeneração, a intervenção humana se faz necessária para acelerar o processo de gênese do solo, criando condições para impulsionar a sucessão natural.

Depósitos de rejeitos e pilhas de estéril decorrentes de atividades de mineração podem ser fontes de contaminação ambiental, por meio da geração de drenagem ácida de minas (DAM), principalmente quando esses materiais contêm minerais sulfetados como a pirita (FeS_2) e teores elevados de metais. O processo inicia-se quando são expostos ao O_2 e água e sofrem oxidação formando sulfatos hidratados. Os produtos de oxidação dos sulfetos, além de serem altamente solúveis, apresentam reação fortemente ácida (EVANGELOU, 1995). Em razão dos baixos valores de pH, outros elementos potencialmente tóxicos, como Al, As, Mn, Cu, Zn, Pb, Hg, Cd, etc., se presentes no meio, são solubilizados e mobilizados nas águas de drenagem, aumentando o risco de metais tóxicos nos sistemas biológicos bem como a crescente biomagnificação na cadeia trófica, afetando por fim, a saúde humana (MELLO; DIAS e CORRÊA, 2003). Em MG ocorreram problemas associados ao processo de drenagem ácida em minas de ouro, graças ao rejeito do beneficiamento sulfetado rico em arsênio, denominado B2, que corresponde a um filito negro acinzentado, composto por aproximadamente 3 % de sulfetos (pirita e arsenopirita, principalmente) e 1 a 2 % de carbonatos (SILVA et al., 2004).

Com o aprimoramento da legislação, os empreendimentos que se destinam à exploração de recursos minerais passaram a ter a obrigação, durante o processo de licenciamento, a submeter à aprovação do órgão ambiental competente um plano de recuperação de área degradada. A recuperação tem como objetivo o retorno do sítio degradado a uma forma de utilização, de acordo com um plano preestabelecido para o uso do solo, visando à obtenção de uma estabilidade do meio ambiente (BRASIL, 1989). Com isso, nas últimas décadas a comunidade científica tem direcionado pesquisas voltadas para um maior controle ambiental e à recuperação e reabilitação das áreas afetadas pela exploração mineral, em relação à emissão de efluentes, despoluição de águas de drenagem, revegetação para estabilização de taludes e recomposição florestal, etc. (DIAS e MELLO, 1998).

2. Objetivos

Este estudo buscou abordar alguns impactos ambientais da atividade mineral e ações de recuperação de áreas degradadas, em especial relacionadas com a conservação dos solos e revegetação com espécies nativas, além de apresentar alguns exemplos de técnicas utilizadas e perspectivas futuras.

3. Material e Métodos / Técnicas de Recuperação Ambiental

Muitos esforços têm sido empreendidos a partir da necessidade de prevenir, mitigar ou controlar a geração da drenagem ácida de minas (DAM), focando-se a pesquisa nos mecanismos de oxidação da pirita (EPA, 2007). As ações englobam (1) o controle das fontes primárias (sulfetos), para minimizar a exposição à oxidação de rochas sulfetadas, seqüestro/confinamento e processamento de sulfetos; (2) a redução da cinética (velocidade) do processo de drenagem ácida com o uso/manejo de materiais neutralizadores, minimização da disponibilidade de

ar e água e criação de ambientes redutores e (3) Confinamento e Tratamento das Conseqüências por meio da contenção de águas contaminadas e do tratamento de Efluentes (MELLO; DIAS e CORRÊA, 2003). Revestimentos dos sulfetos metálicos nas bacias de rejeito por meio de argila, calcários e outros materiais básicos buscam elevar o pH para condicionar o solo ou constituir camada selante para evitar a percolação do componente ácido para as águas subterrâneas ou para as raízes, por capilaridade. Evangelou, Vandiviere e Chappel (1998) comprovaram a eficácia de coberturas de sílica para a prevenção de geração ácida em rejeitos. Embora largamente utilizada, essa técnica apresenta limitações. Um dos principais problemas no uso do calcário como corretivo da drenagem ácida é que a taxa de neutralização é limitada pela solubilidade do carbonato ao passo que a taxa de oxidação da pirita e geração de ácido é ilimitada (CARUCCIO e GEIDEL, 1996).

A utilização de árvores em processos de recuperação ambiental traz inúmeras vantagens para a recondução do processo de sucessão ecológica. As árvores podem melhorar ou recuperar a qualidade de um solo, já que (1) algumas espécies poderem incrementar o teor de N no solo por meio da fixação de N_2 atmosférico com associações simbióticas com bactérias do gênero *Rhizobium* e *Bradyrhizobium* ou actinomicetos do gênero *Frankia*; (2) o extenso sistema radicular permite que as árvores não só acumulem nutrientes que são retirados de grande volume de solo, mas também efetuem sua redistribuição melhorando a fertilidade dos horizontes superficiais; (3) permitem melhor condicionamento de solo pelo incremento de matéria orgânica, favorecendo a melhoria das condições microclimáticas do solo e da superfície; (4) O efeito rizosfera, ou seja, as árvores criam condições favoráveis ao desenvolvimento de meso e microfauna e microflora, melhorando as características físicas, químicas e biológicas na região do entorno de raízes, resultando em profundo efeito benéfico sobre o crescimento de plantas e de características do solo (FISHER, 1995, citado por DIAS; FRANCO e CAMPELLO, 2007)

Em substratos completamente destituídos de matéria orgânica, a utilização de leguminosas arbóreas tem-se mostrado eficaz para a recuperação ambiental. Essa técnica baseia-se na ampla ocorrência das leguminosas nos biomas brasileiros, em sua elevada capacidade de adaptação e produção de biomassa, potencializada pela associação com bactérias fixadoras de N_2 atmosférico e fungos micorrízicos (FRANCO et al., 2000). O nitrogênio e o fósforo são os nutrientes que mais limitam o estabelecimento e o desenvolvimento vegetal. A associação com microorganismos pode incorporar mais de $500 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de N ao sistema solo-planta (SIQUEIRA e FRANCO, 1988) e aumentar a área de absorção de nutrientes pelas raízes, destacando-se aí o fósforo por sua limitação e baixa mobilidade nos solos tropicais (SIQUEIRA, 1996). Desta forma, esta simbiose planta / bactérias diazotróficas / fungos micorrízicos constitui um sistema funcional capaz de enfrentar condições adversas e ter mais chance de se estabelecer em áreas drasticamente alteradas pela mineração.

4. Resultados e Discussão / Estudos de Caso

Com a crise do petróleo e a busca por novas fontes de energia nos anos 1970, intensificou-se a exploração de carvão mineral no sul do Brasil, sobretudo no RS e SC. Com isso, deixou graves impactos ambientais. Pilhas de estéreis e depósitos de rejeitos piritosos foram depositados no ambiente de forma inadequada e sem controle

comprometendo rios e das águas subterrâneas (RAVAZOLLI, 2013). Na região carbonífera de Santa Catarina, que abrange a bacia hidrográfica dos rios Araranguá, Urussanga e Tubarão, foram quantificados cerca de 5.500 hectares (ha) de áreas degradadas, sendo 2.700 ha de áreas mineradas a céu aberto, 2.730 ha de depósitos de rejeito e 58 ha de áreas formadas por lagoas ácidas (GOMES 2004, citado por LOPES et al., 2009). Com a Ação Civil Pública nº 93.8000533-4 (<https://www.jfsc.jus.br/acpdocarvaol/>) medidas foram sendo adotadas para recuperar os ambientes degradados e controlar a poluição causada seja na lavra, no beneficiamento ou no aproveitamento energético do carvão.

Os principais esforços têm sido em dispor, adequadamente, os resíduos de carvão e tratar a DAM por meio de tratamento físico-químico (SCHNEIDER, 2006). Pesquisas têm sido realizadas no sentido de separar o rejeito de carvão por densidade e granulometria para aproveitar parte do material como matéria-prima para outras atividades industriais, diminuindo assim o volume destinado ao descarte (AMARAL FILHO et al., 2013). A revegetação com espécies nativas e a condução da regeneração natural têm contribuído para diminuir o passivo ambiental, sobretudo nas áreas de mina abandonada (SOARES et al., 2008). Apesar de alguns tipos de solos e rejeitos de mineração conterem, muitas vezes, concentrações de metais pesados extremamente altas, populações de certas espécies têm sido registradas como suas colonizadoras naturais, como é o caso de *Eucalyptus saligna* que cresceu espontaneamente em área de estéreis de mineração de carvão no sul de SC, com pH extremamente ácido, mostrando grande poder de adaptação comparado com outras árvores encontradas no local (SANTOS et al, 2009).

Em área de mineração na Amazônia, a utilização de leguminosas arbóreas em associação com bactérias fixadoras de N₂ e fungos micorrízicos têm se mostrado altamente eficiente para recuperação ambiental. A partir de trabalho conjunto de empresa de mineração com centro de pesquisa, essa técnica foi testada em Porto Trombetas (PA) no depósito do rejeito de bauxita (rejeito) e onde a camada contendo matéria orgânica havia sido excluída (estéril). Além dos plantios com espécies noduladas e micorrizadas conhecidas, foram realizadas coletas de indivíduos arbóreos da região, verificação da ocorrência natural de nodulação e seleção de estirpes de *rhizobium*, na busca da maior utilização possível de espécies nativas e maior eficiência (especificidade) na fixação de N₂ (FRANCO et al., 1996).

Em solo degradado pela extração de bauxita, Dias, Franco e Campello (1994) verificaram alta produção de serapilheira de *Acacia mangium*, com baixa relação C/N (mais propenso à decomposição e aporte de nutrientes ao solo), elevados conteúdos de P, N, Mg e K e alta concentração de matéria orgânica no solo superficial, soma de bases trocáveis e CTC efetiva, confirmando o alto potencial dessa espécie em recuperar o solo degradado. Esta espécie, junto com *Albizia saman* e *Enterolobium contortisiliquum*, mostrou alta tolerância à acidez e compactação do solo (FRANCO et al., 1996). Posteriormente, estudos confirmaram a melhoria das condições físicas, químicas e biológicas dos solos e o surgimento e colonização espontânea de novos indivíduos nas áreas de plantio, indicando o favorecimento da sucessão natural a partir do aporte de nutrientes proporcionado pelas leguminosas que, ao fim de seus ciclos, vão dando lugar a espécies mais exigentes (DIAS et al., 2006).

5. Conclusão / Considerações Finais

A recuperação de ecossistemas degradados constitui item indispensável da atividade mineira, consolidada como mais uma etapa do ciclo de vida da jazida e incorporada à logística de pesquisa, extração e beneficiamento de minérios de interesse comercial. Este reconhecimento se faz mesmo pelo setor produtivo, em consonância com as demandas do poder público e da coletividade (IBRAM, 2012). Mais recentemente, para além das questões ambientais e de estrutura física dos terrenos, a discussão sobre restauração ecológica se insere no amplo contexto dos programas de fechamento de mina (TONIDANDEL, 2011). Sendo contemplada concomitantemente ao funcionamento da jazida e aliando-se às questões econômicas e sociais – por ex., as provisões financeiras das empresas e o envolvimento das comunidades – é parte de uma ampla estratégia de desenvolvimento das regiões do entorno (LIMA; FLORES e COSTA, 2006), levando em consideração os cenários futuros de desativação dos empreendimentos mineiros.

6. Agradecimentos

Ao CNPq, pela bolsa concedida.

7. Referências Bibliográficas

AMARAL-FILHO, J. R.; SCHNEIDER I. A. H.; BRUM, I. A. S.; SAMPAIO, C. H.; MILTZAREK, G.; SCHNEIDER, C. Caracterização de um depósito de rejeitos para o gerenciamento integrado dos resíduos de mineração na região carbonífera de Santa Catarina, Brasil. **Revista Escola de Minas**, 66(3), p.347-353, 2013.

BALENSIEFER, M. Estado de arte em recuperação e manejo de áreas frágeis e/ou degradadas. In: Embrapa-CNPMA. Recuperação e manejo de áreas degradadas. Campinas. Memória do Workshop. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 1998. (Embrapa-CNPMA Documentos, 13) p. 15-18.

BRASIL. Presidência da República. **Decreto n. 97.632** – 10 abr. 1989. Dispõe sobre a regulamentação do Artigo 2º, inciso VIII, da Lei n. 6.938, de 31 de agosto de 1981, e dá outras providências.

CARUCCIO, F. T.; GEIDEL, G. **Acid mine drainage; the laboratory and fields settings**. Knoxville, American Society for Surface Mining and Reclamation, 1996, 58 p.

DIAS, L. E.; FRANCO, A. A. CAMPELLO, E. F. C. Fertilidade do solo e seu manejo em áreas degradadas. In: NOVAIS, R.F., ALVAREZ V., V. H., BARROS, N. F., FONTES, R. L. F., CANTARUTTI, R. B. & NEVES, J. C. L. (Eds.) **Fertilidade do solo**. SBCS, Viçosa, 2007. p. 955-990.

DIAS, L. E.; FRANCO, A. A.; CAMPELLO, E. F. C. Dinâmica da matéria orgânica e de nutrientes em solo degradado pela extração de bauxita e cultivado com *Eucalyptus pellita* e *Acacia mangium*. In: BALENSIEFER, M; ARAÚJO, A. J.; ROSOT, N. C. (eds.). SIMPÓSIO SUL-AMERICANO I E SIMPÓSIO NACIONAL II DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS. **Anais...** FUPEF, Curitiba. 1994, p. 515-525.

DIAS, L. E.; FRANCO, A. A.; CAMPELLO, E. F. C.; FARIA, S. M. Recuperação ambiental e monitoramento de tanques de depósito de rejeito de lavagem de bauxita na Mineração Rio do Norte S. A., Porto Trombetas-PA. Viçosa, MG, UFV, 2006. 67p. (**Relatório 2005**)

DIAS, L. E.; MELLO, J. W. V. (eds). **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: UFV, Departamento de Solos; Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas. 1998, 251 p.: il.

EPA. The use of Soil Amendments for Remediation, Revitalization and Reuse. Solid Waste and Emergency Response (5203P) EPA 542-R-07-013. Dezembro, 2007. Disponível em: < <http://clu-in.org/download/remed/epa-542-r-07-013.pdf>>. Acesso em: 01 abr. 2005.

EVANGELOU, V. P. **Pyrite oxidation and its control**. Boca Raton, Florida, CRC Press Inc., 1995. 293 p.

EVANGELOU, V. P.; VANDIVIERE, M.; CHAPPEL, M. Remediation of acid drainage through surface coating of iron sulfides. In: DIAS, L. E. & MELLO, J. W. V. (eds). **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: UFV, Departamento de Solos; Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas. 1998, p. 69-86.

FISHER, R. F. Amelioration of degraded rain forest soils by plantations of native trees. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 59: 544-549, 1995.

FRANCO, A. A.; CAMPELLO, E. F. C.; DIAS, L. E.; FARIA, S. M. Uso de leguminosas associadas a microrganismos na revegetação de áreas de mineração de bauxita em Porto Trombetas-Pa. Seropédica: EMBRAPA-CNPAB; 1996. 71p. (EMBRAPA-CNPAB. **Documentos**, 27)

FRANCO, A. A.; CAMPELLO, E. F. C.; FARIA, S. M. de; DIAS, L. E. The importance of biological nitrogen fixation on land rehabilitation. In: PEDROSA, F. O.; HUNGRIA, M.; YATES, G.; NEWTON, W. E., (Ed.). **Nitrogen fixation: from molecules to crop productivity**. Dordrecht: Kluwer, 2000. p. 569-570.

GOMES, C. J. B. Projeto de recuperação ambiental de Santa Catarina. In: SEMINÁRIO REGIONAL DE RECUPERAÇÃO AMBIENTAL DE ÁREAS IMPACTADAS PELA MINERAÇÃO DE CARVÃO, 2004, Criciúma. **Anais...** Criciúma: SIESESC, 2004.

IBRAM – Instituto Brasileiro para a Mineração. **Gestão para a sustentabilidade na mineração: 20 anos de história**. Documento elaborado para a Conferência Rio+20. Brasília, DF, 2012. 54 p. Disponível em: <www.ibram.org.br>. Acessado em: 18 de maio de 2015.

LIMA, H. M.; FLORES, J. C. C.; COSTA, F. L. Plano de recuperação de áreas degradadas versus plano de fechamento de mina: um estudo comparativo. **R. Esc. Minas**, Ouro Preto, v. 59, n. 4, out. dez. 2006. p. 397-402.

LOPES, R. P.; SANTO, E. P.; GALATTO, S. L. Mineração de carvão em Santa Catarina: geologia, geoquímica e impactos ambientais. In: MILIOLI, G.; SANTOS, R.; CITADINI-ZANETTE, V. (Coord). **Mineração de carvão, meio ambiente e desenvolvimento sustentável no sul de Santa Catarina**. Curitiba: Juruá, 2009, p.51-70.

MELLO, J. W. V.; DIAS, L. E.; CORRÊA, M. L. T. Drenagem ácida: Avaliação do potencial de ocorrência, mitigação e revegetação de substratos sulfetados. In: CURI, N.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA,

J. M.; LOPES, A. S.; ALVAREZ V., V. H., eds. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. V.3. p. 401-430.

OLDEMAN, L. R. The global extent of soil degradation. In: GRENLAND, D. J.; SZABOCLS, I., eds. **Soil resilience and sustainable land use**. Wallingford, Cab International, 1994. p. 99-118.

RAVAZZOLI, C. A problemática do carvão em Santa Catarina: sua evolução até os termos de ajustamento de conduta vigente entre os anos de 2005 e 2010. **Geografia em Questão**, v. 06, n. 01, 2013. p. 179-201.

SANTOS, R.; CITADINI-ZANETTE, V.; FILHO, L. S. L. Estrutura comunitária da vegetação em pilhas de estéreis de mineração de carvão a céu aberto. In: MILIOLI, G.; SANTOS, R.; CITADINI-ZANETTE, V. (Coord). **Mineração de carvão, meio ambiente e desenvolvimento sustentável no sul de Santa Catarina**. Curitiba: Juruá, 2009, p.191-202.

SCHNEIDER, C. H. **Controle da drenagem ácida de minas na mineração de carvão de Santa Catarina: caso da mina UM II – Verdinho**. 2006. 46p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Metalurgia e Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (Brasil).

SILVA, S.R.; PROCÓPIO, S. O.; QUEIROZ, T. F. N.; DIAS, L. E. Caracterização de rejeito de mineração de ouro para avaliação de solubilização de metais pesados e arsênio e revegetação local. **R. Bras. Ci. Solo**, 28:189-196, 2004.

SIQUEIRA, J. O. **Avanços em fundamentos e aplicação de micorrizas**. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 1996. 290 p.

SIQUEIRA, J. O.; FRANCO, A. A. **Biotechnology do solo: fundamentos e perspectivas**. Brasília: Ministério da Educação / ABEAS; Lavras: ESAL/FAEPE, 1988. 236p.

SOARES, P. S. M.; SANTOS, M. D. C.; POSSA, M. V. (Eds.) **Carvão Brasileiro: Tecnologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. 300p., il.

TONIDANDEL, R. P. **Aspectos legais e ambientais do fechamento de mina no estado de Minas Gerais**. Dissertação (mestrado). UFMG, Dep. de Geociências. XII, 2011. 146 p.; il.