

Estudo pedológico reduz impactos da mineração

Maurício Paulo Ferreira Fontes¹

RESUMO A mineração de superfície é, em geral, uma atividade que pode provocar uma degradação bastante intensa do meio ambiente. Ela tem um forte efeito perturbador na paisagem porque requer a remoção da vegetação, do solo e das rochas que estejam acima dos depósitos minerais. Assim, deve existir uma preocupação constante dos cientistas no sentido de fazer com que a mineração de superfície esteja sempre associada à recuperação da área minerada.

Este trabalho apresenta um plano de atuação do *pedólogo* nos trabalhos de recuperação e revegetação das áreas degradadas pela mineração de superfície. O plano consiste em diferentes etapas que vão desde o planejamento e as análises de laboratório até os experimentos de campo. Esse programa de ação pode propiciar um tratamento inteiramente científico às ações de recuperação da área no sentido de se proteger o meio ambiente. Ele pode, ainda, estimular a adoção de técnicas que possibilitem condições favoráveis a um novo desenvolvimento de fauna e flora em locais de lavra mineral a céu aberto.

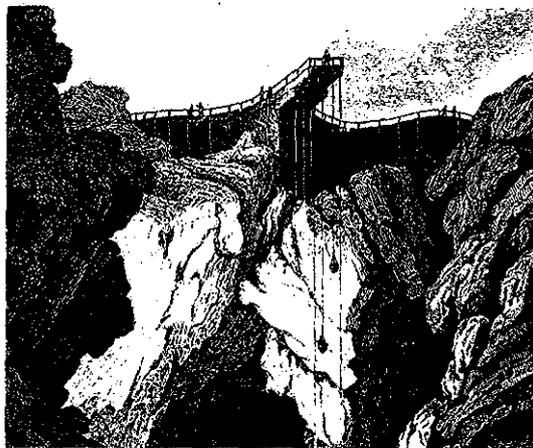
Palavras-chave: Mineração de superfície, recuperação, planejamento ambiental

ABSTRACTS The surface mining is, in general, an activity which can generate an intense degradation of the environment. It has a strong disruptive effect on the landscape because it requires the removal of the vegetation, soil and the waste rocks which lie over the deposit. So, there should be a constant concern of the scientists in order to make the surface mining, always be associated with the reclamation of the mined area.

This paper presents a plan for the *pedologist* action in activities of reclamation and revegetation of degraded areas by surface mining. The plan has different stages, ranging from the initial planning and laboratory analysis up to the field experiments. This plan can give an entirely scientific treatment to the land reclamation in order to protect the environment. It also can stimulate the adoption of techniques which will give favorable conditions to a new development of the fauna and flora of the surface mined lands.

Key-words: Surface mining, reclamation, environmental planning

O Brasil é hoje um país para o qual os olhos do mundo inteiro se voltam quando se fala em meio ambiente. Existe uma conscientização bem grande de que os efeitos deletérios de algumas atividades humanas sobre o meio ambiente têm que ser minorados. Mas existe, também, uma conscientização científica de que a defesa desses postulados não pode ser um entrave ao desenvolvimento brasileiro.



Dentro desse contexto se insere a utilização, de forma ordenada e coerente, das inúmeras riquezas minerais existentes em várias regiões brasileiras. Desse modo, a lavra de superfície ou a céu aberto é uma atividade que já existe e que deve ser incentivada, na medida em que minerais importantes e estratégicos para o desenvolvimento do Brasil sejam explorados.

Um componente essencial nesse processo é a *reabilitação* ou *recuperação* das áreas degradadas pela mineração a céu aberto. O termo *recuperação* engloba todas as atividades que permitam o desenvolvimento de vegetação ou que permitam qualquer outra utilização racional do local alterado pela mineração. Na maioria das vezes, as atividades de recuperação visam a recolocar uma cobertura vegetal na área explorada e essas atividades incluem operações que vão, desde a estética paisagística, até a revegetação completa da área, procurando manter as espécies típicas da região.

1. Ph. D. em Ciência do Solo e professor-adjunto da Universidade Federal de Viçosa.

Os esforços para explorar economicamente as reservas minerais da crosta terrestre vão conflitar cada vez mais com a tentativa de proteção da qualidade do meio ambiente. Então, técnicas cada vez mais avançadas de recuperação e reabilitação das áreas minerais, que busquem a diminuição da degradação ambiental, têm que ser utilizadas.

Mas o que se observa atualmente no Brasil, em matéria de recuperação de áreas mineradas, não é muito animador. Na região Norte existem exemplos de exploração mineral predatória com aumento da carga sólida e assoreamento dos rios e cursos d'água no Vale do Rio Jamari, em Rondônia (CARNEIRO FILHO, 1988). E o que é mais grave, é que se a vocação mineral que se advoga para a Amazônia for de fato levada a efeito sem uma contrapartida de um sistema de controle da poluição eficiente, em breve serão vistos erros, como os que se cometem hoje em Rondônia, se espalharem por todo o Norte brasileiro. Segundo o Boletim Técnico da SIF (SIF, 1989) a situação é crítica. Muitas companhias desejam empreender projetos de recuperação, mas falta-lhes o conhecimento básico necessário para iniciá-los. Esse lapso entre a boa vontade das companhias e o conhecimento de técnicas confiáveis é especialmente crítico nas ciências biológicas relacionadas com o recobrimento vegetal.

Neste caso, um aspecto fundamental é o conhecimento do solo ou do substrato onde essa recuperação tem que ser conduzida. Os procedimentos específicos na recuperação de áreas mineradas dependem essencialmente das propriedades físicas, químicas e mineralógicas do solo ou substrato que deverá apresentar condições para o desenvolvimento de plantas.

Dentro deste enfoque, os pedólogos ou cientistas que estudam solos podem contribuir de maneira muito significativa na recuperação das áreas mineradas. O nível de conhecimentos acumulados em todas as áreas do estudo dos solos como Gênese e Morfologia, Mineralogia, Química, Fertilidade etc. é enorme e não pode ser desprezado nesta luta em defesa do meio ambiente.

Sendo assim, este trabalho tem como objetivo principal apresentar um plano para a atuação dos pedólogos para uma ação conjunta com outros profissionais na recuperação de áreas de lavra a céu aberto. Este projeto visa a preencher uma lacuna agora existente e dar um tratamento mais científico ao substrato que pode ser solo, estéril ou rejeito da mineração, mas que essencialmente será suporte físico e o supridor de nutrientes para as plantas.

Metodologia

As atividades de recuperação das áreas mineradas são mais efetivas quando elas são um componente integral da operação de mineração e não apenas uma tarefa que tem que ser cumprida depois que terminou a atividade da lavra (MORAN *et alii*, 1980).

Dentro dessa filosofia, a atuação do pedólogo será feita em três etapas:

- I — Planejamento
- II — Análises de Laboratório
- III — Experimentação.

I — Planejamento

O planejamento constará de três fases, a saber:

- Levantamento de solos
- Coleta de amostras.
- Tomada de decisão.

O levantamento de solos será um levantamento expedito, procurando determinar as características dos solos, prever e determinar a sua adaptabilidade para diferentes aplicações e classificar a terra de acordo com a sua capacidade de uso. Essa fase é importante porque, idealmente, o local minerado tem que voltar a ser o mais próximo possível do que era antes da mineração. A lei Federal de 1977 que regula a mineração de superfície nos Estados Unidos (MORAN *et alii*, 1980) requer que a terra seja restaurada em condições capazes de suportar os usos que ela suportava antes da atividade mineratória.

Nesse levantamento deverá ser feita uma avaliação dos solos das áreas vizinhas e das propriedades vizinhas para que se identifiquem alternativas a serem usadas na recuperação. A identificação da produção, na própria região, de materiais como bagaço de cana, casca de arroz, subprodutos da celulose e papel etc., é importante, pois esses podem se tornar úteis como materiais orgânicos valiosos na recomposição do habitat natural para microorganismos e plantas. Ou, ainda, identificação de áreas de solos de fácil recomposição de onde possa ser tirado uma parte do horizonte A₁, para ser utilizado na área a ser recomposta. É importante salientar que essa última alternativa é uma técnica que deverá ser utilizada somente em última instância e sob rigoroso controle do pedólogo, para não se correr o risco de se recuperar uma área causando distúrbio em outra.

A coleta de amostras é a fase na qual se retiram todas as amostras que serão utilizadas na condução de todas as análises físicas, químicas e mineralógicas e também as que serão utilizadas na condução dos experimentos de casa-de-vegetação. Uma parte da coleta é feita, concomitantemente, ao levantamento de solos, e outra parte é conduzida quando já se tem o material proveniente da mineração que vai permanecer no local.

A última fase da etapa de planejamento é muito importante. Em função do levantamento de solos, das potencialidades vizinhas, da capacidade de uso da terra, e dos objetivos da recuperação, serão tomadas as principais decisões de como conduzir todo o processo. A primeira diz respeito à remoção e armazenamento da parte superficial do solo, especialmente os horizontes orgânicos e o horizonte A₁. A lei americana de 1977 diz que para minimizar a erosão e a contaminação, os mineradores têm que armazenar os horizontes A e B dos solos e se as terras forem agricultáveis também o horizonte C tem que ser armazenado (MORAN *et alii*, 1980). Adaptando-se às condições brasileiras, onde os solos tendem a ser mais profundos, deve-se tentar que os horizontes orgânicos e o A₁ sejam armazenados, e se um dos objetivos da recuperação for a produção de forragem ou o cultivo de plantas com o intuito de produção comercial, não só os horizontes orgânicos mas também os horizontes A e B devem ser armazenados.

É importante, nesta fase, a decisão de procurar dispor as camadas do solo na área a ser recuperada, da mesma forma que o solo original, de modo a não criar ou aumentar problemas de compactação, entre outros. Sempre que possível, deve-se planejar a transferência do horizonte A₁ diretamente da área a ser minerada, para a área a ser recuperada, minimizando as perdas microbiais e de nutrientes e maximizando o número de plantas e sementes que sobrevivem a esta ruptura provocada (SIF, 1989).

Em áreas onde não existe o horizonte superficial do solo, ou onde não for possível o seu armazenamento, a decisão da melhor forma de recuperação será tomada em função do levantamento inicial e de uma indicação dos objetivos da recuperação. Em alguns casos, pode ser plausível a formação de lagos na área minerada e, em outros, pode haver o aproveitamento da área até mesmo para fins imobiliários.

II — Análises de Laboratório

Nessa etapa, procurar-se-á qualificar e quantificar as propriedades físicas, químicas e mineralógicas do solo ou substrato, para adequá-los às boas condições para o crescimento de plantas. Essas análises podem auxiliar também nos estudos de viabilidade do uso de subprodutos da indústria mineradora que poderão ser utilizados como fertilizantes, corretivos, ou condicionadores do solo ou substrato.

• Análises Físicas (Klute, 1986)

- Análise Textural
- Determinação da Estrutura
- Densidade Aparente
- Superfície Específica
- Parâmetros de Umidade:
 - condutividade hidráulica
 - capacidade de campo
 - ponto de murcha permanente.

• Análises Químicas (Page et al., 1982)

- Determinação de pH
- Determinação de Eh
- Condutividade elétrica
- Ponto de Carga Zero
- Teores de Macronutrientes:
 - N, P, K, Ca, Mg e S
- Teores de Micronutrientes:
 - Fe, Mn, Mo, Zn, Cu, Cl e B.
- Teores de Metais Pesados
 - Hg, Ag, Cd, Pb etc.

• Análises Mineralógicas (Dixon e Weed, 1977; Klute, 1986)

- Difractometria de Raios-X
- Análise Térmica Diferencial
- Termogravimetria
- Determinação elementar
- Determinação de óxidos de Fe livres.

Essas análises terão por finalidade principal detectar possíveis limitações do solo ou substrato ao crescimento de plantas e adequar soluções para essas limitações.

Como limitações pode-se citar a textura do solo ou substrato. Se a textura é mais arenosa, o que é detectado pela *análise textural*, haverá problemas relativos à infiltração demasiada da água, com a conseqüente perda de nutrientes,

inclusive dos adicionados pela adubação, e haverá também uma tendência grande de uma erosão muito forte. Por outro lado, uma textura mais argilosa, indicada por um alto teor de argila pela análise textural, pode gerar problemas sérios de deficiência de arejamento e limitação da quantidade de oxigênio à disposição das raízes das plantas. Essa situação pode ainda originar uma compactação do solo ou substrato e, como conseqüência falta de permeabilidade para a água da chuva não sendo absorvida, gera erosão laminar. A análise textural pode caracterizar uma riqueza maior em silte de um determinado substrato. Isso normalmente ocorre quando o horizonte C é exposto e passa a ser horizonte superficial. Se, por um lado, isso pode ser bom em termos de liberação de nutrientes para as plantas, o aspecto mais importante é que isso pode indicar uma forte tendência à erosão e uma maior possibilidade de deslizamentos de taludes. Isso ocorre devido à grande instabilidade de um substrato rico em silte, que é função de seu alto grau de dificuldade de formar estrutura. Acresce-se a isso o fato de que, nessas situações, haverá um desequilíbrio da macro e microporosidade do solo ou substrato. A solução para a melhoria de qualquer uma dessas situações é o desenvolvimento de estrutura no solo ou substrato. Os fatores que ajudam nesse desenvolvimento da estrutura são: matéria orgânica, sistema radicular profuso, ação biológica de microorganismos e minhocas e floculação dos colóides. Assim, a adição de qualquer material orgânico, a cobertura da superfície com plantas de sistema radicular fasciculado como as gramíneas, a introdução de minhocas etc. são todas técnicas que ajudam a desenvolver a estrutura do solo ou substrato e melhorar o balanço de micro e macroporos. Desta forma, uma parte de água que chega ao solo fica retida e à disposição das plantas (micro) e a outra parte percola, através do solo ou substrato, promovendo uma boa aeração (macroporos).

As análises químicas são da maior relevância para se detectar problemas de deficiência ou toxidez de macro e micronutrientes para as plantas. Essas análises são a base para qualquer cálculo de correção e adubação do solo ou substrato para se dar às plantas condições ótimas de fertilidade. No caso de toxidez, principalmente de micronutrientes, a análise química pode determiná-la; e técnicas que permitam a sua diminuição a níveis compatíveis com o crescimento de plantas podem ser implementadas. Por exemplo: Se Fe e Mn, a níveis tóxicos, são determinados pela análise química, uma correção do solo ou substrato através da calagem aumenta o pH do material o que provoca a insolubilização desses elementos; se níveis tóxicos de Cu e Zn são detectados, a incorporação de matéria orgânica pode diminuir ou eliminar essa toxidez devido ao alto poder complexante que têm os compostos orgânicos sobre cátions como esses, retirando-os da solução.

As determinações de pH e Eh são muito importantes. O primeiro, porque permite a sua manipulação através de calagens ou gessagens para adequá-lo de modo a permitir o desenvolvimento de vida; e o segundo porque mede a atividade de elétrons no meio, o que permite a avaliação do grau de redução a que está sujeito o substrato. Isso se torna mais importante na medida em que o monitoramento das condições de redução do meio é exigido.

As análises mineralógicas têm a sua importância na determinação da constituição das diferentes frações que compõem o solo ou substrato. A presença de minerais primários facilmente intemperizáveis nas frações grosseiras (silte,

areia ou mais grossas) pode indicar uma melhor condição como reserva mineral de curto, médio e longo prazos para a nutrição das plantas. A determinação dos constituintes da fração argila pode trazer informações preciosas com respeito ao manejo do solo ou substrato. Argilas silicatadas do tipo I: I (grupo das caulinitas) e óxidos de Fe e Al indicam um substrato quimicamente pobre, menos reativo, mas também menos sujeito a problemas de compactação e impedimento de drenagem devido à baixa atividade da argila caulínica, aliada ao grande poder de agregação e estruturação conferido pelos óxidos de Fe e Al. A presença de argilas silicatadas 2: I (esmectitas e vermiculitas) pode indicar um ambiente quimicamente mais rico, mas por serem materiais com alta superfície específica e alta atividade, eles podem ser também mais problemáticos quanto aos aspectos relativos à compactação e deficiência de drenagem. Em casos extremos de material muito argiloso e do tipo 2: I a compactação pode chegar a níveis grandes a ponto de causar uma deficiência de O_2 no solo ou substrato, o que não permite o desenvolvimento das plantas. Nesse caso, técnicas que provoquem uma melhor estruturação e um balanço de porosidade têm de ser utilizadas. Assim, a curto prazo, o uso de *subsolação* é imprescindível para favorecer o escoamento da água e a aeração do solo ou substrato. A médio e longo prazos, a tentativa de aplicações profundas de calagem ou gesso pode promover uma melhor floculação dos colóides pela atuação de cátions, como o Ca^{++} , que por sua vez promovem a repressão da dupla camada de cargas, auxiliando essa floculação.

O conhecimento da mineralogia pode ser também extremamente útil para, em alguns casos, diminuir o nível de poluição causada por certos tipos de lavra. Algumas vezes o material a ser minerado é desagregado com jatos de água e, após a seleção de minério, o resíduo normalmente argiloso é lançado em uma área de decantação ou em cursos d'água próximos da exploração. Isso gera uma carga poluente sólida muito grande com impactos deletérios sobre o meio ambiente. Na maioria das vezes, além do assoreamento dos rios e cursos d'água, esse material argiloso tem atividade físico-química suficiente para promover mudanças nos corpos d'água pela retenção dos nutrientes nelles dissolvidos, ou por mudanças na transparência da água, ambos fatores que afetam toda a cadeia trófica existente nesses meios. É importante, então, em primeiro lugar, que os rejeitos sejam sempre jogados em lagoas de decantação e, em segundo lugar, que essas lagoas sejam eficientes em retirar as partículas sólidas de suspensão. Assim, o tipo de argila constituinte do rejeito e a análise de características como o PCZ (Ponto de Carga Zero) do material pode auxiliar na decantação mais eficiente do resíduo sólido. Aplicação de cátions floculantes, mudança de pH na direção de $pH = PCZ$, ambas técnicas que favorecem a floculação de colóides e a conseqüente sedimentação, são algumas técnicas que podem resultar numa eficiência muito boa na decantação e na eliminação desse tipo de poluição.

III — Experimentação

Essa etapa diz respeito à parte experimental do projeto que se refere aos ensaios biológicos que serão conduzidos em casa-de-vegetação e no campo, em função das informações das análises de laboratório conduzidas.

Os ensaios serão conduzidos de acordo com normas de controle experimental rigorosas, de modo que os resultados obtidos possam ser analisados estatisticamente.

• Ensaios em casa-de-vegetação

Esses ensaios apresentam a vantagem de permitir que o experimentador regule os principais fatores que influenciam o desenvolvimento das plantas, de maneira que apenas um deles varie. Desse modo, põe-se em relevo a ação desse fator considerado já que, dentro de certos limites, a diferença observada será devida a ele.

Ensaios desse tipo se prestam para analisar a resposta do vegetal à aplicação de fertilizantes e também à análise das respostas do uso de técnicas que busquem a correção de limitações que certos substratos podem apresentar. Por exemplo: na revegetação de áreas mineradas existe uma técnica usual de se plantar mudas de árvores em covas, normalmente $60 \times 60 \times 60$ cm, nas quais se coloca solo rico em matéria orgânica e adubação adequada. O que se tem observado a nível de campo, é que quando as raízes deixam esse ambiente favorável e penetram, na maioria das vezes, no ambiente hostil do substrato, elas não se desenvolvem normalmente e as plantas morrem. Nesse caso, uma simulação dessa situação em casa-de-vegetação pode ser muito útil, e diferentes formas de se modificar o substrato hostil podem ser tentadas com a facilidade de se trabalhar com a maioria das condições controladas.

• Ensaios de campo

Os ensaios de campo são extremamente importantes, pois serão a complementação de todas etapas anteriores. Dos experimentos de campo sairão respostas que servirão não só para a área em questão, mas também para extrapolação dos resultados para outros locais. Para isso, esses experimentos devem ser também conduzidos sob as normas estatísticas aplicáveis. A repetição na condução dos experimentos, por anos seguidos, pode evitar as variações causadas por condições climáticas não usuais, apenas em um ano.

Os ensaios de campo são também importantes para observar o comportamento da cobertura vegetal, o controle da erosão, o controle da poluição de sólidos em cursos d'água etc., que só podem ser bem avaliados em um acompanhamento que ultrapasse a simples colocação das plantas no campo. É importante que essa parte seja bem explicitada nos objetivos de longo prazo do projeto porque, na maioria das vezes, a companhia mineradora encerra a sua participação quando coloca a cobertura vegetal no local e nem sempre essa cobertura vegetal se mantém estável.

Os experimentos de campo demandam um cuidado maior devido ao maior número de fatores a controlar, como: época de plantio, irrigação, controle de pragas, doenças e ervas daninhas, correção do solo ou substrato etc.

Conclusão

O presente projeto objetiva a apresentação de um plano de atuação do pedólogo ou cientista que estuda solos

nos trabalhos de recuperação e revegetação de áreas degradadas por mineração de superfície.

O referido plano consiste, basicamente, em três etapas que vão desde o planejamento e análise de laboratório até experimentos de campo, com o intuito de proteger o meio ambiente e possibilitar condições favoráveis de desenvolvimento da fauna e da flora em locais de lavra mineral a céu aberto.

É importante notar que em todas as fases do processo, o pedólogo trabalhará em um relacionamento estreito com outros profissionais, como Engenheiros Civis, Engenheiros de Minas etc. Especialmente na última etapa, nos ensaios de casa-de-vegetação e campo, o trabalho será conjunto com Engenheiros Florestais, Engenheiros Agrônomos e Botânicos especialistas em plantas, já que aspectos importantes relacionados com a manutenção de espécies nativas, introdução de espécies exóticas, melhoramento genético visando a obtenção de variedades tolerantes a limitações específicas, devem ser considerados dentro da mais estrita metodologia científica. Uma metodologia empírica, sem um embasamento teórico, não terá um lugar proeminente em um projeto desse calibre.

As companhias de mineração devem ser sensibilizadas para investir em um plano como esse que, apesar de gerar

um custo adicional, será infinitamente inferior ao que deverá ser gasto com obras corretivas iniciadas apenas após o final da mineração.

Literatura citada

1. CARNEIRO FILHO, A. Rondônia: Artérias Poluídas. *Ciência Hoje* 8(45): 73-74, 1988.
2. DIXON, J. B. e S.B. WEED. *Minerals in Soil Environments*. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin. 1977, 1948p.
3. KLUTE, A. *Methods of Soil Analysis. Physical and Mineralogical Methods*, 2nd Ed. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, 1986, 1188 p.
4. MORAN, J.M., M. D. MORGAN, e J. H. WIERSMA. *Introduction to Environmental Science*. W. H. Freeman and Co. San Francisco. 1980, 658 p.
5. PAGE, A. L., R. H. MILLER e D. R. KEENEY. *Methods of Soil Analysis. Chemical and Microbiological Properties*. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, 1982. 1159 p.
6. SIF. Sociedade de Investigações Florestais. *Avaliação da Recuperação de Áreas Mineradas no Brasil*. Boletim Técnico Número I, 1989.

