



**ANÁLISE DOS FATORES AMBIENTAIS
INTERVENIENTES NA RECUPERAÇÃO
DE ÁREAS MINERADAS DE AREIA**

FABIANA MARISE PULITANO



Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Hidráulica e Saneamento.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Marcelo Pereira de Souza

São Carlos

1997



Class. TESC - EESC
Out. 4607
Tambo. T 0019/98

31100006945

S/S 942933

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca - EESC-USP**

P981a Pulitano, Fabiana Marise
Análise dos fatores ambientais
intervenientes na recuperação de áreas
mineradas de areia / Fabiana Marise Pulitano.
-- São Carlos, 1997.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de
Engenharia de São Carlos-Universidade de São
Paulo, 1997.

Área: Hidráulica e Saneamento
Orientador: Prof. Dr. Marcelo Pereira de
Souza

1. Mineração. 2. Degradação ambiental.
3. Recuperação de áreas mineradas. 4. Sistemas
de informações geográficas. I. Título.

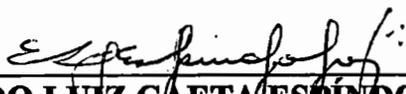
FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidata: Bacharela **FABIANA MARISE PULITANO**

Dissertação defendida e aprovada em 22-9-1997
pela Comissão Julgadora:



Prof. Doutor **MARCELO PEREIRA DE SOUZA (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



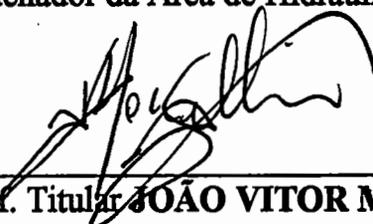
Prof. Doutor **IVALDO LUIZ GAETA ESPINDOLA**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



Profa. Doutora **MARIA INEZ PAGANI**
(UNESP - Campus de Rio Claro)



Prof. Titular **FAZAL HUSSAIN CHAUDRHY**
Coordenador da Área de Hidráulica e Saneamento



Prof. Titular **JOÃO VITOR MOCCELLIN**
Vice-Presidente da Comissão de Pós-Graduação

*Ao Ricardo, meu amor,
e a Nelson e Antonieta, meus pais.*

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Marcelo Pereira de Souza pela orientação, dedicação, profissionalismo e contribuição para o meu amadurecimento profissional;

Ao Ricardo, meu querido, pelo carinho, pela paciência e pelo apoio nos momentos mais difíceis;

Aos meus pais, pelo apoio e incentivo para que eu pudesse chegar até aqui;

Às bibliotecárias da EESC/USP pela ajuda no levantamento bibliográfico;

A todas as pessoas que de uma forma ou de outra contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE QUADROS	ii
RESUMO	iii
ABSTRACT	iv
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	4
3. MATERIAIS E MÉTODOS	5
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
4.1. MINERAÇÃO E MEIO AMBIENTE	9
4.1.1. Legislação Básica Comentada	9
4.1.2. Impactos Ambientais e Mineração	11
4.1.3. Estudo de Impacto Ambiental na Mineração	14
4.2. RECUPERAÇÃO DE ÁREAS MINERADAS	17
4.2.1. Conceitos e Definições	17
4.2.2. Etapas da Recuperação	20
4.2.2.1. Objetivos da Recuperação	20
4.2.2.2. Definição de Uso Futuro da Área Minerada	22
4.2.2.3. Pré-Planejamento	24
4.2.2.4. PRAD - Plano de Recuperação de Área Degradada	25
4.2.2.5. Remoção da Cobertura Vegetal e do Solo Orgânico	26
4.2.2.6. Manejo do Solo Orgânico	28

4.2.2.7. Revegetação	29
4.2.2.7.1. O Conceito de Sucessão Ecológica	30
4.2.2.7.2. A Abordagem Ecológica	34
4.2.2.7.3. Seleção de Espécies	39
4.2.2.7.4. Preparo do Local para Plantio	43
4.2.2.7.5. Plantio	46
4.2.3. Abordagem do Meio Físico na Recuperação de Áreas Mineradas	47
4.2.3.1. Topografia	47
4.2.3.2. Paisagem	55
5. ESTUDO APLICADO	59
5.1. Fatores Ambientais da Área de Estudo	59
5.2. Infra-Estrutura: Centro Urbano e Rodovias	64
5.3. Resultados Obtidos e Discussões	64
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES	74

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização geográfica da área de estudo	6
Figura 2 - Aspecto de área de mineração de areia existente na região do estudo aplicado	50
Figura 3 - Aspecto de área de mineração de areia existente na região do estudo aplicado	51
Figura 4 - Inclinação recomendada para diversos usos finais	54
Figura 5 - Mapa pedológico da área de estudo	60
Figura 6 - Mapa de declividade da área de estudo	61
Figura 7 - Remanescentes de vegetação nativa existentes na área de estudo	62
Figura 8 - Rede hidrográfica da área de estudo	63
Figura 9 - Infra-estrutura e elementos restritivos à mineração de areia	64
Figura 10 - Remanescente de vegetação nativa situado no entorno	67
de área de mineração de areia existente na região do estudo aplicado	
Figura 11- Aspecto de área de mineração de areia existente na	71
região do estudo aplicado	

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Objetivos a curto prazo de alguns projetos de recuperação de áreas mineradas	21
Quadro 2 - Origem das espécies e porcentagem de pesquisas	40
Quadro 3 - Tipos de solo	60
Quadro 4 - Área das declividades do terreno	61
Quadro 5 - Área dos remanescentes de vegetação nativa	62

RESUMO

PULITANO, F.M. (1997). **Análise dos fatores ambientais intervenientes na recuperação de áreas mineradas de areia.** São Carlos. 89p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

A mineração, se desenvolvida sem critérios técnicos, deixa para a região que a abriga todo um quadro de degradação que onera pesadamente a coletividade em termos financeiros e em qualidade de vida. As atividades não planejadas da mineração implicam em transformações significativas do meio ambiente tanto na área minerada como em terrenos adjacentes, comprometendo o seu aproveitamento para outros usos, seja durante o desenvolvimento das atividades minerárias ou após o seu encerramento. Entre os métodos utilizados para a extração mineral, a mineração à céu aberto causa uma destruição completa da área da jazida e das áreas vizinhas. Atualmente, é grande a conscientização de que os efeitos deletérios da mineração sobre o meio ambiente têm que ser minimizados. Neste contexto, um componente essencial é a recuperação de áreas degradadas pela mineração, em especial pela lavra a céu aberto. O presente trabalho buscou, através de um estudo aplicado, analisar os fatores ambientais que intervêm na recuperação ambiental de uma área minerada de areia, bem como apresentar restrições à esta atividade em função dos fatores ambientais da região. Para alcançar os objetivos propostos, utilizou-se do SIG (Sistema de Informações Geográficas) "software" Idrisi for *Windows*, o qual se mostrou uma ferramenta útil para ser utilizada em projetos de recuperação de áreas mineradas.

Palavras-chave: mineração; degradação ambiental; recuperação de áreas mineradas; Sistema de Informações Geográficas.

ABSTRACT

PULITANO, F.M. (1997). **The analysis of environmental factors which influence on the restoration of sand mined areas.** São Carlos. 89p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Mining, if developed without any technical criteria results in degradation, which burdens the society in financial and life quality terms. Non-planned mining activities are responsible for significant changes of the environment in both mining and adjacent areas, endangering its use for other purposes either during mining activities or after their conclusion. Among the methods utilized for mineral extraction, surface mining completely destroys the mine and adjacent areas. Nowadays people are aware that the deleterious effects of mining upon the environment must be minimized. In this context, an essential component is the restoration of areas destroyed especially by surface mining. Through an applied study, this dissertation aims not only analyse the environmental factors which influence on the environmental restoration of a sand mined area, as well as to present restrictions to such activity due to the environmental factors of the region. In order to achieve the proposed objectives, the GIS (Geographic Information System) - software Idrisi for Windows, was utilized, which showed to be a useful tool for restoration projects of mined lands.

Key-words: mining; environmental degradation; restoration of mined lands;
Geographic Information System.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, a demanda sem precedentes de recursos naturais de uma população humana em expansão aliada a uma tecnologia crescente está causando um declínio contínuo e acelerado da qualidade do meio ambiente e de sua capacidade de sustentar a vida. Os avanços tecnológicos fazem parecer que o ser humano depende menos do ambiente natural para suprir suas necessidades diárias, e assim, esquece-se que a sua dependência da natureza continua. Os sistemas econômicos valorizam os produtos manufaturados pelo ser humano, os quais trazem benefícios ao indivíduo, mas dão pouco valor aos produtos e “serviços” da natureza que trazem benefícios a toda a sociedade. A civilização ainda necessita do ambiente natural, não apenas para obter energia e materiais, mas também para manter os processos vitais de manutenção da vida, tais como os ciclos do ar e da água (ODUM, 1988).

Entre as principais atividades econômicas humanas modificadoras do meio ambiente encontra-se a mineração. Segundo GRANATO (1991), a mineração é um setor da economia brasileira de importância significativa, representando cerca de 4% do Produto Interno Bruto (PIB), e que, considerando o processamento e transformação do minério, alcança 26% do PIB. Os efeitos de encadeamento, normalmente associados a esta atividade, são efeitos fiscais e, dependendo das características da região onde está implantada, também se observam efeitos induzidos significativos. O resultado da instalação de um empreendimento mineral para a sua área de influência, em geral, é o desenvolvimento. No entanto, as externalidades negativas são um outro efeito associado à mineração as quais são representadas pelas diversas formas de poluição e degradação ambiental (GRANATO, 1991). A extração de matérias-primas industriais danifica o meio físico natural não apenas na área minerada como em terrenos adjacentes, afetando

particularmente a cobertura vegetal e o solo, os recursos hídricos, o ar e o relevo da área, comprometendo o seu aproveitamento para outros usos, seja durante o desenvolvimento das atividades mineradoras ou após o seu encerramento.

Entre os métodos utilizados para a extração mineral, a mineração à céu aberto causa uma destruição completa da área da jazida e das áreas vizinhas. A “paisagem lunar” deixada no rastro de algumas minerações à céu aberto é responsável pela idéia de que se trata de uma atividade de enorme impacto ambiental (FONSECA, 1991).

Atualmente, é grande a conscientização de que os efeitos deletérios da mineração sobre o meio ambiente têm que ser minimizados. Neste contexto, um componente essencial é a recuperação de áreas degradadas pela mineração, em especial pela lavra à céu aberto (FONTES, 1991).

Em função da Lei 6938/81, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) deliberou como sendo obrigatório o Estudo de Impactos Ambientais (EIA) para determinadas atividades que utilizam ou modificam os recursos naturais. A Resolução CONAMA 001/86 estabelece que dentre outras atividades, a mineração deve apresentar o EIA e respectivo Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) o qual deve conter, além de outras informações, um programa de recuperação ambiental e reaproveitamento das áreas utilizadas.

Em 1988, a Constituição da República Federativa do Brasil, através do artigo 225, institucionaliza que as áreas degradadas pela mineração do país devem ser recuperadas. Algumas empresas já haviam iniciado trabalhos conservacionistas antes da nova legislação e outras, sob esta pressão, encontram-se hoje em situação de retardatárias e sabem que precisam tomar medidas imediatas para a implantação de planos de recuperação ambiental das áreas que sofreram impactos de suas atividades (GRIFFITH et al., 1994).

De acordo com o método de exploração mineral (subsolo, à céu aberto ou flanco/cava) determinados procedimentos de recuperação ambiental são empregados. Porém, no Brasil, à partir da década de 80, a recuperação de áreas mineradas por revegetação tem sido predominante. Esta técnica, além de servir para minimizar o impacto visual negativo da lavra, possui a vantagem de restabelecer o solo alterado, agindo como atenuante dos processos erosivos do meio físico (SILVA, 1995).

O SIG - Sistema de Informações Geográficas, através do qual é possível realizar a compilação de dados temáticos de regiões onde a mineração já se encontra instalada, bem como em locais com potencial para a sua instalação, possibilitando, desta forma, a avaliação dos fatores ambientais intervenientes, é uma das ferramentas capazes de subsidiar tecnicamente a elaboração de planos de recuperação de áreas mineradas.

O presente trabalho pretende discutir estas questões através de um estudo aplicado que busca analisar os fatores ambientais que intervêm na recuperação ambiental de uma área minerada de areia.

2. OBJETIVOS

Os objetivos do presente trabalho são os seguintes:

Objetivo Geral:

Analisar os fatores ambientais que intervêm na recuperação ambiental de uma área minerada de areia.

Objetivos Específicos:

Através de um estudo aplicado:

- Utilizar o SIG (Sistema de Informações Geográficas) como ferramenta metodológica para a caracterização dos fatores ambientais da área de estudo;
- Realizar um estudo sobre as etapas e métodos de recuperação de áreas mineradas à céu aberto e os fatores ambientais intervenientes;
- Indicar alternativas para a recuperação ambiental de área minerada de areia localizada na região de estudo.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para alcançar os objetivos propostos, a metodologia adotada para a elaboração do presente trabalho seguiu etapas compatíveis com os mesmos, as quais se constituíram de revisão bibliográfica e estudo aplicado.

A revisão bibliográfica seguiu os métodos clássicos de leitura e compilação de informações e dados.

Os tópicos contemplados por esta revisão procuram investigar de forma detalhada os métodos de recuperação de áreas mineradas à céu aberto, assim como compilar os instrumentos legais que regem esta questão.

Para o estudo aplicado, os procedimentos foram os seguintes:

Área do estudo aplicado:

Frente a existência de uma grande faixa de areia quartzosa na região da cidade de Analândia (Estado de São Paulo), esta foi a área escolhida para o estudo aplicado, compreendendo uma extensão de 64 km² (figura 1). Uma vez que esta formação pedológica encontra-se presente, é possível estimar o potencial para a instalação de empreendimentos de extração de areia na área. Desta forma, esta suposição, perfeitamente possível de se concretizar, serviu como ponto de partida para um estudo sobre as restrições a esta atividade em função das características ambientais da região em questão, bem como, sobre as alternativas de recuperação ambiental aplicáveis.

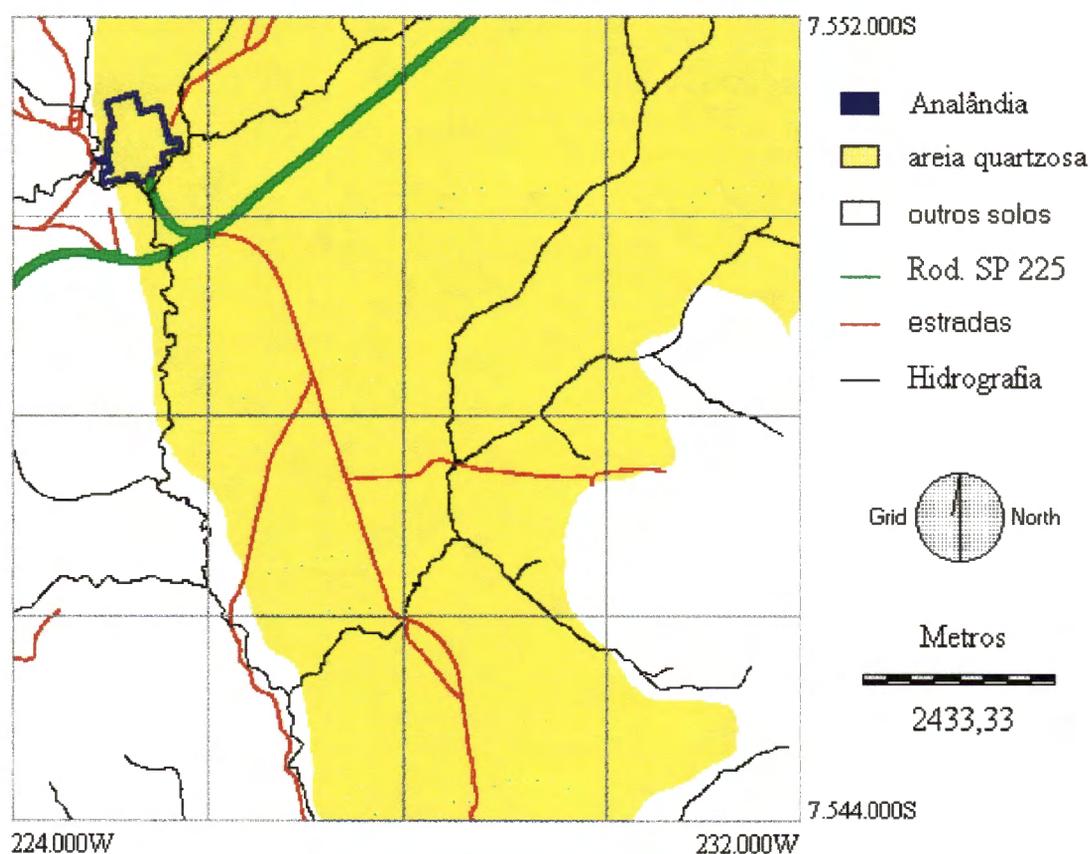


Figura 1 - Localização geográfica da área de estudo.

Coleta de dados:

Para o estudo aplicado, foi realizada uma revisão bibliográfica com o intuito de levantar os mapas analógicos (cartografia corrente) de representação do meio físico e da vegetação natural da região de Analândia, elaborados por instituições federais e estaduais como base para a elaboração dos mapas básicos. Os mapas utilizados e suas respectivas escalas foram os seguintes:

MAPA PEDOLÓGICO SEMI-DETALHADO DO ESTADO DE SÃO PAULO - ESCALA 1:100.000, elaborado por São Paulo (1981), sendo utilizada a quadrícula de São Carlos (1981).

MAPA PLANIALTIMÉTRICO - ESCALA 1:10.000, elaborado pelo Instituto Geográfico e Cartográfico (IGC), do qual foram utilizadas informações topográficas, e hidrográficas, infra-estrutura e perímetro urbano. Foram utilizadas as folhas

Analândia I (1979), Analândia II (1979), Córrego do Capim Fino (1979), Fazenda São Luiz do Cuscuzeiro (1979), Fazenda Santo Urbano (1979) e Serra da Atalaia (1979).

MAPA DE VEGETAÇÃO NATURAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - ESCALA 1:50.000, sendo utilizada a quadrícula de Corumbataí (1989).

O Sistema de Informações Geográficas:

O *software* aplicado ao SIG utilizado para a geração e manipulação de imagens foi o IDRISI *for Windows*, desenvolvido pela Clark University, constituindo-se um instrumento básico utilizado para desenvolver o estudo de caso. Este é um *software* de sistema de informações geográficas do tipo *raster*, composto por aproximadamente 100 módulos de programas executáveis independentes, unidos por um programa principal de interface. O IDRISI desempenha todas as funções básicas exigidas para um SIG, como tratamento de imagens, gerenciamento de banco de dados, análises estatísticas etc, além de possuir fortes operadores de análises espaciais para distância, sobreposição e conectividade (EASTMAN, 1995).

Como forma de entrada de dados cartográficos no SIG, utilizou-se o *software* de digitalização TOSCA 2.12.

Os equipamentos necessários para o perfeito desempenho das funções de entrada de dados na forma analógica, processamento e apresentação das informações foram, respectivamente:

- mesa digitalizadora *Summagraphics Summagrid IV*, tamanho A1;
- CPU: 486DX2, 16MB de memória RAM e 1,28GB de disco rígido;
- impressora jato de tinta colorida, série 692C da HP.

Entrada dos dados geográficos:

Obtidos na forma cartográfica, os dados geográficos foram transformados para a forma digital via mesa digitalizadora usando o *software* TOSCA 2.12. A digitalização dos dados geográficos foi feita utilizando como base o sistema de

coordenadas “Universal Transversa de Mercador” (UTM), estando a área de estudo localizada nas coordenadas (em metros): 7.544.000 a 7.552.000 S, 224.000 a 232.000 W (figura 1).

Após a digitalização, estes mapas em formato *vector* foram transformados para o formato *raster* pelo IDRISI para então dar origem às imagens básicas do estudo de caso. Todas as imagens foram produzidas com uma resolução de 10x10m para o *pixel*. O tamanho do *pixel* é definido considerando a qualidade das informações que se dispõe e a quantidade de dados gerados, ou seja, o tamanho da área em estudo. Para o estudo de caso, o número de linhas e colunas foi de 800x800 com um tamanho de *pixel* de 10m.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. MINERAÇÃO E MEIO AMBIENTE

4.1.1. LEGISLAÇÃO BÁSICA COMENTADA

A Constituição brasileira promulgada em 05 de outubro de 1988 estabelece em seu artigo 225 que: “aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da lei”.

Esta disposição, no entanto, não constava das Constituições anteriores. O explorador dos recursos minerais, seja pessoa física ou jurídica, passou a ter caracterizada constitucionalmente sua obrigação de recuperar o meio ambiente degradado em razão de sua atividade. A Lei de Política Nacional do Meio Ambiente (Lei 6.938, de 31.8.81) já dissera em seu artigo 4º : “A Política Nacional do Meio Ambiente visará: VII - à imposição ao poluidor e ao predador da obrigação de recuperar e/ou indenizar os danos causados”. Agora, o texto constitucional refere claramente que a atividade minerária acarreta degradação ao ambiente e que o minerador deverá recuperá-lo. No entanto, o texto Constitucional não estabelece medida alternativa de indenização e determina expressamente que o ambiente deverá ser recomposto (BRANDI, 1994).

Em 1981, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), através da Lei 6938, deliberou a obrigatoriedade de apresentação de Estudo de Impactos Ambientais (EIA) por parte de determinadas atividades que utilizam ou modificam os recursos naturais e em 1986 a Resolução CONAMA 001 estabelece que dentre outras atividades, a mineração deve apresentar o EIA e respectivo Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) o qual deve trazer, além de outras informações, um programa de recuperação ambiental e reaproveitamento das áreas utilizadas.

A recuperação ambiental explicitada pela Constituição Federal de 1988 é uma das formas de responsabilidade jurídica da exploração mineral. Contudo, de acordo com MACHADO (1996), mediante a consulta apenas do texto da Constituição Federal e da Política Nacional do Meio Ambiente poder-se-ia pensar que a atividade de pesquisa mineral, não sendo exploração mineral habitual, estaria excluída do dever de recuperar o meio ambiente. Felizmente, enfatiza o autor, a Lei 7.805/89 esclarece corretamente que o titular de autorização de pesquisa responde pelos danos causados ao meio ambiente. O fato de que a pesquisa mineral possibilita diversos trabalhos de campo como “abertura de escavações visitáveis” é uma realidade e portanto, seria aberrante deixar irrecuperado o meio ambiente que sofreu tais atividades, principalmente no caso em que não houver interesse na obtenção da concessão de lavra.

O texto constitucional não confere ao órgão público o arbítrio de exigir ou não a reconstituição do ambiente. É dever jurídico do órgão público exigir a recuperação e indicar ou aprovar a solução técnica a ser observada na recomposição. A Lei ordinária dirá como se comportará o órgão público para exigir e acompanhar a recuperação do ambiente (MACHADO, 1996).

De acordo com MACHADO (1996), foi um avanço considerável, no âmbito da maior lei do país, considerar categoricamente a mineração como atividade degradadora do ambiente.

Com o Decreto Lei 97.632, de 10 de abril de 1989, foi regulamentado o PRAD (Plano de Recuperação de Áreas Degradadas), através do qual os órgãos estaduais de meio ambiente passaram a exigir maior cuidado com o meio ambiente por parte das empresas, nas áreas de influência dos empreendimentos de mineração. No processo de fiscalização dos empreendimentos de mineração, o PRAD corresponde ao instrumento de controle ambiental mais requisitado.

Quando realiza a abertura de uma cava - escavação em terreno plano ou em morro, executada para a lavra mineral - o empreendedor depara com a obrigação de recuperar a área, pois a fertilidade do solo, a topografia e a paisagem da área são modificadas. De um lado, buracos vão sendo abertos e, de outro, pilhas de estéreis e de rejeitos vão sendo feitas. O empreendedor pode apresentar um projeto de recuperação cuja realização dependerá da concordância do órgão público

competente. No entanto, conforme a Constituição Federal, não basta recuperar o meio ambiente degradado segundo a opinião de quem explora o recurso mineral, mas é necessário que a recuperação seja feita de acordo com a solução técnica indicada pelo órgão público (SILVA, 1995).

4.1.2. IMPACTOS AMBIENTAIS E MINERAÇÃO

De acordo com o Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM) (1992), as atividades de mineração ocasionam impactos ambientais significativos, entre os quais se encontram:

- desmatamento nas áreas de operação, abrangendo núcleo de mineração constituído pela mina, bancadas de estéril, deposição de rejeitos, estradas de serviços, usinas, áreas de apoio social e infra-estrutura;
- alteração do padrão topográfico em consequência da deposição de estéril;
- alteração do padrão topográfico em função da abertura da cava de exaustão;
- instabilização de encostas e terrenos em geral;
- exposição da área aos fenômenos de dinâmica superficial como erosão.

Além dos elementos anteriormente citados, os recursos hídricos também podem ser alvo de impactos, principalmente por fatores como: lixiviação das pilhas de estéril, instabilização das camadas de estéril, rompimento dos taludes das bacias de rejeito, infiltração e/ou percolação das bacias de rejeito (MACHADO, 1996).

As atividades de mineração, em geral, também envolvem obras de movimentação de solo as quais, em muitos casos, estão relacionadas com ações de escavação, desmonte, rebaixamento de lençol, transporte e bota-fora de materiais, construção de drenagens, estradas e praças de trabalho (IBRAM, 1992).

BRANDI (1994) salienta que as transformações ambientais causadas pelas atividades mineradoras envolvem, além das alterações nos recursos naturais, os conflitos sociais, econômicos e até culturais. As alterações na paisagem natural, expostas às pessoas que trafegam na região da mina, é o efeito mais notado durante a implantação dos empreendimentos de mineração.

De acordo com a Resolução 001/86 - CONAMA, qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente causada por qualquer

forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que afetam a biota, as condições estéticas e a qualidade dos recursos ambientais deve ser considerada impacto ambiental (SILVA, 1995).

Para efeito de elaboração de um plano diretor de recuperação e controle ambiental de superfícies mineradas, BRANDI (1994) descreve de forma sucinta os principais problemas ambientais causados pelas atividades de extração mineral a céu aberto:

- *Impactos sobre a geologia*: o principal impacto da lavra sobre a topografia e a geomorfologia é a modificação do relevo. As cavas e as pilhas de estéril originadas das atividades de lavra, juntamente com os efeitos indiretos (exposição de solo, rochas e paredões) provocam impactos secundários como erosões, voçorocas e assoreamentos capazes de mudar toda a estrutura e evolução dos sistemas ambientais adjacentes à área da mina;
- *Impactos sobre os recursos hídricos*: a alteração do fluxo das águas subterrâneas, alterado pelo rebaixamento do lençol freático, é um dos efeitos negativos no comportamento das águas da região da mina.

As águas superficiais sofrem os efeitos oriundos da remoção da vegetação e alteração da drenagem natural da bacia hidrográfica na área da mina. A qualidade das águas pode ser alterada de acordo com os efluentes lançados pela usina de concentração e a eficiência das medidas mitigadoras adotadas pelas empresas;

- *Impactos sobre os solos*: a remoção da vegetação, as escavações e a abertura de vias de acesso geram problemas de erosão, alteração da estrutura dos solos, diminuição da permeabilidade das camadas aflorantes de solo etc. As áreas de alta declividade (acima de 25%) apresentam os problemas mais conflitantes. Reduzidas as taxas de infiltração e percolação, pela remoção da cobertura vegetal e alteração da estratificação do solo, juntamente com a modificação da rede de drenagem natural, acentua-se a lixiviação de minerais e nutrientes pela forte energia das águas superficiais, favorecida pela modificação da rede de drenagem;
- *Impactos sobre a vegetação*: a remoção da vegetação nativa e a modificação da sucessão natural pela introdução de espécies mais adaptáveis às novas condições do local são algumas das alterações provocadas pela ação da mineração sobre o meio vegetal. As espécies nativas, raras ou não, representam um banco genético

característico da região, contribuindo de forma conjunta para o equilíbrio ambiental da região onde a jazida está inserida;

- *Impactos sobre os ecossistemas aquáticos*: a qualidade das águas, alterada pelo “input” de elementos químicos provenientes das usinas de concentração, afeta, diretamente, a abundância e a diversidade de organismos aquáticos;
- *Impactos sobre a ictiofauna*: considerado como um impacto secundário, o impacto sobre a ictiofauna pode representar fator de decisão na implantação de determinadas medidas mitigadoras, pois oferece à comunidade local uma visão unidirecionada dos efeitos negativos que um projeto de mineração pode causar nas imediações da jazida em exploração, uma vez que há um afastamento significativo da comunidade de peixes das áreas de influência da mina;
- *Impactos sobre a fauna*: as detonações, perfurações, ruídos e outras alterações nos “habitats” naturais, perturbam as comunidades faunísticas, provocando seu deslocamento, mudança de hábitos, perda de indivíduos e alteração de nichos ecológicos. Os projetos de recuperação devem, no seu contexto, considerar a evolução natural dos ecossistemas em prol da conservação dos “habitats” das comunidades biológicas estabelecidas no local, antes da implantação do empreendimento. Os objetivos a curto e longo prazos necessitam de um planejamento que vise garantir a estabilidade dos nichos ecológicos. A diversidade da fauna em equilíbrio dinâmico com os outros recursos naturais necessários à sua sobrevivência é um dos fatores que asseguram a estabilidade da qualidade do meio ambiente recuperado;
- *Impactos sobre o clima e a qualidade do ar*: na ordem de microclima, são quantificáveis as alterações provocadas pela remoção da vegetação e rebaixamento das superfícies elevadas. A radiação solar incidente num determinado local é alterada pela modificação do relevo. A temperatura do ar, seu teor de umidade, os níveis de precipitação e a incidência de ventos, também sofrem alterações diretas;
- *Impactos sobre a estética*: a modificação dos elementos visuais que caracterizam as paisagens são, obviamente, os impactos mais percebidos nas áreas submetidas a atividades de mineração à céu aberto. Muitos dos impactos já citados são causadores diretos da modificação da paisagem natural, recaindo sobre o

observador, a sensibilidade para julgar e propor metodologias de recuperação. Em geral, são propostas medidas que visam manter a estabilidade das áreas mineradas, para que na fase de exatão da jazida, haja suporte para que possam ser criadas novas feições de paisagens, mesmo que estas sejam distintas das originais;

- *Impactos sobre os recursos culturais*: dependerá, em cada caso, dos limites da área requerida, dos efeitos oriundos dos métodos de lavra adotados e da exposição da mina às comunidades vizinhas. Geralmente, estes impactos são mais significativos quando envolvem sítios arqueológicos ou outros recursos naturais pertencentes à União.

4.1.3. ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL NA MINERAÇÃO

Segundo CONTRERAS (1991), citado por BRANDI (1994), os Estudos de Impacto Ambiental são estudos técnicos, necessariamente objetivos e de caráter interdisciplinar que se realizam sobre os projetos para prever os impactos ambientais que possam derivar-se da execução de determinadas atividades. Estes estudos devem incluir uma valoração dos impactos ambientais, de forma que permita comparar diferentes alternativas de um mesmo projeto.

De acordo com o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) (1994), a Resolução 001/86-CONAMA, ao tratar do conteúdo do Estudo de Impacto Ambiental já havia mencionado de maneira implícita a recuperação das áreas degradadas por atividades de mineração através das medidas mitigadoras conforme o artigo 6º, item III: “Definição das medidas mitigadoras dos impactos negativos, entre elas os equipamentos de controle e sistemas de tratamento de despejos, avaliando a eficiência de cada uma delas”, e artigo 6º, item IV: “Elaboração do programa de acompanhamento e monitoramento dos impactos positivos e negativos, indicando os fatores e parâmetros a serem considerados”. Desta forma, é possível admitir que o “plano de recuperação de área degradada” esteja inserido neste contexto.

BRANDI (1994) coloca que o caráter de complexidade e subjetividade que envolve as questões ambientais, tanto na etapa de planejamento da implantação dos empreendimentos, como no gerenciamento das diversas atividades operacionais do

setor mineral, conduziu os órgãos públicos à elaboração de modelos pré-definidos que visassem orientar as empresas de consultoria, na maneira de proceder-se perante o processo de Avaliação dos Impactos Ambientais. Desta forma, conforme estabelecido pela Legislação Ambiental vigente, os Estudos de Impactos Ambientais, pertinentes ao setor mineral, devem procurar fornecer aos órgãos estaduais de meio ambiente, o seguinte conteúdo:

- Informações gerais sobre o empreendimento, assim como as tecnologias a serem empregadas, a análise de custo-benefício, as limitações administrativas impostas pelo poder público e as considerações legais de influência no tipo de projeto que se pretende instalar. Insere-se também neste item, a indicação, em mapas, das unidades de preservação ou conservação ecológicas existentes nas áreas de influência dos empreendimentos, a presença de projetos do mesmo tipo na região e a descrição dos fatores que favorecem a localização do projeto em questão;
- A caracterização do empreendimento nas fases de projeto, implantação, operação e desativação. É necessário para isto, a descrição dos projetos de lavra e tratamento do minério com detalhes, incluindo todos os mapas das fases de planejamento e desenvolvimento. É fundamental destacar a importância que cumpre a apresentação do cronograma de atividades nas etapas da vida útil do projeto, como referência ao controle ambiental realizado pelos órgãos públicos;
- Diagnóstico ambiental das áreas de influência, caracterizando o meio ambiente antes da implantação do empreendimento, ou seja, descrição e avaliação dos elementos integrantes dos meios físico, biológico e sócio-econômico. Os fatores ambientais envolvidos referem-se às formas de interação entre os recursos naturais dispostos no local pretendido para instalação do empreendimento;
- Impactos ambientais provocados pelas ações do empreendimento nas fases de projeto, implantação, operação e desativação. Faz-se necessário identificar, mensurar e avaliar os impactos ambientais significativos, constituindo o prognóstico ambiental das áreas de influência. Esta fase busca a análise da viabilidade ambiental do empreendimento e as possíveis alternativas para tanto;
- As medidas mitigadoras dos impactos ambientais negativos a serem implantadas ao longo da vida útil do projeto, destacando-se o cronograma de execução adotado, os fatores ambientais a que se destina, as características da obra,

avaliação dos custos etc. Devem ser mencionados os impactos não controláveis, assim como as áreas a serem recuperadas segundo planos pré-elaborados com este fim;

- O projeto de recuperação das áreas degradadas, o qual deve conter informações sobre a qualidade ambiental das áreas de influência do empreendimento. A partir deste diagnóstico inicial, serão consideradas as medidas possíveis e realizáveis dentro das condições da empresa, sendo importante o levantamento das metodologias já implantadas em áreas co-localizadas ou de mesmas características ambientais, assim como os usos potenciais e indicados para as áreas degradadas. É necessário elaborar um cronograma de execução das atividades de recuperação ambiental, partindo dos objetivos a curto, médio e longo prazos definidos para o plano proposto;
- O programa de acompanhamento e monitoramento da qualidade ambiental nas fases de projeto, implantação, operação e desativação do empreendimento, averiguando a eficiência das medidas mitigadoras dos impactos e de recuperação ambiental já implantadas, assim como as condições ambientais nas áreas de influência do projeto, é o principal instrumento de gestão ambiental usado pelas empresas de mineração. Devem ser indicados e justificados os parâmetros selecionados para esse monitoramento, bem como os métodos empregados e a periodicidade de amostragem de cada parâmetro.

4.2. RECUPERAÇÃO DE ÁREAS MINERADAS

Toda mineração, a céu aberto ou subterrânea, modifica o terreno no processo de extração mineral e deposição de estéreis e rejeitos. Além disso, o bem mineral não mais retorna ao local, ficando em circulação, servindo ao Homem e às suas necessidades. Estes dois aspectos trazem à tona a questão da irreversibilidade, pois mesmo sendo a mineração uma atividade potencialmente degradadora, é também verdade que o ambiente degradado pode ser recuperado de forma aceitável, minimizando-se os impactos negativos. A recuperação é, portanto, um dos elementos chave no que concerne à questão do desenvolvimento sustentável e deve ser objeto de preocupação e de ações efetivas desde o início do processo de planejamento da lavra, durante a exploração da jazida e até um longo período após encerrada a atividade minerária no local (IBRAM, 1992).

4.2.1. CONCEITOS E DEFINIÇÕES

A produtividade dos sistemas naturais é reduzida, degradada ou destruída por causa da mineração. Esta atividade afeta desfavoravelmente as condições de vida, a imagem visual e os valores recreacionais da área (DARMER, 1992).

BERGER (1990) salienta que “os danos ambientais provocados pela mineração e por outras atividades humanas estão ocorrendo tão rápido - quase um instante, numa escala de tempo geológico - que nós não podemos agir tão rápido para detê-los. Contudo, interromper os danos não é o bastante, é preciso também consertar os estragos feitos, para prevenir futuras deteriorações e para criar a herança natural viva que nos liga biologicamente e historicamente ao passado”.

O conceito de recuperação combina todas as medidas necessárias para tornar as paisagens produtivas e visualmente atrativas novamente (DARMER, 1992).

MAJER (1989), citado por IBAMA (1990), descreve a recuperação como um termo genérico que cobre todos os aspectos de qualquer processo que visa a obtenção de uma nova utilização para a área degradada. Inclui o planejamento e trabalhos de engenharia e, normalmente, mas nem sempre, processos biológicos. Um exemplo de uma opção não biológica é a permeabilização de uma área minerada para retenção de

água para consumo industrial. A opção biológica freqüentemente envolve a preparação de um substrato, seguida pela implantação de uma comunidade de plantas, como uma floresta, cultivo agrícola, vegetação nativa, ou simplesmente uma cobertura vegetal que estabilize o terreno.

O IBAMA (1990) define recuperação como o retorno do sítio degradado a uma forma e utilização de acordo com um plano preestabelecido para o uso do solo, o que implica na obtenção de uma condição estável em conformidade com os valores ambientais, estéticos e sociais da circunvizinhança. Significa que ao sítio degradado serão conferidas condições mínimas para o estabelecimento de um novo solo e uma nova paisagem.

A ciência da recuperação é recente e está se desenvolvendo rapidamente. Os especialistas em recuperação de áreas degradadas atualmente estão desenvolvendo e aperfeiçoando uma gama de tecnologias adequadas para responder a uma vasta e crescente variedade de problemas ambientais. Para BERGER (1990), “pensando no futuro, é necessário desenvolver, testar e aperfeiçoar a ciência e tecnologia da recuperação ambiental”.

Com a evolução dos quesitos impostos pela Legislação Ambiental e a criação de normas técnicas para elaboração de programas de recuperação ambiental, os setores mineral e acadêmico tomaram maior impulso no desenvolvimento de técnicas e métodos que visam aprimorar a eficiência das atividades de reabilitação das superfícies degradadas pela mineração (BRANDI, 1994).

De acordo com BRANDI (1994), as normas técnicas estabelecidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) para elaboração e apresentação de projetos de reabilitação de áreas degradadas pela mineração (NBR 13.030) redefinem os elementos básicos para a efetiva recuperação de superfícies mineradas. Entre as definições que mais interessam ao processo, podem-se citar:

- Áreas degradadas: áreas com diversos graus de alteração dos fatores bióticos e abióticos, causados pelas atividades de mineração;
- Reabilitação/recuperação: conjunto de procedimentos através dos quais se minimizam os impactos bióticos e abióticos causados pelas atividades de mineração, de acordo com um planejamento pré-estabelecido;

- Adequação paisagística: harmonização da paisagem de áreas mineradas, com o intuito de minimizar o impacto visual;
- Compensação: modalidade de ressarcimento alternativo ou complementar à reabilitação;
- Manejo sustentável: práticas e controles compatíveis com a manutenção dos parâmetros ambientais dentro de limites previamente estabelecidos, visando dispensar a ação antrópica futura;
- Sucessão natural: reaparecimento da vegetação nativa em um ambiente degradado, através dos métodos de propagação vegetativa natural, sem a participação antrópica;
- Uso futuro: utilização prevista para determinada área, considerando suas aptidões e intenções de uso.

De acordo com BITAR (1992), citado por SILVA (1995), a recuperação de áreas deve ser concomitante às operações de mineração, evitando-se recuperar o sítio ao final da exploração dos bens minerais úteis, o que pode tornar inviável qualquer tentativa de recuperação. Neste contexto, BAUER (1989), citado por SILVA (1995), destaca a recuperação a partir do planejamento, desenvolvida conjuntamente com as atividades de mineração, ou seja, concomitantes às operações de lavra. Este autor afirma que “é muito importante usar a vantagem de ter o equipamento de movimentação de terra que já está no local para construir a forma de paisagem e o tipo de ambiente desejados”.

SILVEIRA & ORTIGÃO (1992) salientam que para recuperar-se uma área deve-se conhecer a sua situação antiga, ou seja, o seu histórico, sendo preciso realizar um levantamento de suas características antes da atuação do Homem, avaliar suas condições atuais e planejar a atuação que visa devolver àquela área a sua função e a sua cobertura vegetal. Desta forma, conforme BARTH (1989) salienta, o processo de recuperação tem início antes da mineração, com o preparo de estudos básicos, análises de impacto ambiental e elaboração de planos de recuperação.

4.2.2. ETAPAS DA RECUPERAÇÃO

A recuperação não é um evento que ocorre em uma época determinada, mas um processo que se inicia antes da mineração e termina muito depois desta ter-se completado (BARTH, 1989). As etapas que compõem o processo de recuperação estão representadas a seguir.

4.2.2.1. OBJETIVOS DA RECUPERAÇÃO

Os objetivos da recuperação, a curto e longo prazos, devem ser estabelecidos e estar de acordo com as restrições do terreno. De acordo com a orientação do IBRAM (1992) estes objetivos podem ser:

- a curto prazo: recomposição da topografia do terreno, amenização do impacto na paisagem e controle da deposição de estéreis e rejeitos;
- a médio prazo: sucessão vegetal, restauração das propriedades físicas e químicas do solo, ciclagem de nutrientes e reaparecimento da fauna;
- a longo prazo: auto-sustentação do processo de recuperação, inter-relacionamento dinâmico entre solo-planta-animais e utilização futura da área.

A definição dos objetivos da recuperação é uma parte muito importante do processo de planejamento e devem estar explicitamente declarados no plano de recuperação. Os objetivos da recuperação definem o produto que deverá ser obtido e o processo inteiro de recuperação deve ser direcionado para dar suporte à realização destes objetivos (BARTH, 1989).

Segundo o IBAMA (1990), a recuperação ambiental de uma área alterada apresenta vários aspectos relevantes associados aos objetivos desejados tais como: “padrões mínimos da qualidade dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, da qualidade atmosférica através do controle de emissões aéreas e considerações às propriedades físicas e biológicas via tratamento pedológico da área”.

BARTH (1989), após ter visitado diversas mineradoras brasileiras com o intuito de realizar uma análise da situação da recuperação de áreas mineradas no Brasil, constatou que todas as minas visitadas tinham objetivos a curto prazo para seus projetos de recuperação, os quais podem ser resumidos da seguinte maneira:

Quadro 1: Objetivos a curto prazo de alguns projetos de recuperação de áreas mineradas.

OBJETIVOS A CURTO PRAZO	PORCENTAGEM DE MINAS (%)
Estética	100
Controle de erosão	100
Restabelecimento de processos biológicos	100
Produção de lenha	50
Floresta primária	50
Produção de forragem	25
Cortina verde	25
Cultivo de plantas	12

Fonte: BARTH (1989).

Segundo o autor, os objetivos a curto prazo identificados durante estes estudos foram dominados pelo desejo predominante de criar uma resposta visual imediata. Desta forma, não é surpreendente observar que todas as minas visitadas tenham indicado a estética como um item importante (e geralmente o mais importante) dos objetivos a curto prazo. O controle da erosão e o restabelecimento de atividades biológicas também foram citados em todas as minas visitadas pelo autor.

Ambos os objetivos, a curto e a longo prazos, devem ser cuidadosamente escolhidos e devem levar em conta a capacidade das áreas recuperadas para dar suporte ao uso futuro do solo escolhido. Na maioria dos casos, áreas de mineração recuperadas serão menos produtivas do que as áreas não exploradas. Então, quando o objetivo a curto prazo é a produção de algum cultivo, este provavelmente será mais baixo e o nível de insumos requeridos (por exemplo fertilizantes) será mais alto do que em áreas não mineradas. Os objetivos a curto prazo devem apoiar os a longo prazo. Se o restabelecimento da floresta nativa for um objetivo a longo prazo, os objetivos a curto prazo devem ser direcionados para acelerar a sucessão natural. Objetivos a curto prazo, dominados por considerações estéticas e executados com o uso de espécies introduzidas e agressoras de rápido crescimento, poderiam não apoiar o objetivo a longo prazo (BARTH, 1989).

4.2.2.2. DEFINIÇÃO DE USO FUTURO DA ÁREA MINERADA

As diretrizes e ações que serão aplicadas na recuperação de uma área minerada são norteadas pela definição de uso que se fará dela no futuro. De acordo com o IBAMA (1990), a definição de uso futuro do solo que se fará na área recuperada, deverá ser claramente delineada na fase de planejamento da atividade minerária. Para IBRAM (1992), esta definição depende das características locais, da demanda regional por certas utilizações e da sua localização. Entre os usos potenciais destas áreas, destacam-se:

- florestamento para manutenção da vida selvagem, com espécies nativas;
- florestamento para fins comerciais, com espécies exóticas;
- área de parques: recreação ou preservação;
- área urbana: residencial ou industrial;
- depósito de resíduos urbanos e industriais;
- atividades agropastoris (cultivo de alimentos e pastagens).

As técnicas e práticas utilizadas para promover a recuperação ambiental de uma área minerada visam à obtenção de um novo nível ecológico que possibilitará a essa área uma nova forma produtiva, seja do ponto de vista econômico ou simplesmente para a preservação (IBRAM, 1992).

As aptidões do solo da região e suas formas tradicionais de uso são parâmetros relevantes para o melhor aproveitamento das áreas degradadas pela mineração, e os condicionantes naturais básicos (físicos, bióticos e sócio-econômicos), limitam as diversas formas de uso apresentadas por vários autores. Por exemplo, regiões com bons e regulares índices pluviométricos, terão maior número de alternativas de novas utilizações da superfície modificada pela atividade de mineração (SILVA, 1995).

O processo de recuperação de uma área degradada é muito lento e depende da auto-sustentação ecológica da área. A definição do momento de reutilizar a área deve ser criteriosa, pois deve-se ter o cuidado de não reverter o processo, degradando-o novamente. Neste sentido, caso a decisão de uso tenha por objetivo a exploração econômica, deve-se dar preferência à produção de espécies perenes (pastagens) ou semi-perenes (reflorestamento) pois as culturas anuais (milho, soja e outros) exigem

uma movimentação intensa do solo, o que representa um grande potencial de degradação do ambiente tanto quanto a mineração (IBRAM, 1992).

BAUER (1989), citado por SILVA (1995), aponta os diversos usos do solo associados a empreendimentos minerários no Brasil, Estados Unidos da América, Canadá e Alemanha e outros países, tendo-se como exemplos os seguintes:

- Recuperação de áreas de extração de areia e cascalho para fins agrícolas como por exemplo para a formação de pomar de cerejas;
- Acordo com o Serviço de Parques, com a compra da área antes do término das atividades, negociando-se com a empresa a reabilitação da área. A mineração realiza a movimentação de terra e modelagem de acordo com um plano preestabelecido pelo Serviço de Parques;
- Utilização de uma pedreira com cava de 25m de profundidade, voltada para área de recreação (natação). O projeto gerou a preocupação do público com a possibilidade de afogamentos, porém, passados 15 anos sem a ocorrência de acidentes, desmistificou-se a preocupação existente;
- Outra pedreira, após recuperação, foi adquirida pela prefeitura e transformada em parque municipal para atividades de lazer em geral;
- Integração entre comunidade e empresa antes do término das atividades de lavra para criação de uma área recreativa, localizada no centro da comunidade. O projeto desenvolvido teve uma parte orientada para a instalação de habitações e outra para o lazer;
- Utilização como campo de golfe. Chegou-se até a alterar a forma de exploração da jazida para acompanhar o desenho do futuro campo esportivo;
- Áreas voltadas para a criação de "habitats" para a vida selvagem a partir de projetos desenvolvidos em plena exploração da mina;
- Áreas de recreação (parque paisagístico e lago) e núcleo cultural (anfiteatro) via recuperação de pedreiras e portos de areia em Chaumailat, vilarejo localizado na região central da França;
- Recuperação de áreas mineradas de campos carboníferos do Nordeste da Índia, voltados para restauração do ecossistema natural para abrigo da fauna e flora regional;

- Recuperação de dunas de rejeito da Rutilo e Ilmenita do Brasil S/A, projeto voltado para a recomposição da flora e fauna nativa da Mata de Restinga (Área de Preservação Permanente), situada no município de Mataracá-PB, no Brasil;
- Recuperação de pedreiras para uso como depósitos de resíduos sólidos em São Paulo, lazer no formato de espaços culturais em Curitiba-PR e Campinas-SP, área industrial em Campinas-SP, aterro sanitário em São Paulo-SP;
- Recuperação de áreas de extração de xisto pela Petrobrás-PR para uso agrícola.

4.2.2.3. PRÉ-PLANEJAMENTO

O pré-planejamento é um elemento essencial em recuperação ambiental, pois permite a identificação de áreas problemáticas antes que elas apareçam. Segundo BARTH (1989), o pré-planejamento pode ser elaborado no formato de Estudo de Impacto Ambiental (EIA). Desta forma, as informações básicas para o pré-planejamento da recuperação da área podem estar contidas neste levantamento preliminar realizado antes da degradação causada pela mineração. Este estudo descreve as condições ambientais antes de se iniciar as atividades minerárias, formando a base para a determinação dos impactos e para a definição do processo de recuperação. Além disso, estes estudos informam a localização, profundidade e qualidade do solo, bem como a composição, densidade e a estrutura da vegetação. Outros parâmetros, incluindo fauna, hidrologia, geologia, qualidade da água e estéril também são incluídos nestes estudos. Estes levantamentos básicos não exigem investigações prolongadas e caras, e devem ser direcionados para obter somente informações necessárias à análise do impacto e para o planejamento da recuperação.

Segundo BARTH (1989), o Estudo de Impacto Ambiental identifica e, dentro do possível, quantifica todos os impactos associados com a mineração e atividades relacionadas, tais como o processamento e transporte do minério e define medidas mitigadoras as quais devem ser empregadas não apenas após o término da mineração como também durante as operações da mina.

Este documento é utilizado para preparar o plano de recuperação o qual deve apresentar uma orientação, passo a passo, para os procedimentos que serão empregados para recuperar todas as áreas degradadas pela mineração e pelas

atividades correlatas. Este plano deve ser um documento de trabalho baseado em fatos e isento de teorias que não tenham fundamento na realidade apresentada na operação da mina (BARTH, 1989).

4.2.2.4. PRAD - PLANO DE RECUPERAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA

A necessidade de sistematizar os métodos de recuperação de áreas degradadas por atividades de mineração vem aumentando desde que a Constituição Federal de 1988 passou a exigir do setor mineral, projetos de recuperação ambiental mais eficientes (BRANDI, 1994).

Com a regulamentação do PRAD (Plano de Recuperação de Área Degradada), através do Decreto Federal 97.632, de 10 de abril de 1989, os órgãos estaduais de meio ambiente passaram a exigir maior controle ambiental, por parte das empresas, nas áreas de influência dos empreendimentos de mineração, colaborando assim com o aprimoramento dos programas de monitoramento e controle da qualidade ambiental das áreas submetidas a algum tipo de impacto ambiental (BRANDI, 1994).

Os projetos de recuperação ambiental, representados legalmente pelos PRADs, correspondem aos instrumentos de controle ambiental mais requisitados no processo de fiscalização dos empreendimentos de mineração (BRANDI, 1994).

De acordo com BARTH (1989), além do atendimento ao aspecto legal, o PRAD tem por objetivo estabelecer um conjunto de ações ordenadas no tempo e no espaço, que visem a recompor as áreas, minimizando desta forma os impactos ambientais provocados pela mineração, e permitindo a auto-realização do processo de recuperação.

Para SÁNCHEZ (1991), o objetivo geral de todo plano de recuperação é o de apresentar soluções técnicas e economicamente viáveis para que a área degradada venha a estar em condições de equilíbrio dinâmico com seu entorno. Para tal, é necessário executar um estudo detalhado dos processos de degradação engendrados ou acelerados pelo empreendimento (por exemplo, processos erosivos) o que requer uma análise cuidadosa dos processos produtivos visando caracterizar os efeitos e impactos ambientais ocasionados pela atividade produtora e pelas instalações e infra-

estrutura de apoio. Portanto, não é possível planejar estratégias eficazes de recuperação sem o conhecimento declarado da atividade de mineração e dos estragos que ela produz (DANIELS, 1994). Ao planejar o trabalho de recuperação, deve-se considerar os diagnósticos efetuados nos estudos ambientais que identificaram as características específicas da mina e do local onde ela está instalada. Essas características dizem respeito aos aspectos físicos como topografia, geologia, solos, rede hidrográfica, paisagem e aos aspectos biológicos como fauna e flora e aos aspectos sócio-econômicos da região (IBRAM, 1992).

As exigências quanto ao conteúdo do PRAD, elaboradas pelos órgãos ambientais de São Paulo e Minas Gerais, por exemplo, o aproxima bastante do Estudo de Impacto Ambiental (EIA). Um dos pontos em comum entre os dois documentos é o chamado diagnóstico ambiental, que no PRAD será definido como o estudo das condições do meio onde se insere o empreendimento. Outra exigência quanto ao conteúdo do PRAD diz respeito a identificação e caracterização dos efeitos e impactos ambientais já ocasionados pelo empreendimento (SÁNCHEZ, 1991).

Para BRANDI (1994), o PRAD, inserido no contexto do EIA-RIMA (Estudo de Impacto Ambiental-Relatório de Impacto Ambiental), é o principal instrumento de planejamento e gerenciamento ambiental no processo de Avaliação dos Impactos Ambientais. De acordo com o autor, o PRAD contempla não apenas as metodologias de avaliação dos impactos ambientais como todo o processo de tomada de decisões na implantação de medidas que alteram a qualidade ambiental das áreas situadas nas imediações das jazidas. O autor salienta que, por estes motivos, este documento torna-se de relevada importância no contexto do planejamento a longo prazo das medidas a serem tomadas ao longo da vida útil dos projetos de mineração.

4.2.2.5. REMOÇÃO DA COBERTURA VEGETAL E DO SOLO ORGÂNICO

O pré-planejamento e o estabelecimento dos objetivos a curto e a longo prazos são pré-requisitos para executar a remoção da cobertura vegetal e remoção do solo orgânico.

É necessário retirar qualquer material com algum valor comercial, como a madeira, por exemplo, antes de iniciar a remoção completa da cobertura vegetal.

Algumas empresas costumam queimar a vegetação antes da remoção do solo orgânico e outras realizam a mistura da vegetação com este solo (BARTH, 1989).

O solo orgânico é definido como a camada superficial do solo onde se concentram os maiores teores de matéria orgânica, micro e mesofauna e nutrientes minerais (em termos agrônômicos: horizonte "A" ou "topsoil") e cuja espessura varia de 10 a 30cm (IBAMA, 1990). A sua adequada remoção depende da perícia do operador do trator de esteiras com lâmina, "scraper" ou motoniveladora. Muitas empresas executam a retirada completa de todo solo orgânico disponível e sua posterior armazenagem, enquanto outras o retiram apenas parcialmente e outras simplesmente não o removem. Os motivos alegados pelas empresas para o não aproveitamento deste solo foram a sua pequena profundidade e a quantidade excessiva de rochas (BARTH, 1989).

A importância do solo orgânico no processo de recuperação é pouco reconhecido. Embora os solos tropicais, em geral, tenham baixo teor de nutrientes, são fontes importantes de micronutrientes, tais como zinco, boro, cobre e cobalto e, em alguns casos, de macronutrientes, como potássio. Provavelmente, a maior importância do solo orgânico no processo de recuperação de áreas está ligada a presença de microrganismos essenciais para a ciclagem de nutrientes e para a conservação e absorção destes nutrientes pelas plantas. Embora grande parte dos microrganismos seja destruída durante o armazenamento do solo orgânico, uma quantidade suficiente sobrevive, representando grande valor, em geral decisivo, na recuperação (BARTH, 1989).

A medida que é prorrogado o tempo de armazenagem, a qualidade do solo é prejudicada. Quando a armazenagem se torna necessária, o solo orgânico deve ser conservado de maneira que sua proteção seja assegurada. Isto geralmente envolve o recobrimento vegetal e a identificação através da sinalização com uma placa. O solo orgânico armazenado deverá ser transferido diretamente para a área preparada para a recuperação, minimizando, desta forma, as perdas de microrganismos e de nutrientes e maximizando o número de plantas e sementes que sobrevivem (BARTH, 1989).

De acordo com POWELL (1988), é recomendado que a remoção completa de todo o solo orgânico se torne uma medida imprescindível no processo da

recuperação. Este solo deve ser removido mesmo que seja superficial ou difícil de ser armazenado, sendo que o tempo de armazenagem deve ser minimizado.

IBAMA (1990) indica algumas precauções que devem ser tomadas quando da remoção da camada fértil do solo. São elas:

- a camada fértil pode ser estocada em cordões ou leiras com no máximo 1,5m de altura ou em pilhas individuais de 5 a 8 m³ as quais devem ter a mesma altura especificada para as leiras;
- a camada fértil do solo poderá ser aproveitada imediatamente ou estocada em depósitos já previamente projetados conforme o método de lavra empregado. O período de estocagem não deve passar de dois anos;
- deve-se evitar a compactação das pilhas de camada fértil do solo;
- realizar o revolvimento periódico do solo armazenado para promover a sua aeração, garantindo uma melhor preservação da atividade biológica;
- a cobertura das pilhas por vegetação morta, serrapilheira da mata ou o plantio de gramíneas ou leguminosas evita a lixiviação e ensolação e propicia a manutenção de características como a atividade biológica e umidade do solo;
- os locais onde serão dispostas as pilhas devem ser previamente preparados com obras de drenagem e proteção à pilha que será formada. Esta medida visa evitar perdas de solo e nutrientes por erosão e lixiviação.

4.2.2.6. MANEJO DO SOLO ORGÂNICO

Segundo BARTH (1989), muitas empresas realizam a reposição do solo orgânico de maneira uniforme e com profundidade que varia de 3 a 50 cm, numa média de 20 cm, o que depende da quantidade de solo existente na área anteriormente à degradação e do grau de aproveitamento que dele se dá durante o seu armazenamento e renovação. Este autor cita, ainda, que algumas empresas utilizam o solo orgânico apenas para o preenchimento de cavas para o plantio de árvores e outras fazem ambos usos do solo armazenado. Após a aplicação do solo orgânico, práticas como a escarificação profunda, aragem ou gradeamento da área podem ser aplicadas no sentido de atenuar a compactação e para incorporar o material corretivo. Em sua pesquisa, este autor verificou que em algumas minas onde estas práticas não

foram adotadas, os esforços de revegetação pareciam prejudicados pela compactação do solo.

Algumas empresas enfrentam o problema da escassez de solo orgânico para a realização da recuperação. Isto se dá quando este não é removido anteriormente a operação de lavra. No sentido de superar este problema algumas minas obtêm o solo orgânico em áreas não degradadas fora do local da mina, em geral, providas de fazendeiros dispostos a vender o solo orgânico de suas pastagens. Todavia, a prudência desta prática deve ser questionada uma vez que a solução do distúrbio de uma área não deve causar a degradação de outra (BARTH, 1989).

Na maioria dos casos, quando o solo orgânico é insuficiente para a recuperação, os estéreis da mina podem ser modificados e servir como meio aceitável para o crescimento das plantas. Se o solo orgânico não for utilizado, o crescimento inicial pode ser mais lento, porém, isto não deve afetar seriamente o programa de recuperação. Corrigindo-se os estéreis com fertilizantes e matéria orgânica (esterco, material de compostagem, casca de arroz e bagaço de cana), evita-se a necessidade de adquirir solo orgânico de áreas não perturbadas (DIAS, 1985).

4.2.2.7. REVEGETAÇÃO

Em resposta às inúmeras agressões ao meio ambiente, surgiu como ponto principal a necessidade de elaboração de propostas e “modelos” de recomposição vegetal que buscassem, sempre que possível, a reconstituição da estrutura e composição das populações originais, resguardando a diversidade genética das espécies. Assim, vários pesquisadores têm se dedicado aos estudos sobre o estabelecimento de modelos adequados e à proposição de técnicas para a recomposição de florestas nativas (BARBOSA, 1992).

No Brasil, a partir da década de 80, a técnica de recuperação de áreas mineradas por revegetação tem sido predominante (BARTH, 1989). O revestimento vegetal em local minerado pode corrigir ou diminuir substancialmente os impactos provocados pela mineração sobre os recursos hídricos, edáficos e visuais da área (GRIFFITH, 1980).

A revegetação, além de servir para minimizar o impacto visual negativo, possui a vantagem de restabelecer o solo alterado, agindo como atenuante dos processos erosivos do meio físico (LYLE, 1987; BARTH, 1989). Aliado a estes fatores, se for escolhida a manutenção da vida selvagem como uso futuro do solo, a revegetação promove o seu retorno (IBAMA, 1990).

IBAMA (1990) esclarece que a revegetação de uma área minerada depende dos processos de recuperação do solo, que por sua vez dependem da recomposição topográfica e paisagística, da restauração das propriedades físicas, biológicas e químicas, e do controle da erosão do solo em questão. Tudo isto depende da escolha do uso futuro da área.

A literatura não dispõe ainda de modelos de revegetação totalmente consagrados que atendam não apenas à necessidade de recomposição de áreas degradadas, mas que também sejam viáveis economicamente (BARBOSA, 1992). Dependendo do grau de degradação da área, técnicas simples podem ser utilizadas para sua recuperação, dispensando tratamentos mais dispendiosos. Em muitas circunstâncias, a dinâmica natural do ecossistema é plenamente satisfatória, desde que observadas algumas condicionantes básicas. Neste sentido, a regeneração natural da vegetação é, sem dúvida, o procedimento mais barato para recuperar áreas degradadas (SEITZ, 1994).

4.2.2.7.1. O CONCEITO DE SUCESSÃO ECOLÓGICA

BARBOSA (1992) constatou que, na literatura, a maioria dos trabalhos sugerem a necessidade de estudos integrados e recomendam quase que invariavelmente a utilização de espécies e formas de plantio que considerem a sucessão natural da vegetação (sucessão ecológica).

A sucessão ecológica é definida como um fenômeno que envolve gradativas variações na composição específica e na estrutura da comunidade, iniciando-se o processo em áreas que, mediante ou não as ações perturbatórias, apresentam-se disponíveis à colonização de plantas e animais (HORN, 1974). Quando não é interrompida por forças externas, a sucessão ecológica é bastante direcional e, portanto previsível, prosseguindo por determinado período até que o sistema alcance

um estágio estabilizado chamado clímax, o qual persiste, teoricamente, até ser afetado por grandes perturbações (ODUM, 1988). A sucessão da comunidade vegetal é um processo normal, em perfeita sintonia com as condições ambientais (SEITZ, 1994).

A sucessão natural é um processo importante na recuperação de áreas degradadas. Sua eficiência depende de vários fatores, dos quais se destacam em primeiro lugar a disponibilidade de sementes das espécies a serem regeneradas. Em segundo lugar está a dispersão destas sementes na área a ser regenerada, sendo os agentes de dispersão como o vento, pássaros e mamíferos os mais importantes. Em terceiro lugar estão as condições do meio no qual a nova planta se desenvolverá. Cada espécie possui o seu nicho, o qual deve ser encontrado para o sucesso da recuperação (SEITZ, 1994).

KAGEYAMA et al. (1992) enfatizam que o processo de sucessão natural em áreas que sofreram distúrbios, tanto em florestas naturais como em áreas com forte ação antrópica é importante para servir como referencial para a implantação de florestas não homogêneas, principalmente para apontar como associar diferentes espécies nos reflorestamentos e quais espécies são potenciais para estes trabalhos.

Quando o processo sucessional se estabelece em virtude da retirada antrópica da vegetação natural, a comunidade que se desenvolve posteriormente é denominada de “vegetação secundária” (ODUM, 1988). Desta forma, outro mecanismo presente na dinâmica natural dos sistemas florestais passível de utilização no processo de revegetação de áreas degradadas é a sucessão secundária. Segundo KAGEYAMA et al. (1992), o conceito de sucessão secundária tem sido uma ferramenta muito importante para orientar os trabalhos de regeneração artificial de áreas degradadas.

Segundo GOMEZ-POMPA (1971), citado por KAGEYAMA et al. (1992), a sucessão secundária é o mecanismo pelo qual as florestas tropicais se auto-renovam, através da cicatrização de locais perturbados (clareiras) que ocorrem em diferentes pontos da mata. Estas clareiras são reocupadas por diferentes grupos ecológicos de espécies arbóreas, adaptadas para regenerarem-se em aberturas de tamanhos diferentes (WHITMORE, 1982 citado por KAGEYAMA et al., 1994).

O processo de sucessão secundária, usualmente descrito após perturbações humanas, está relacionado ao tamanho da área perturbada, à presença de propágulos

no local e à distância das fontes de sementes, fatores determinantes na seqüência florística e estrutural da sucessão (PICKETT, 1983 citado por BRITZ & SILVA, 1992).

KAGEYAMA et al. (1990), citados por KAGEYAMA et al. (1992), desenvolveram experimentação intensiva com plantios mistos de espécies nativas, visando a recuperação de áreas no entorno de reservatórios hidrelétricos através de reflorestamentos de proteção aos mananciais de água. O principal experimento realizado por estes autores envolveu 20 espécies nativas de 4 regiões do Estado de São Paulo, classificados em grupos ecológicos segundo a sucessão secundária. As espécies arbóreas foram divididas em pioneiras, secundárias iniciais, secundárias tardias e climácicas, usando a terminologia de BUDOWSKI (1965, 1970). As principais conclusões obtidas a partir deste experimento, até os dois anos de idade das plantas, podem ser assim resumidas:

- o crescimento em altura e diâmetro das árvores foram em ordem decrescente para os grupos: pioneira, secundária inicial, secundária tardia e climácicas;
- as espécies pioneiras apresentam um crescimento muito rápido. Esse grupo apresentou um comportamento semelhante, tanto em parcelas puras como em combinações com outros grupos ecológicos, mostrando não sofrer o efeito de competição com outras espécies, para crescimento e tamanho da copa;
- as espécies secundárias iniciais mostram-se intolerantes à sombra total das pioneiras, requerendo pleno sol para o seu desenvolvimento. Esse grupo de espécies não sofreu nenhum prejuízo em crescimento quando em competição com espécies dos grupos das secundárias tardias e das climácicas;
- o grupo das espécies secundárias tardias foi o que apresentou os resultados mais interessantes. Seu crescimento foi beneficiado quando em associação com as espécies secundárias iniciais (sombreamento parcial) e prejudicado quando junto com as pioneiras (sombreamento total). O tamanho e a forma da copa dessas espécies também foram dramaticamente afetados pelo sombreamento;
- as espécies climácicas não sofreram redução de crescimento quando associadas com os outros grupos ecológicos. O aspecto das árvores das espécies climácicas, no entanto, revelou-se mais saudável quando em sombreamento, comparativamente ao pleno sol.

A experimentação permitiu concluir que a sucessão secundária é um conceito utilizável na separação das espécies em grupos ecológicos distintos, cujos comportamentos podem, de certa forma, ser previstos quando em associação (KAGEYAMA et al., 1992).

De acordo com BRITZ et al. (1992), as espécies pioneiras apresentam características como produção contínua de grande quantidade de sementes geralmente de pequeno tamanho e dispersão pelo vento e animais a distâncias consideráveis. Além disso, estas espécies apresentam crescimento rápido, ciclo de vida curto, madeira com muitas ramificações e baixa densidade, folhas pequenas e altamente recicláveis, presença de raiz superficial e alta razão de fotossíntese.

BRITZ et al. (1992) estudaram a sucessão secundária em 4 parcelas de vegetação danificadas e concluíram que, pelos fatores expostos acima, as espécies pioneiras podem ser de grande utilidade na recuperação das áreas degradadas pela mineração. Estas espécies são pouco exigentes quanto às condições do solo, são adaptadas a viver na presença de muita luz e produzem grande quantidade de sementes. Para a utilização das mesmas, os autores sugerem que basta que se direcione o processo sucessional, procurando acelerá-lo no início e posteriormente deixando-o que tome o seu curso natural sem a necessidade da intervenção humana, promovendo assim uma recuperação mais eficiente tanto dos solos quanto do ambiente como um todo.

AWETO (1981), em estudo sobre a recuperação do solo através da vegetação secundária, comprovou que as substituições das formas de vida promovidas pelos estádios sucessionais restauram a fertilidade do solo, geram mais "litter" e protegem-no contra a lixiviação e erosão.

KAGEYAMA et al. (1989), citados por JESUS (1994), concluem que a sucessão secundária parece ser o conceito mais apropriado para ser utilizado na regeneração artificial de florestas mistas, já que é o processo pelo qual as espécies se regeneram na floresta natural tropical. O entendimento de como as diferentes etapas que se sucedem na floresta, desde as clareiras até a mata fechada, são ocupadas sucessivamente por diferentes grupos de espécies, pode, sem dúvida, orientar a maneira que as espécies vegetais podem ser associadas nas plantações mistas.

4.2.2.7.2. A ABORDAGEM ECOLÓGICA

GRIFFITH et al. (1994) discutem as implicações do conceito de “abordagem ecológica” quando aplicado à recuperação de áreas mineradas no Brasil. Segundo os autores, “a maioria das empresas mineradoras tem optado por práticas de recobrimento rápido do solo sem considerar resultados mais duradouros. Talvez influenciadas pela padronização da produção mineral, estas empresas utilizam receitas igualmente uniformes no preparo do terreno e no plantio das espécies vegetais. Elas encaram o problema como se fosse possível desenrolar “um tapete verde” sobre os locais degradados e deixam isso como solução definitiva.” Este enfoque deixa de lado aspectos ecológicos fundamentais como a biodiversidade e a sustentabilidade dos plantios. Assim sendo, geram-se situações tais como a necessidade de freqüentes fertilizações, a suscetibilidade dos monocultivos à destruição por pragas e pelo fogo, à erosão devido as falhas no tapete, o empobrecimento visual a médio prazo e a frustração geral dos administradores da empresa.

REDENTE et al. (1993), citados por GRIFFITH et al. (1994), revisando a literatura, concluíram que os processos sucessionais descritos por CLEMENTES (1916, 1928) ainda representam a melhor abordagem ecológica para entender a dinâmica da recuperação. Após o distúrbio inicial do terreno para o qual emprega-se o termo nudação, são estes os processos sucessionais:

Dispersão

O sucesso inicial da recobertura vegetal depende da migração ou dispersão de propágulos (frutos ou sementes). Existindo naturalmente ou preparados com técnicas agrônômicas, o terreno degradado poderia receber os propágulos de diversas maneiras, a saber:

- de fontes exógenas de vegetação próximas à área degradada;
- dispersão pela fauna;
- propagação pelo vento;
- recolocação do horizonte “A” ou “topsoil”;
- colocação da serrapilheira;

- sementes compradas ou coletadas;
- mudas de viveiro.

Estabelecimento

Após a dispersão, resta saber se a planta consegue estabelecer seu ciclo completo de vida no local de repouso, incluindo germinação, sobrevivência, crescimento e reprodução. Isto depende das condições de receptividade da topografia, solo, umidade, microclima e da ausência de predadores e fogo. Depende, também, se as espécies dispersadas são ambientalmente adaptadas ao novo local. Este processo inclui o restabelecimento da interação entre as plantas e os organismos que habitam o solo ou substrato. Entre os muitos organismos, pode-se citar as micorrizas, que contribuem para a absorção de água e de nutrientes através do aumento da superfície de absorção do sistema radicular das plantas; algumas plantas não conseguem sobreviver sem elas.

Competição

Espécies primárias ou pioneiras, altamente precoces, freqüentemente dominam as primeiras comunidades vegetais estabelecidas em áreas degradadas. Dotadas de capacidade de suportar essas condições especiais, conseguem dominar o uso da água, nutrientes, luz e espaço. Ocupam o lugar em detrimento de outras plantas menos competitivas, porém essenciais para o processo evolutivo, que aguardam oportunidades de sombreamento ou outras melhorias nas condições ambientais do local tornando-as mais competitivas. Assim fortalecidas, as plantas secundárias tomam eventualmente, o lugar dessas pioneiras que já não possuem vantagens nas condições modificadas.

Reação

As melhorias aguardadas pelas espécies mais tardias dependem da reação do local às plantas pioneiras e a microbiota do solo. As plantas estabelecidas aumentam a sombra, o que mantém a umidade do solo, proporcionando maior crescimento e possibilitando maior diversidade de espécies. Elas também acrescentam matéria orgânica nas primeiras camadas da superfície do solo e o enraizamento altera a

estrutura física e química do mesmo. A reação da biota é um processo sinérgico: a interação de duas ou mais substâncias ou organismos produz um efeito multiplicador, o qual nenhum elemento seria capaz de realizar individualmente. É criado no lugar um novo “habitat” receptivo a dispersão dos propágulos de outras espécies que não suportavam as condições iniciais de degradação. O estabelecimento dessas novas espécies aumenta ainda mais a diversidade.

Estabilização

Há uma tendência dos processos anteriores levarem ao amadurecimento do “habitat”, refletida por uma constância de caráter, ou seja, resistência às mudanças mais oscilantes. O ecossistema, após sofrer a perturbação, retorna a um estado de equilíbrio, evidenciado, principalmente, pela diminuição da introdução de novas espécies e pela redução da ciclagem de nutrientes. A estabilização é um processo pouco compreendido e merece maiores estudos.

No sentido de ilustrar a aplicabilidade da abordagem ecológica descrita por CLEMENTS (1916, 1928) a projetos de recuperação de áreas mineradas, GRIFFITH et al. (1994) descreveram alguns trabalhos práticos que incorporaram aspectos importantes dos processos nela envolvidos, e que são apresentados a seguir:

O USO DA SERRAPILHEIRA COMO PRÁTICA DE RECUPERAÇÃO EM ÁREAS MINERADAS DE BAUXITA

Essa técnica, estudada por GISLER & MEGURO (1993) da Universidade de São Paulo e desenvolvida junto à equipe de meio ambiente da Alcoa S/A (MORAES & WILLIAMS, 1992) trata áreas mineradas de bauxita em Poços de Caldas, MG, com diferentes quantidades de serrapilheira (folhas, ramos, troncos e órgãos reprodutores da vegetação). O objetivo do estudo foi a verificação do efeito do uso da serrapilheira para promover o estabelecimento e desenvolvimento de espécies sucessionais. Os autores também investigaram se esta técnica aumentaria a produção de biomassa, contribuindo para a maior proteção do solo contra a erosão.

Segundo GISLER & MEGURO (1993), a diferença entre os números de espécies e famílias levantadas trimestralmente e após um ano e cinco meses indica o aparecimento e substituição de espécies pioneiras herbáceas por outras subarborescentes e arbustivas de pequeno porte no decorrer do tempo. Desta forma, os autores concluíram que o uso da serrapilheira parece ser bastante efetivo como prática de recuperação de áreas desnudas.

GRIFFITH et al. (1994) afirmam que dentro do contexto da abordagem de CLEMENTS (1916, 1928), a técnica da aplicação da serrapilheira é importante porque melhora, significativamente, a quantidade e diversificação da dispersão de propágulos às áreas degradadas. A colocação da serrapilheira utilizada em conjunto com a recolocação do "topsoil" - uma técnica ecológica já consagrada em muitas empresas - deve propiciar efeitos ainda maiores no processo de reação. Há perdas de matéria orgânica, nutrientes e fauna do "topsoil" durante o seu transporte e estocagem, em virtude da ação dos raios solares, lixiviação e falta de aeração. O novo material da serrapilheira reage com esse "topsoil" parcialmente empobrecido, devendo haver renovação daqueles valores, acelerando, desta forma, o processo de recuperação.

O USO DE SACOS DE ANIAGEM PARA O RESTABELECIMENTO DO HORIZONTE "A" DO SOLO EM TALUDES ÍNGREMES EM MINAS DE FERRO

A recuperação de áreas mineradas enfrenta, como principal problema, o restabelecimento de uma relação positiva entre a vegetação implantada e os substratos dos taludes. Isto ocorre tanto nas cavas a céu aberto, como nos depósitos de estéreis, principalmente por causa da ausência de solo com características de horizonte superficial (GRIFFITH et al., 1994).

Em áreas não degradadas, o horizonte superficial dos solos ou horizonte A, se caracteriza por ser friável e rico em matéria orgânica em relação aos horizontes mais profundos. É o horizonte onde ocorre a maior atividade de micro e macrorganismos e de raízes secundárias das espécies vegetais. Os horizontes mais profundos são importantes para a sustentação dos vegetais superiores. Para fins de recuperação, é

importante que eles tenham estrutura suficiente para o desenvolvimento de raízes primárias e retenham água para possibilitar a sustentação e desenvolvimento das espécies (GRIFFITH et al., 1994).

A ausência de horizonte A nos locais de recuperação de áreas mineradas pode ser contornada por meio de técnicas de implantação de materiais contendo material orgânico, simulando um horizonte superficial (GRIFFITH et al., 1994).

Dos vários métodos utilizados, a técnica de SILVA (1993), denominada “aplicação de sacos verdes”, tem mostrado eficiência na proteção e revegetação de taludes. Em uma área de observação foram utilizados sacos de aniagem, com dimensões de 0,90x0,54m preenchidos com 9 dm³ de uma mistura, preparada para 50 sacos, de sementes, capim picado, serragem e solo, em partes iguais. Após o enchimento dos sacos com a mistura, eles foram fechados e fixados nos taludes por meio de grampos de aço ou estacas de madeira (GRIFFITH et al., 1994).

SILVA (1993) relata que a germinação das sementes ocorreu após o terceiro dia da colocação dos sacos. As raízes penetraram no talude natural favorecendo a fixação definitiva das plantas, promovendo boa revegetação. O autor concluiu que a utilização de sacos de aniagem, para revegetação de taludes íngremes tem sido altamente positiva e que os sacos podem ser usados de duas maneiras: com o enchimento prévio com uma mistura de material orgânico, solo e sementes, ou como manta sem nenhum enchimento para posterior hidrossemeadura.

GRIFFITH et al. (1994) afirmam que tais estudos podem ser direcionados conforme o ponto de vista dos processos de reação descritos por CLEMENTS (1916, 1928) em que a soma de um conjunto de reações oriundas de exudados ácidos de raízes, que somadas à atividade de microorganismos, podem promover a formação de um ambiente mais favorável ao estabelecimento da vegetação. De acordo com estes autores, as plantas aumentam as sombras, alteram a umidade do solo, modificam a flutuação de temperatura, adicionam matéria orgânica ao solo e alteram a estrutura e características químicas do solo por meio do crescimento e ação do sistema radicular.

Estas reações são importantes para a formação de materiais que venham a penetrar entre as rachaduras das rochas ou entre as interfaces de rochas com rochas, promovendo um ambiente favorável para o desenvolvimento e sustentação das raízes. A queda de folhas, galhos e frutos das espécies vegetais implantadas,

formarão um manto sob a superfície que por meio da atividade microbiana sofrerão a decomposição, liberando e reciclando nutrientes para as plantas. Existirão materiais frescos, recém caídos, e materiais em diversos estágios de decomposição que compõem a serrapilheira que é um dos componentes do horizonte A. Com o tempo as sucessivas somas de reações proporcionarão um horizonte A bem formado com capacidade de reter mais água e nutrientes, mantendo a sustentabilidade do novo ecossistema (GRIFFITH et al., 1994).

GRIFFITH et al. (1994) concluem que as empresas de mineração podem aprimorar os seus programas de recuperação de áreas degradadas se adotarem uma visão mais abrangente da dinâmica natural inerente aos processos de revegetação. Os autores comentam que estudos nesta linha são importantes, principalmente, porque não existem receitas nem pacotes prontos para a recuperação de áreas mineradas e degradadas em geral, uma vez que em cada situação tem-se características de degradação particulares. No entanto, alguns princípios básicos não podem ser esquecidos. A natureza levou milhões de anos para formar os ecossistemas juntamente com seus elementos como o solo e a vegetação. Neste sentido, para a recuperação de áreas degradadas é imprescindível a tentativa de conceder condições adequadas para que seja possível, em menores intervalos de tempo, promover uma reformação de solo e vegetação de forma sustentável.

4.2.2.7.3. SELEÇÃO DE ESPÉCIES

Um dos principais questionamentos feitos pelos técnicos envolvidos na recuperação de áreas degradadas refere-se à escolha das espécies que deverão ser plantadas. Em geral, busca-se por espécies vegetais de rápido crescimento e com grande potencial para proteger e enriquecer o solo, abrigar e alimentar a fauna, recompor a paisagem, restabelecer o regime de água no solo, entre outros fatores. Enfim, espera-se que o conjunto de espécies utilizadas permita iniciar o restabelecimento do equilíbrio do ecossistema em curto espaço de tempo e com baixo custo (DAVIDE, 1994).

Para FRANCO et al. (1994), a estratégia de recuperação de solos degradados deve basear-se numa tecnologia que promova não apenas a utilização de espécies de

rápido crescimento, mas que também sejam capazes de abastecer o solo de nitrogênio e carbono e que aumente a disponibilidade dos demais nutrientes. Esta melhoria se faz tanto pela deposição de material vegetal como pela reciclagem de nutrientes, possibilitando, desta forma, a sucessão vegetal.

No âmbito da seleção de espécies grande controvérsia reside na escolha entre a utilização de espécies nativas ou exóticas (espécies não originais da região).

Para MASCHIO et al. (1992a), se a cobertura original da área era composta de espécies nativas estas seriam ideias para a recuperação. Contudo, o primeiro obstáculo é a falta de inventário florístico que subsidie a seleção de espécies potenciais para a recuperação. Soma-se a este, a falta de dados ecológicos e silviculturais das espécies nativas, para a produção de mudas.

Estes autores constataram em sua pesquisa que algumas citações enfatizam a utilização de espécies exóticas principalmente devido as dificuldades já mencionadas quanto ao uso de nativas. Os trabalhos de pesquisa por eles consultados revelaram a preocupação dos autores com a origem das espécies. Na maioria dos casos, a escolha recaiu sobre as nativas, misturadas ou não com as exóticas. A tabela a seguir demonstra a constatação destes autores:

Quadro 2: Origem das espécies e porcentagem de pesquisas.

ORIGEM DAS ESPÉCIES	PORCENTAGEM DE PESQUISAS (%)
Exótica	8
Nativa	46
Nativa + exótica	46

Fonte: MASCHIO et al. (1992).

KAGEYAMA et al. (1994) esclarecem que quando se trata de revegetação de uma Área de Preservação Permanente deve-se priorizar a adoção de metodologias que se aproximem da sucessão natural, utilizando sempre espécies vegetais de ocorrência natural da região (espécies nativas), pois há necessidade de se recuperar a forma original desta vegetação agredida, além da sua função.

No caso de áreas degradadas não situadas em APP, onde se deseja promover a reabilitação da paisagem, é necessário utilizar espécies que suportem esta condição. Estas espécies podem ser nativas ou exóticas, pois neste caso o prioritário é recuperar a função que a vegetação exerce, ou seja, a de proteger e recuperar o solo. Espécies muito utilizadas nestas condições são *Leucena (Leucena leucocephala)*, Acácias (*Acacia spp.*), Bracatinga (*Mimosa scabrella*) e outras leguminosas principalmente (KAGEYAMA et al., 1994).

Um fator preponderante relacionado à escolha das espécies a serem utilizadas no programa de revegetação refere-se à sobrevivência das plantas que têm que se adaptar a condições totalmente desfavoráveis e agressivas. Neste sentido, GRIFFITH et al. (1990), citados por LEITE & NOGUEIRA (1992), aconselham que sejam levados em consideração alguns fatores na seleção de espécies: o objetivo da recuperação a curto e longo prazo, as condições químicas e físicas dos locais de plantio, a região fitogeográfica do país, o microclima, a viabilidade das sementes, a taxa e forma de crescimento, a compatibilidade com outras espécies e, sempre que possível, o uso de espécies nativas da região.

Dentro deste raciocínio, pode-se utilizar para a recuperação de áreas mineradas uma associação de gramíneas, leguminosas e espécies nativas da região, mais adaptadas ao local. As gramíneas têm a função de proteção inicial do solo, devido a sua rápida capacidade de germinação e boa resistência às carências nutricionais dos solos. As leguminosas exercem a função de plantas melhoradoras do solo, através da fixação de nitrogênio do ar atmosférico e fornecimento de matéria orgânica. Finalmente, as espécies nativas têm a função de recompor o local por intermédio da sucessão ecológica (LEITE & NOGUEIRA, 1992).

DAVIDE (1994) conclui que a recuperação de áreas degradadas a partir da semeadura de uma mistura de sementes de gramíneas, leguminosas e outras espécies herbáceas, arbustivas e arbóreas constitui-se uma alternativa que pode trazer resultados satisfatórios. De acordo com o autor, o capim gordura *Melinis minutiflora* é uma espécie que possui grande capacidade de colonizar solos degradados, cobrindo-os e incorporando grande quantidade de matéria orgânica. Porém, seu crescimento agressivo impede o crescimento das árvores, inviabilizando o processo de sucessão secundária e atraindo o fogo na época da seca. Sua utilização, bem como

de outras gramíneas associadas a espécies arbóreas e arbustivas dependerá do desenvolvimento de tecnologias que visem contornar essas dificuldades.

De acordo com ANJOS & REISSMANN (1994), em programas de recolonização de ambientes degradados, as gramíneas são bastante citadas por se estabelecerem com relativa facilidade e por promoverem uma rápida e densa cobertura do solo. Além disso, melhoram a sua estrutura física, atenuam fenômenos erosivos e adicionam matéria orgânica, bem como realizam a ciclagem de nutrientes, apresentando também grande potencial econômico, uma vez que servem como alimentação para bovinos.

As leguminosas são espécies que têm se destacado nos projetos de recuperação, principalmente quando se faz a fertilização do solo com fósforo e potássio e uma calagem. A hidrossemeadura com estas espécies, ao contrário da utilização de mudas, pode ser um sucesso, dada a facilidade com que suas sementes se estabelecem em solos com dureza considerável (JESUS, 1994).

As leguminosas são espécies pioneiras, agressivas, que aparecem em ampla faixa de condições climáticas e edáficas. Os benefícios diretos destas espécies para o solo, há décadas são avaliados sob grande variedade de ambientes. A sua contribuição para a produção de biomassa e seu rápido crescimento proporcionam sombreamento e maior acúmulo de carbono e nutrientes no solo, condições estas que favorecem a germinação de propágulos de espécies secundárias mais exigentes quanto às características de substrato. Desta forma, as leguminosas proporcionam as condições necessárias à ocorrência do processo de sucessão natural da vegetação e conseqüente recobrimento do local por uma vegetação arbórea heterogênea e diversificada (LUCHESE et al., 1992).

Reconhecidas como eficientes restauradoras da fertilidade do solo, as leguminosas promovem a produção de grande quantidade de matéria orgânica que é incorporada, contribuindo para a formação de um novo horizonte superficial, além da proteção do solo como cobertura, diminuindo as perdas por erosão (BONI et al., 1994). Aliado a estes benefícios, o sistema radicular destas espécies vegetais tem efeitos expressivos no processo de recuperação de solos degradados, uma vez que contribue para a melhoria de sua estrutura em função da ação física direta das raízes

na criação de canais que auxiliam a movimentação da água e do ar, além de garantir maior estabilidade dos agregados (FAIRLEY, 1985).

Em áreas mineradas, são diversas as condições e níveis de degradação encontrados, existindo portanto, diferentes alternativas de recuperação. Neste sentido, JESUS (1994) acredita que um princípio básico a ser seguido é o de se trabalhar na busca de espécies adaptadas as novas condições do local, o que afeta diretamente os custos do trabalho. Quanto mais insumos se utilizar mais onerosa se tornará a recuperação. De acordo com estes autores, não existem áreas irrecuperáveis e sim áreas com maior ou menor custo de recuperação. É possível trabalhar com as espécies da região, mas a questão é se estas suportam ou não as novas condições edáficas. Se for realizada uma recapagem com solo da região, certamente que sim, no entanto, o que se questiona é o custo desta operação.

Para cada condição, certamente existem espécies mais adequadas e é neste sentido que deve-se caminhar: trabalhar com a seleção de espécies.

A seleção de espécies dependerá da postura adotada para a utilização da área: para fins comerciais, sociais, estéticos, científicos ou conservação permanente.

A preocupação com a manutenção da fauna local também deve ser enfatizada através do plantio de espécies nativas que forneçam alimentos aos animais silvestres (MORAES, 1992). Ao selecionar-se espécies para o plantio é preciso não apenas empenhar-se em restabelecer o "habitat" faunístico, mas também atrair a fauna para os locais recuperados, com o propósito de incrementar a diversidade de espécies de plantas. Os animais, especialmente pássaros e morcegos, são atraídos pelas árvores e, enquanto comem o fruto, as sementes carregadas na lama de seus pés e em suas fezes vão sendo espalhadas. A germinação destas sementes pode ser uma fonte importante para a diversidade de árvores em áreas de recuperação (BARTH, 1989).

4.2.2.7.4. PREPARO DO LOCAL PARA PLANTIO

Uma etapa importante no processo de recuperação é o estabelecimento de condições apropriadas para a germinação de sementes e o crescimento das espécies vegetais. O preparo do local para o plantio é importante, principalmente se a

vegetação tiver de ser estabelecida em tempo oportuno e se houver o desejo de que o plantio seja auto-sustentável (BARTH, 1989).

Para possibilitar a implantação de cobertura vegetal na área, a primeira operação de preparo do solo é a aração ou revolvimento do terreno, o que possibilitará uma melhor descompactação superficial do mesmo. Após a lavração, diversas operações de gradagem devem ser realizadas para promover o destorroamento do solo preparando-o para a semeadura. Entretanto, em algumas situações não é possível realizar estes trabalhos mecanizados para preparar o solo. Nesses casos (terrenos irregulares, alta declividade), ainda deve-se tentar realizar o melhor preparo possível para a semeadura e plantio como a abertura de covas para o plantio de mudas com a colocação de terra orgânica e adubos. Também em locais onde se realiza a hidrossemeadura, o preparo preliminar consiste em simples escarificação da superfície do terreno para realizar a semeadura (IBRAM, 1992).

Durante o seu preparo, os aspectos químicos do terreno são componentes importantes para que sejam garantidas boas condições para o crescimento das plantas. Neste sentido, é essencial o conhecimento das características químicas do material no qual será realizado o plantio e a noção de como as mesmas afetam o crescimento das plantas. Dentro deste contexto, BARTH (1989) constatou em sua pesquisa que poucas empresas analisam o material de crescimento da vegetação, e, em alguns casos, as análises são incompletas e pouco úteis.

Segundo este autor, na grande maioria das minas é aplicado algum tipo de fertilizante, em geral, um composto de nitrogênio-fósforo-potássio (NPK), o qual é quase sempre utilizado em proporções aleatórias. Algumas minas utilizam rocha fosfática principalmente para o plantio de espécies arbóreas. Este fertilizante tem uma solubilidade lenta sendo utilizado para garantir um suplemento de fósforo a longo prazo.

O suplemento adequado de micronutrientes é essencial para garantir o desenvolvimento das plantas. BARTH (1989) constatou que em algumas minas o crescimento de algumas espécies é limitado pela falta de micronutrientes.

MASCHIO et al. (1992b) constataram que no sentido de evitar o uso aleatório de insumos é necessário que se realize análises microbiológicas do solo como parte do planejamento da recuperação mediante plantios. A sustentação natural de plantios

em solos alterados depende do componente orgânico do substrato, particularmente da comunidade microbiológica. Degradada pelos microrganismos, a matéria orgânica favorece a manutenção dos íons metálicos em solução, assim como a capacidade de intercâmbio iônico e retenção da água nos solos. Estes autores afirmam que por estes motivos, a comunidade microbiológica é o componente fundamental nas transformações que equilibram e sustentam ecossistemas naturais, sendo de particular importância as micorrizas que formam uma relação simbiótica essencial para muitas plantas, principalmente árvores. A melhor maneira para introduzir estes organismos é através da aplicação de solo orgânico.

Também importantes para melhorar as condições de crescimento da vegetação são os corretivos orgânicos, os quais, porém, são pouco conhecidos nas minas brasileiras. Estes corretivos melhoram as características físicas do meio de crescimento, suprem os nutrientes e podem reduzir a toxicidade dos metais. Resíduos orgânicos como esterco, compostagem de lavagem, material vegetal proveniente de podas, lama de esgoto, bagaço de cana, casca de arroz, rejeitos do processamento de celulose, serragem, e outros materiais, são disponíveis em muitas regiões do Brasil e podem ser usados em recuperação (BARTH, 1989).

Todos os corretivos devem ser fisicamente incorporados ao solo orgânico ou ao estéril. Esta incorporação pode ser feita com a escarificação profunda do solo realizada através de máquinas movendo-se ao longo das curvas de nível. A superfície final deve ser áspera, não só para interromper o escoamento das águas pluviais como para criar "micro-habitats" para a germinação de sementes. Outra maneira de se produzir uma superfície áspera é a criação de pequenas covas ou miniterraços. Esta técnica é especialmente útil em encostas muito íngremes onde a vegetação rasteira é plantada por hidrossemeadura. As covas são feitas à mão, em geral usando-se uma enxada. São feitas covas com distâncias que variam de 20 a 30cm, ou orientadas ao longo das curvas de nível, criando-se para este último tipo um pequeno efeito de terraceamento. O benefício principal deste tipo de covas é o de proporcionar uma área plana, geralmente de 10 a 20 cm², onde as sementes podem permanecer durante o processo de germinação. Sem estas covas, as sementes escoariam facilmente pelo talude (DEPUIT, 1988).

4.2.2.7.5. PLANTIO

Em recuperação, duas técnicas básicas de cultivo são usadas: semeadura e plantio de mudas. A escolha do método a ser utilizado depende de fatores como a natureza da área onde será realizado o plantio, o tamanho e a capacidade germinativa das sementes, as características de propagação de espécies individuais etc (IBAMA, 1990).

O plantio de gramíneas pode ser feito através do processo conhecido como hidrossemeadura. De acordo com BARTH (1989), o método de hidrossemeadura é aplicado de forma variada de acordo com a mina. Além dos ingredientes como sementes, água e fertilizantes, muitas empresas incluem em sua composição papelão ou papel picado para que atuem como absorventes. Outros ingredientes como pó de carvão, minerais, linter de algodão, esterco, calcário, húmus e uma variedade de aderentes químicos são adicionados. A maioria destes ingredientes, no entanto, não apresentam benefícios mensuráveis no estabelecimento de gramíneas, sendo descartados por muitas empresas.

As gramíneas devem ser semeadas durante a estação chuvosa. O estabelecimento destas espécies é, em geral, bom, exceto quando, após a germinação ocorre um período de estiagem. Algumas empresas, no entanto, observam que a hidrossemeadura é mais eficiente se for conduzida ao final da estação seca. As sementes permanecem dormentes até o início da estação das águas (BARTH, 1989).

A cobertura de gramíneas também pode ser obtida por meios vegetativos através do uso de placas de grama. Esta técnica, no entanto, é onerosa, limitando-se o seu uso a áreas visíveis e sensíveis à observação do público (IBRAM, 1992).

O plantio de mudas envolve em primeiro lugar a escavação de uma cova sendo que os detalhes de execução deste simples processo variam entre as empresas. Algumas empresas realizam o plantio das mudas nos sulcos resultantes da escarificação profunda da superfície. Outras cavam pequenas covas (menores que $0,5\text{m}^3$) que são preenchidas com uma mistura de solo, fertilizantes, calcário e matéria orgânica com estéril. Outras empresas, porém, realizam o plantio de mudas diretamente no solo ou no estéril, sem nenhum tratamento especial ou fertilizantes (BARTH, 1989).

O espaçamento entre as mudas varia de 2 em 2m a 6 em 6m. O espaçamento depende das espécies selecionadas e do uso futuro escolhido para o solo. Plantações de eucalipto, por exemplo, têm o espaçamento mais fechado, enquanto plantações de grandes árvores nativas têm o espaçamento mais amplo. Este deve ser ajustado para maximizar a proteção e minimizar a concorrência entre as espécies. A experimentação é, em geral, necessária para determinar o espaçamento ótimo (BARTH, 1989).

Dependendo da situação do local, variadas técnicas de plantio podem ser usadas. Em áreas terraceadas, por exemplo, as árvores são plantadas na área plana dos terraços e as gramíneas nos taludes. Entretanto, com exceção dos casos em que as condições para plantio são mais difíceis, não há motivos que impeçam que árvores sejam plantadas nos taludes, como o são na parte plana dos terraços. Esta prática pode eliminar a aparência de alinhamento ou fileiras que é criada quando o plantio das árvores é restringido aos terraços (SKALSKI & GROSSI, 1992).

4.2.3. ABORDAGEM DO MEIO FÍSICO NA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS MINERADAS

O meio físico pode ser encarado como uma totalidade estruturada em equilíbrio dinâmico com seus vários aspectos, com os quais guarda relações de interdependência em termos de gênese, evolução, constituição e organização (LEITE et al., 1987, citados por BITAR et al., 1990). A mineração é a principal atividade modificadora do meio físico e os danos por ela provocados necessitam ser remediados no sentido de garantir o sucesso dos projetos de recuperação.

4.2.3.1. TOPOGRAFIA

Durante muito tempo foi predominante a opinião de que a influência do ser humano sobre o padrão e desenvolvimento da configuração da superfície da Terra era insignificante. O poder modificador do Homem poderia ser desconsiderado se comparado ao grande poder das forças naturais endógenas e exógenas. Para DARMER (1992), esta postura não pode mais ser mantida. Para o autor, com o aperfeiçoamento tecnológico o nosso potencial de influenciar os diversos formatos da superfície da Terra foi multiplicado. Realizando uma ampla análise da situação

atual, é possível verificar que a somatória de alterações em áreas onde os recursos naturais são minerados é muito maior que os movimentos de massa causados por uma alteração natural do relevo durante o mesmo período de tempo. Hoje, devido às suas habilidades tecnológicas, em toda parte do planeta, o Homem vem atuando como agente geológico, isto é, como fator geológico modificador da superfície terrestre.

O Homem, desta forma, constitui-se numa “força geomorfológica diretamente ativa” com métodos de trabalho que conduzem a conseqüências muito parecidas às forças de alteração naturais. A mineração de materiais sólidos úteis (areia, argila, cascalho, turfa, lignita, pedras preciosas, minério) é a forma pela qual o ser humano altera o relevo natural da vulnerável superfície da Terra mais drasticamente. Relevos coordenados e harmônicos, naturalmente criados durante um longo período geológico são destruídos pela intrusão da mineração. O solo, sua sucessão biológica e formações biológicas harmônicas são perdidos (LYLE, 1987).

A mineração, no entanto, geralmente repõe os relevos naturais através de escavações e pilhas de rejeito, os quais geralmente se apresentam mais ou menos próximos, revelando um relevo topográfico final alterado. Em áreas com perfil relativamente baixo, pode ser alcançado um aumento na energia do relevo e em regiões com relevo variado a mineração pode criar um perfil com formato balanceado (DARMER, 1992).

Após a mineração, geralmente formam-se superfícies secundárias situadas abaixo ou acima do nível original da superfície do solo. Esta formação depende da extensão da escavação e da existência ou não de déficit de terra. Em grandes áreas de mineração, podem revelar-se diferenças substanciais de altura entre pilhas de rejeito (até 100m de altura) e buracos abertos (acima de 80m de profundidade) (MELO, 1985).

Em terrenos planos, as alterações no relevo podem ser menos visíveis do que em paisagens com substancial relevo topográfico. Cavas de areia/cascalho ou pedreiras situadas em montanhas ou flancos de morro podem interromper o perfil natural da paisagem. Estas formas de mineração podem criar grandes aberturas ou vãos, com paredes íngremes de diferentes alturas, os quais interrompem os perfis naturais da área. Pode também haver a formação de muitas pilhas de rejeito assim

como cavas vazias sem qualquer conexão com os relevos naturais da paisagem de entorno. Desta forma, em virtude de declividades íngremes (39-90 graus) e de uma variedade de alturas, estas novas formas de relevo com cavas profundas e pilhas de rejeito constituem-se em elementos altamente visíveis (MASCARENHAS, 1985).

Dentro destes novos relevos criados pelas operações de escavação e deposição de rejeitos, a altura e formato da borda externa das pilhas de rejeito e das cavas são de especial importância fisiológica e ecológica para a paisagem em virtude da suscetibilidade destes novos elementos às influências exógenas da área. A maioria destes novos relevos tem graus de inclinação íngremes e são constituídos de material de rejeito não compactado e não homogêneo. Eles são morfologicamente instáveis e destituídos da proteção de um solo natural com cobertura vegetal adequada. Além disso, estes elementos sofrem contínua alteração e redução em virtude da erosão, deslizamentos de terra, desnudação e do efeito do abandono (DARMER, 1992).

Durante o processo de extração mineral é realizada intensa escavação do terreno o que resulta na criação de crateras espalhadas pela área minerada (figura 2). Estas crateras ou cavas da mineração são “ativas” enquanto dura a mineração. A área e profundidade destas cavas mudam continuamente conforme a cava muda na direção da escavação. A velocidade deste movimento é determinada primeiramente pela área e tamanho do depósito e pelo índice de produção atingido pelo maquinário utilizado durante o processo. O formato adquirido pela cava é dependente do método, equipamento e extensão das várias operações de mineração aplicadas, além disso, formatos diferentes e variados são produzidos de acordo com as características de relevo da área tais como vales naturais com rios ou solos rochosos ou aluviais (SILVA, 1995). Desta forma, o relevo topográfico é intensamente alterado restando cavas isoladas ou localizadas em grupos, presentes como elementos artificiais, perturbadores e estranhos na paisagem. Assim, após o término da mineração, estas crateras precisam ser reconstruídas de forma a não causarem impactos visuais negativos na paisagem de entorno não minerada. As cavas não utilizadas para a formação de corpos d'água devem ser preenchidas com material de rejeito para que estas perturbações possam ser mitigadas (LYLE, 1987).

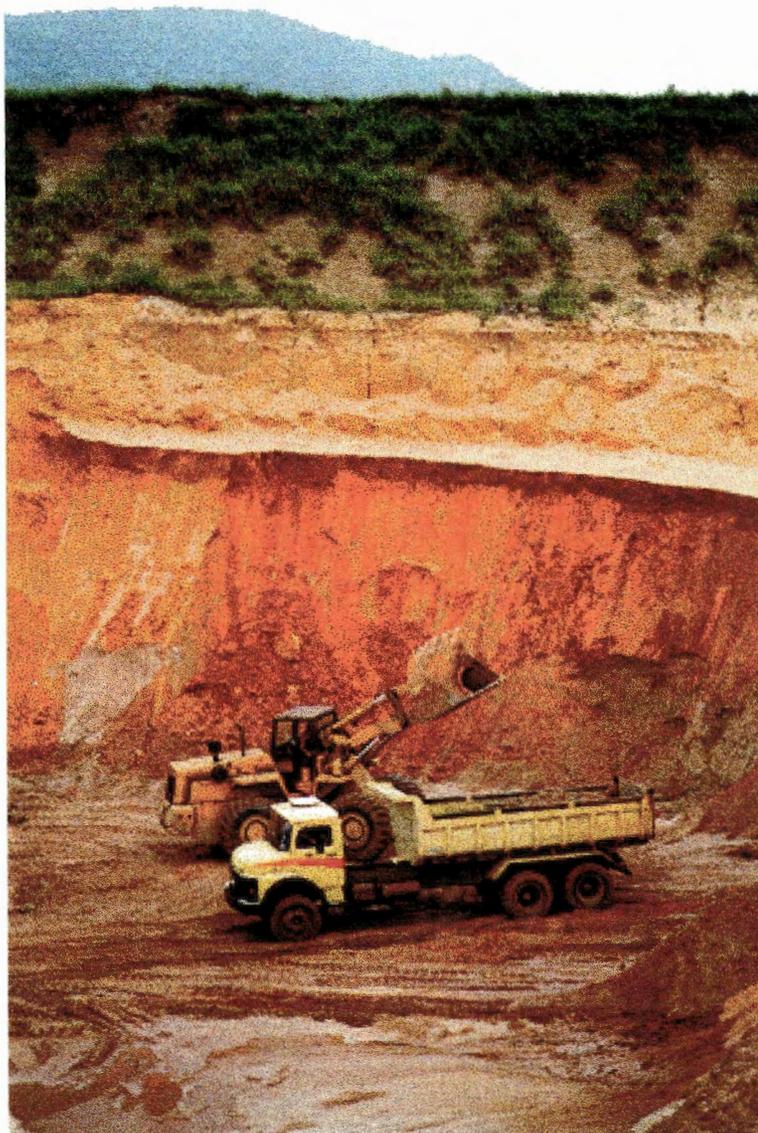


Figura 2 - Aspecto de área de mineração de areia existente na região do estudo aplicado.

Em casos onde existe uma escassez de material de rejeito, podem restar cavas abandonadas e vazias por muito tempo após a mineração ter cessado. Esta é o caso de minerações de areia ou cascalho/pedregulho, onde as áreas escavadas muitas vezes permanecem como bacias artificiais e depressões, que em sua maioria exibem profundidades arbitrárias e declives muito íngremes e desta forma muito suscetíveis à erosão (figura 3).



Figura 3 - Aspecto de área de mineração de areia existente na região do estudo aplicado.

Freqüentemente, corpos d'água como lagos e açudes, com superfície de relevo variada, desenvolvem-se nas cavas exauridas em virtude do influxo de água subterrânea e acúmulo de água pluvial. Caracteristicamente, estes “lagos de água doce” antropogênicos têm uma relação de circunferência com a área, como uma expressão morfogênica do desenvolvimento da margem. Lagos naturais geralmente se tornam menores durante o curso do seu desenvolvimento através do qual sua margem desaparece. Em contraste às condições naturais que produzem formas suaves e arredondadas a escavação antropogênica deixa formas de relevo irregulares tais como declives íngremes, degraus e terraços (DARMER, 1992).

Os declives íngremes das margens das cavas são de especial interesse paisagístico-morfológico. Por causa de sua forma íngreme e perda de rocha e solo naturais estas rampas morfológicamente instáveis são constantemente objeto do efeito de ondas, erosão pela água e deslizamentos. As margens opostas ao vento são fortemente danificadas pelo mesmo, de maneira que os paredões são continuamente cortados e quebrados formando penhascos. Aliado a este fator impactante, o solo

erodido da área de declive é depositado no leito da cava causando uma redução significativa em seu volume o que conseqüentemente diminui a sua capacidade de armazenamento de água (SILVA, 1995).

No sentido de melhorar as características morfológicas das cavas exauridas conferindo-lhes condições apropriadas para a sua utilização futura algumas operações finais podem contribuir substancialmente para criar um novo formato do relevo. Estas operações podem criar pontos iniciais favoráveis para o planejamento da recuperação e desenvolvimento biológico. Através de uma nova configuração da superfície da cava, conferindo-lhe relevo e material apropriado, forças são direcionadas para a incorporação do potencial natural (da água, plantas etc) para a recuperação do local (DARMER, 1992).

Uma das principais medidas a serem tomadas no sentido de permitir a utilização da cava exaurida é aplainar as declividades íngremes e paredões altos, no sentido de evitar deslizamentos de terra e pedra. O nivelamento da declividade, prepara o local para o plantio de espécies vegetais que protegem a margem da cava e aumentam a capacidade de autodepuração da água. Além disso, a margem e o leito das cavas abandonadas devem ser consideradas como uma unidade em termos da hidrologia, metabolismo e atividade biológica relacionada, as quais tem que ser planejadas como um complexo geomórfico total (DARMER, 1992).

O nivelamento das margens íngremes permite, neste sentido, a utilização futura das cavas exauridas de minerações, seja ela para fins agrícolas, recreacionais ou como forma de atração de animais silvestres.

Do ponto de vista ecológico, o controle de taludes parece ser um fator importante para alcançar a estabilidade da paisagem. De acordo com BARTH (1989), algumas minas criam taludes com inclinação que chegam a 60 graus. Este autor sugere que, mesmo em taludes tão inclinados, algumas plantas, eventualmente, se estabelecem em fraturas nas rochas e outros nichos, onde também poderão crescer líquens, possibilitando, desta forma, a estabilização do talude. Entretanto, quando as características da rocha, do aterro não consolidado, ou outros fatores criam condições de instabilidade, a processo de recuperação será impedido até que se obtenha uma superfície estável, o que pode ser alcançado, em geral, através da redução do grau de declividade do talude.

O IBAMA (1990) faz algumas recomendações com relação a topografia de terrenos minerados. Em terrenos com alta declividade, normalmente acima de 25%, é sugerido a construção de bancadas (terraços em patamar). BARTH (1989) sugere que a largura destes terraços deve variar de 3 a 15m, e que terraços mais estreitos impedem o acesso de veículos, o que pode ser bastante conveniente. O mesmo autor menciona que a distância vertical entre os terraços pode variar entre 8 a 20 metros, sendo que algumas empresas manifestam preocupação quanto à estabilidade e à recuperação, quando a altura do terraço excede os 12 metros. Desta forma, é considerado ideal que as bermas tenham uma leve inclinação para dentro, isto é, da crista do talude inferior para o pé do talude superior. No sentido longitudinal ao longo da berma da bancada, a declividade não deve passar de 2% e direcionada até atingir as obras de drenagem que levarão as águas de superfície ao pé do morro (IBAMA, 1990). Ângulos de repouso são sugeridos de acordo com o material que constitui o talude (COPPIN & BRADSHAW, 1982 citados por IBAMA, 1990):

- areia seca: 33%
- areia compactada com árvores: 35-50%
- argila compactada: 50-60%
- argila não compactada: 5-20%
- barrento bem drenado: 35-40%
- matacões, cascalho e areia grossa: 35-40%
- rocha: 10-80%

Segundo IBAMA (1990), tem-se observado que em terrenos com subsolo muito argiloso e pouco erodível, é possível remoldar a superfície com taludes de até 40% de declividade, sem a construção de bancadas e terraços em camalhão, dependendo do comprimento do talude.

Algumas alternativas de uso futuro do solo e os limites de declividade nos quais tais atividades podem se dar são mostrados na Figura 4.

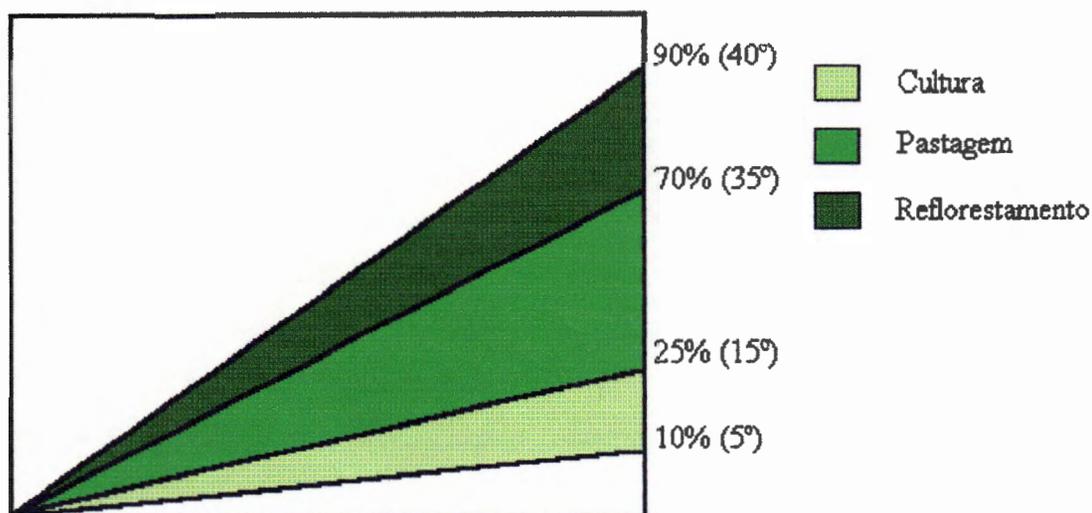


Figura 4 - Inclinação recomendada para diversos usos finais do solo.

Fonte: Adaptado de WILLIAMSON et al. (1982) citados por IBAMA (1990).

Quando o uso futuro do solo for para manutenção da vida selvagem, o IBAMA (1990) recomenda a criação, durante a obra de terraplenagem, de diversos murundus (até 1 a 2m de altura), e de algumas pequenas depressões, suaves e rasas para acumulo de água. Estes elementos contribuirão para a atração de animais ao local.

Portanto, a conformação topográfica é um fator importante para o sucesso do trabalho de recuperação. Conforme salienta GRIFFITH (1991), a recomposição da topografia e de seus arredores significa o preparo do relevo para receber a vegetação dando-lhe uma forma estável e adequada para o uso futuro do solo. Segundo o autor, o relevo final deve atender a alguns objetivos:

- estabilizar o solo, principalmente os taludes;
- permitir o trânsito de certos equipamentos;
- apresentar alguma semelhança com o relevo anterior;
- incorporar aspectos paisagísticos e estéticos;
- facilitar o controle da erosão;
- adequar o local para o uso futuro anteriormente definido.

4.2.3.2. PAISAGEM

Os impactos topográficos, edáficos, vegetativos e hídricos provocados pela mineração manifestam-se mais claramente no aspecto estético do local (GRIFFITH, 1991). Neste sentido, DANIELS (1994) enfatiza que é preciso expandir os objetivos de recuperação à paisagem como um todo, e não apenas ao local específico que se pretende restaurar. Este autor enfatiza que deve-se usar a paisagem de entorno como um local de referência e pesquisa comparativa, sendo preciso que também se procure, sempre que possível, por oportunidades de restaurar componentes múltiplos da paisagem. Em muitos casos, é possível utilizar o processo de degradação do solo para criar um “landform” mais produtivo do que aquele originalmente presente.

GRIFFITH (1991) define a recuperação de áreas mineradas sob o ponto de vista estético e paisagístico. Para o autor o produto principal da recuperação paisagística de uma área minerada deve ser a moldagem e remoldagem do relevo, uma escultura feita em grande escala, coberta com uma vegetação variada, com corpos de água e rochas, de tal forma que sua composição estética seja harmônica para a percepção humana.

De acordo com o mesmo autor, para que o resultado do trabalho de recuperação estética seja de boa qualidade, o primeiro passo é compreender a principal função do planejamento paisagístico: “a harmonização do uso econômico do solo com a moldagem estética de sua superfície”. O autor compara a recuperação ambiental ao processo de criação de uma obra de arte: “a qualidade de um objeto de arte e beleza paisagística dependem, muitas vezes, da combinação de elementos visuais como linha, forma, textura, escala e cor, para constituir a variedade visual. Quando os especialistas em “design” aplicam os princípios estéticos para fazer algum objeto de uso cotidiano eles procuram harmonizar a forma e função do objeto. O criador de uma jarra de cerâmica, por exemplo, preocupa-se com a sua utilidade como recipiente e como peça de arte. O sucesso de harmonizar ou não a forma e função do objeto, depende da criatividade pessoal do artista”.

É preciso que se aprenda a trabalhar com recuperação de áreas mineradas de acordo com conceitos ecológicos amplos. Após a consideração dos impactos potenciais à natureza e ao ser humano acarretados por atividades como a mineração,

os impactos negativos devem ser eliminados ou mitigados. Para DARMER (1992), isto requer uma atitude que focalize as conexões ecológicas entre o meio ambiente, o planejamento e a adoção de ações apropriadas, conduzindo para o propósito de assegurar “a produtividade ótima e permanente da natureza”. Neste sentido, o autor introduz uma nova abordagem da recuperação de áreas mineradas enfocando a paisagem como unidade de maior preocupação: é o conceito de modelos ecológicos.

DARMER (1992) enfatiza que é preciso que nossa relação com o meio ambiente seja guiada por princípios ecológicos básicos de forma que a condição de uso e preservação do potencial da natureza sejam garantidos de forma holística. Neste contexto, o autor menciona que os modelos ecológicos deveriam estimular o desejo de manter o potencial natural “em ordem” quando forem consideradas as medidas a serem aplicadas para alterar a paisagem.

Os modelos ecológicos baseados numa visão ampla da natureza são portanto necessários para servir como “modelos de ordem”. A recuperação dirigida por modelos ecológicos não é limitada à mitigação de impactos prejudiciais da mineração sobre áreas específicas, ou ao retorno da área minerada à sua condição original. Com a ajuda de modelos ecológicos é possível planejar a paisagem minerada desde o início da operação de acordo com a intenção de utilização futura da área após a mineração. Isto possibilita um aumento do potencial para a produtividade sustentável, uma diminuição dos impactos prejudiciais da mineração sobre áreas específicas e permite uma melhoria do processo de recuperação global.

Existem algumas providências que podem ser tomadas antes e durante a operação da mina no sentido de minimizar os estragos conferidos a paisagem (IBAMA, 1990):

- determinar, ainda na fase do pré-planejamento, qual a paisagem típica da região e como era paisagem do local antes de qualquer ação antrópica;
- descrever a paisagem do local das futuras lavras e guardar suas imagens em forma de desenhos e fotografias, indicando, em mapas, os pontos do monitoramento visual para que sirvam como futuros pontos de referência;
- analisar a paisagem antes, durante e depois da atividade de lavra e fazer a sua descrição usando um vocabulário arquitetônico dos elementos visuais que a compõem: linha, forma, textura, escala, complexidade e cor;

- integrar as práticas de caráter estético às outras de caráter topográfico, edáfico, hídrico e vegetativo;
- dar atenção especial aos seguintes pontos sensíveis da paisagem:
 - a) locais onde há linhas paralelas e convergentes (as encostas de um vale, por exemplo) que conduzem a atenção do observador para o seu término;
 - b) a linha de interseção de dois planos (qualquer objeto colocado na margem de interseção chama a atenção; o horizonte é especialmente sensível ao impacto visual);
 - c) locais que têm valor cênico (florestas primárias, atrações históricas e objetos culturais).

De acordo com o IBAMA (1990), algumas medidas devem ser tomadas para conservar, recuperar ou melhorar a paisagem após a mineração:

- preservar as paisagens de destaque, como parques ou reservas;
- manter a exuberância de vegetação, usando espécies e técnicas adequadas que sustentem o verde e o desenvolvimento das plantas;
- esconder certas alterações: abrigar a mina, depósitos de estéril, prédios, as estruturas ou outras modificações não complementares da paisagem com uma cortina de plantas ou escondê-las no próprio relevo do terreno;
- complementar a paisagem natural: imitar, acentuar e interpretar o caráter estético já existente da paisagem nas obras da mina e na recomposição paisagística. A restauração completa da paisagem seria uma meta impossível de se cumprir. Porém, pode-se subordinar as alterações causadas pela mineração aos elementos dominantes da paisagem natural;
- incentivar a criatividade pessoal dos tratoristas que fazem esse trabalho; fazer um esforço para que as considerações estéticas da recomposição sensibilizem os operadores de equipamentos;
- eliminar da paisagem, ao exaurir a mina, todos os prédios, estruturas e máquinas, evitando que eles, se abandonados na área, tornem-se elementos desfigurantes da paisagem;
- melhorar a paisagem: remanejar o relevo e introduzir novas plantas ou árvores que selecionadas e arrançadas por seus efeitos estéticos podem, em certos casos,

melhorar a paisagem, de modo que esta poderá vir a ser mais atrativa que a original.

5. ESTUDO APLICADO

A área selecionada para o estudo aplicado está situada nas imediações da cidade de Analândia, Estado de São Paulo e localiza-se nas coordenadas (em metros) 7.544.000 a 7.552.000S, 224.000 a 232.000W, compreendendo uma extensão de 64 km². Este local foi escolhido para o estudo por conter atributos ambientais merecedores de especial atenção, quais sejam: pertencer ao perímetro da APA Corumbataí (Área de Proteção Ambiental Corumbataí) e portanto conter fatores ambientais contemplados pela mesma e ser a cidade de Analândia uma Estância Climática.

Outra fator que justifica a adoção deste local para o estudo aplicado é a presença de uma significativa extensão de areia quartzosa, a qual indica o potencial para a extração deste elemento nesta região. A possibilidade da instalação de empresas mineradoras é o elemento condutor deste estudo, o qual tem por finalidade fornecer diretrizes ambientais para que, no caso da implantação de um empreendimento minerário, este se realize adequadamente, considerando os fatores ambientais do local. Além disso, também em função das características ambientais da região, pretende-se elaborar indicativos de procedimentos a serem seguidos no sentido de viabilizar a recuperação da área minerada.

5.1. FATORES AMBIENTAIS DA ÁREA DE ESTUDO

Pedologia

A figura 5 fornece dados referentes à pedologia da área de estudo demonstrando que nesta há o predomínio de areia quartzosa, a qual representa 64,07% da área total. Embora a faixa de podzólico vermelho amarelo apresente textura arenosa, optou-se por não incluí-lo como solo passível de ser explorado por mineradoras, incluindo-se, no presente estudo aplicado, apenas a areia quartzosa. O quadro 3 mostra os valores de área, em Km², para cada tipo de solo.

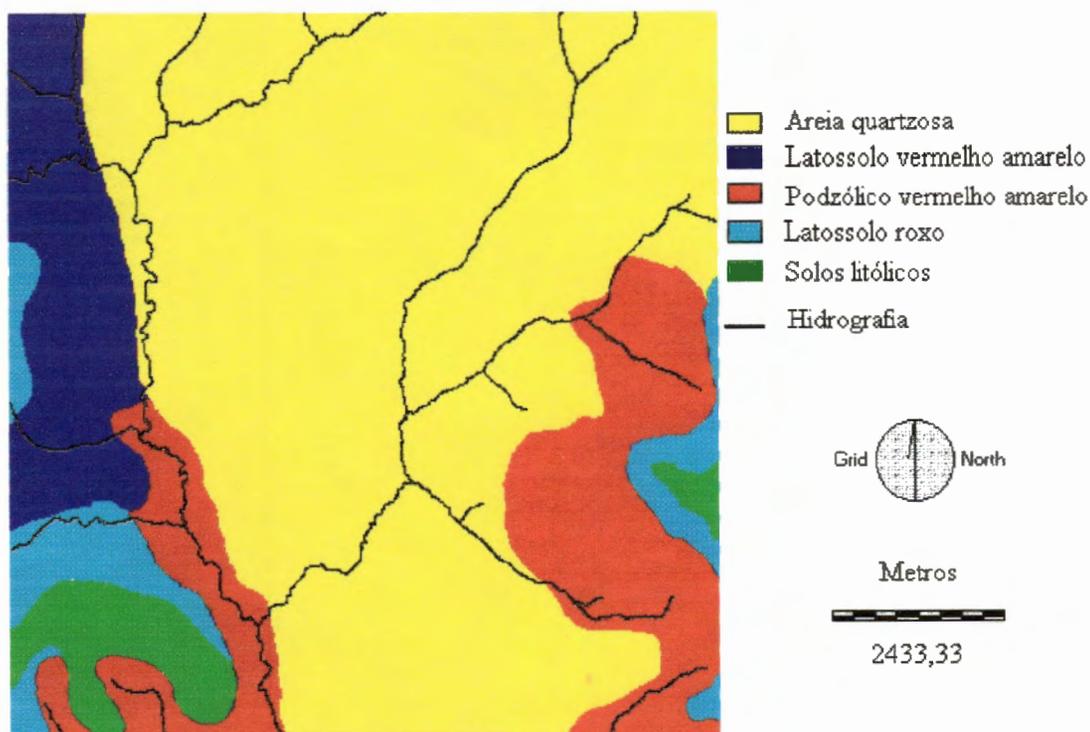


Figura 5 - Mapa pedológico da área de estudo.

Fonte: São Paulo (1981).

Quadro 3: Tipos de solo.

TIPO DE SOLO	ÁREA (Km ²)
Areia quartzosa	41,003
Solos litólicos	2,693
Latossolo roxo	3,441
Latossolo vermelho amarelo	6,183
Podzólico vermelho amarelo	10,679

Declividade do terreno

A figura 6 fornece dados referentes aos intervalos de declividade existentes na faixa onde a areia está presente. Os intervalos de declividade foram adotados segundo aqueles sugeridos no Manual Brasileiro de Levantamento da Capacidade de

Uso da Terra (MARQUES, 1971) com adaptações (TABACZENSKI, 1995). O quadro 4 mostra os valores de área, em km², para as declividades adotadas.

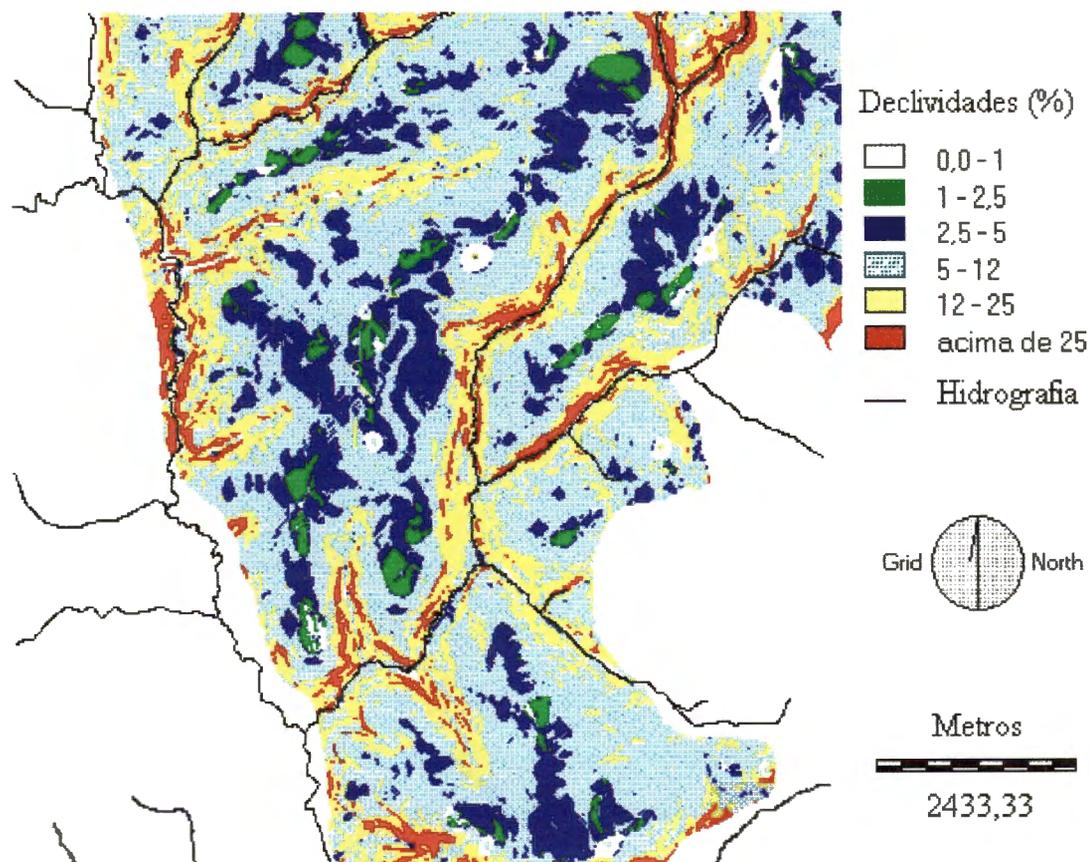


Figura 6 - Mapa de declividade da área de estudo.

Quadro 4: Área das declividades do terreno.

DECLIVIDADES (%)	ÁREA (km ²)
0 - 1	1,0
1 - 2,5	1,25
2,5 - 5	6,63
5,0 - 12	21,65
12,0 - 25	8,22
acima de 25	2,22

Vegetação nativa

A figura 7 mostra os fragmentos de vegetação nativa da área de estudo, predominando as formações cerrado e capoeira. O quadro 5 mostra os valores de área, em km², para as formações vegetais presentes.

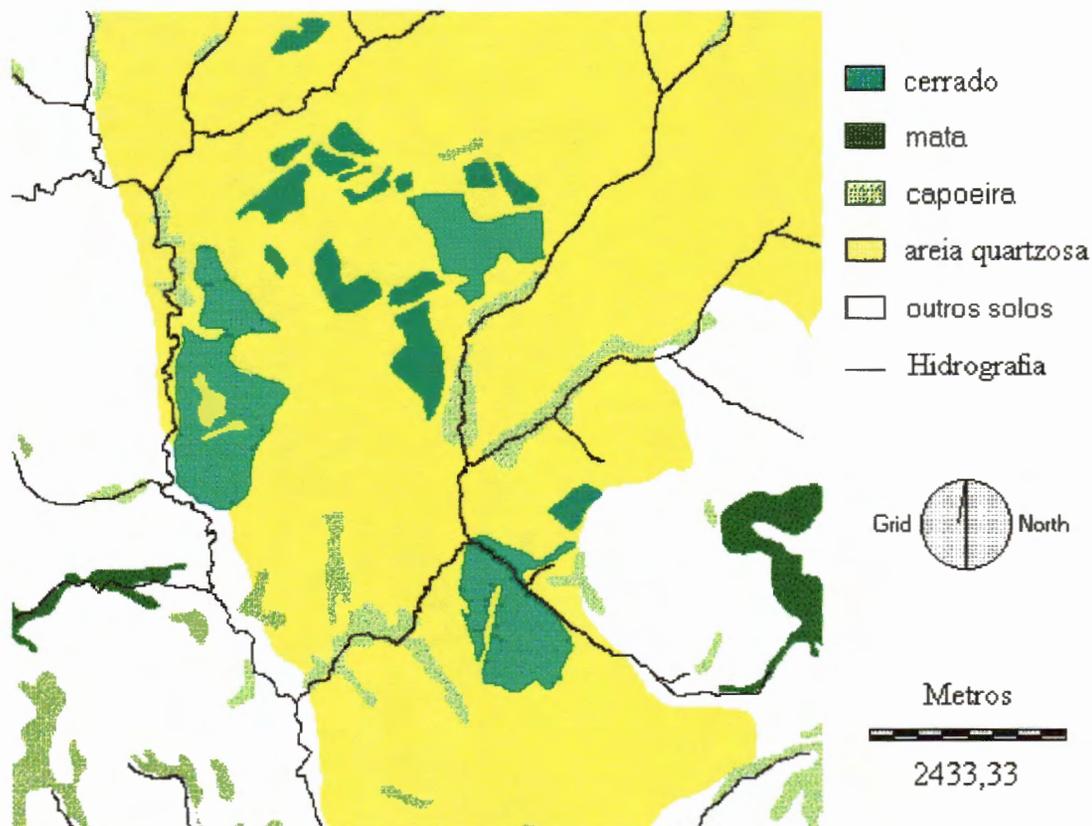


Figura 7 - Remanescentes de vegetação nativa existentes na área de estudo.

Quadro 5: Área dos remanescentes de vegetação nativa.

FORMAÇÕES VEGETAIS	ÁREA (km ²)
Cerrado	4,938
Capoeira	3,426
Mata	1,108

Hidrografia

O mapa de hidrografia da área (figura 8) mostra que a região onde está presente a areia quartzosa apresenta uma quantidade relativamente grande de corpos de água superficiais.

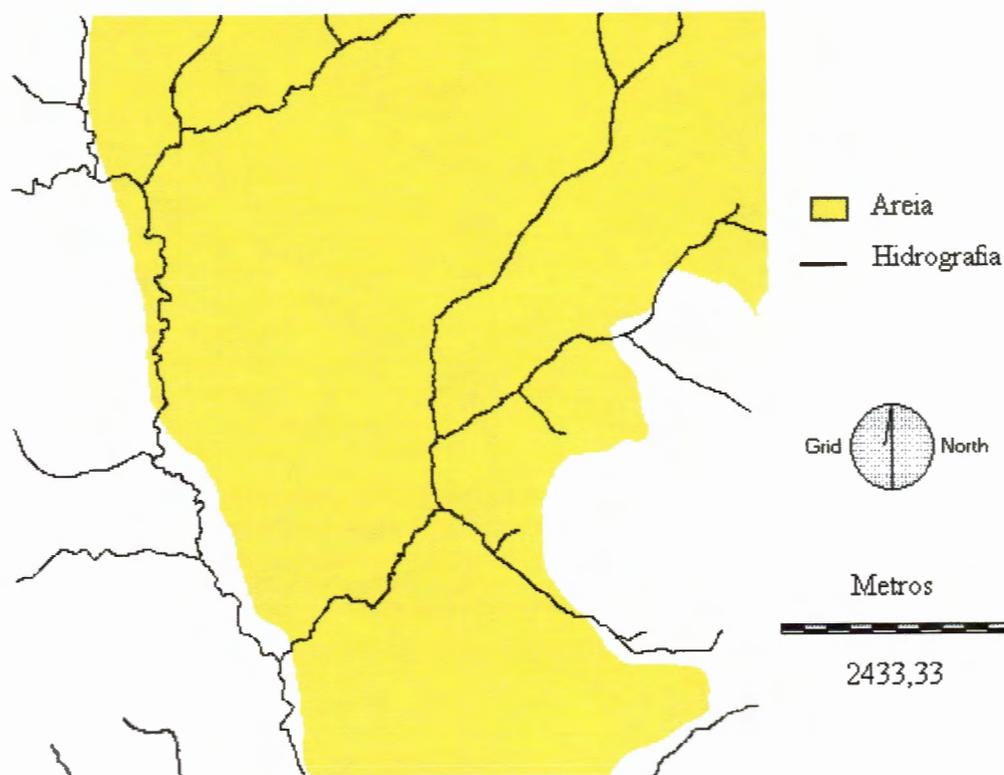


Figura 8 - Rede hidrográfica da área de estudo.

5.2. INFRA-ESTRUTURA: CENTRO URBANO E RODOVIAS

Estão apresentados em conjunto na figura 9 caracterizando algumas das intervenções antrópicas já presentes na paisagem da região.

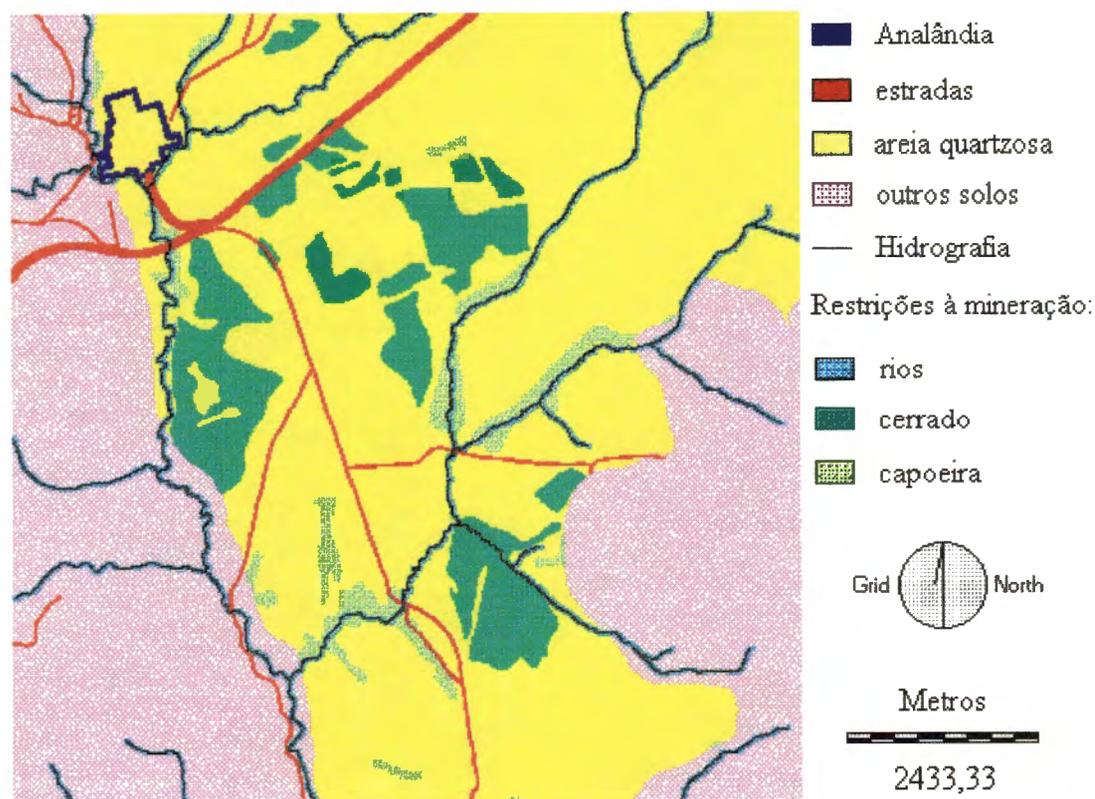


Figura 9 - Infra-estrutura e elementos restritivos à mineração de areia.

5.3. RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÕES

A figura 9 mostra, de forma conjunta, todos os fatores ambientais que representam restrições à mineração.

Em primeiro plano, a presença de considerável volume de vegetação nativa, 10,46% da área onde a areia quartzosa se encontra presente, representa um fator limitante que deve ser considerado pelas empresas mineradoras. As áreas de vegetação nativa devem ser mantidas intactas, porém, esta imposição não tem origem apenas no desejo de preservação puro e simples. A região em questão faz parte da Área de Proteção Ambiental Corumbataí (APA Corumbataí).

Criada em 08/06/1983 pelo Decreto Estadual nº 20.960, a APA Corumbataí foi instituída visando a conservação de atributos ambientais hídricos, paisagísticos e ecológicos localizados. A Resolução CONAMA nº 10, que estabelece normas, critérios e padrões nacionais para a criação e controle das APAs traz a seguinte definição destas áreas: “são Unidades de Conservação destinadas a proteger e conservar a qualidade ambiental e os sistemas naturais ali existentes, visando a melhoria da qualidade de vida da população local, também objetivando a proteção de ecossistemas regionais”. As APAs também têm por objetivo condicionar o uso dos recursos de determinados espaços representativos do ponto de vista ambiental considerados passíveis de conservação sem inviabilizar o uso econômico destas porções territoriais, as quais podem ser tanto de domínio público quanto privado (ALVARENGA, 1997).

As disposições do artigo 2º e anexos do Decreto Estadual nº 20.960 de 08/06/1983 colocam como objeto de preservação integral das APAs os remanescentes de fauna e flora presentes nas áreas, sendo estas consideradas, no caso da APA Corumbataí, preferencialmente as ocorrências de cerrados e várzeas.

Neste sentido, nas áreas descritas pelos anexos do referido Decreto Estadual, todos os remanescentes de fauna e flora existentes bem como as áreas estabelecidas como de preservação permanente pelo Código Florestal devem ser considerados como Zonas de Vida Silvestre (ZVS), as quais exigem pela Legislação Federal preservação integral. Este caráter restritivo é reforçado pelo disposto pelo parágrafo 3º do art. 2º que coloca total restrição à qualquer atividade degradatória ou potencialmente causadora de degradação ambiental nas ZVSs.

De forma mais localizada, a faixa de vegetação presente ao longo dos rios da área também deve ser preservada. O Código Florestal (Lei Federal nº 4.771/65, alterado pelas Leis nº 7.803/89 e nº 7.875/89) no seu artigo 2º determina como áreas de preservação permanente as formas de vegetação que se situarem ao longo dos cursos d'água, estabelecendo uma largura mínima da faixa de preservação de acordo com a largura do rio, por exemplo: no caso de rios com 10 metros de largura, a faixa de proteção deve ser de 30 metros contados a partir de seu nível mais alto. De acordo com o Código Florestal e também com a Resolução CONAMA 004/85, deve-se ter faixas de proteção também ao redor de lagoas e reservatórios, e em se tratando de

nascentes, exige-se um raio mínimo de 50 metros de área de proteção (MACHADO, 1996). Também citadas como de preservação permanente pelo Código Florestal, são as florestas e demais formas de vegetação natural situadas no topo de morros, montes, montanhas e serras.

A vegetação situada nas declividades superiores a 100% é definida como de preservação permanente pelo Código Florestal. Assim, estas áreas também representariam um outro fator restritivo à mineração na área em questão. Contudo, estas inclinações não ocorrem na faixa de areia quartzosa.

De forma conjunta, os fatores ambientais que representam restrições à mineração, os quais são constituídos pelos remanescentes de cerrado e capoeira, somam aproximadamente 6,7 Km², restando à esta atividade uma significativa área de cerca de 34 Km².

Com relação à recuperação das áreas mineradas, um fator positivo que pode promover o sucesso da mesma é a existência de remanescentes de vegetação nativa nas proximidades (figura 10). Considerando que o reflorestamento para manutenção da vida selvagem tenha sido a opção para o uso da área recuperada, o processo de sucessão natural representa um elemento chave para que tal objetivo seja alcançado. A eficiência da sucessão natural, por sua vez, depende de fatores, dentre os quais se destaca a disponibilidade de sementes das espécies a serem reintroduzidas. Neste contexto, os fragmentos de vegetação natural podem fornecer as sementes necessárias para a formação de mudas, bem como aquelas a serem semeadas diretamente no local, além de representarem um banco permanente de sementes que podem ser dispersadas por agentes como o vento, pássaros e mamíferos, auxiliando o processo sucessional ao longo do tempo.



Figura 10 - Remanescente de vegetação nativa situado no entorno de área de mineração de areia existente na região do estudo aplicado.

Para a adequada recomposição florestal da área minerada, é importante que se conheça a composição florística dos remanescentes vegetais da região. Logo, um levantamento fitossociológico dos mesmos propiciará a elaboração de um panorama de quais são as espécies de ocorrência na região e de como as mesmas se distribuem, permitindo, desta forma, a sua separação em grupos ecológicos distintos. A partir daí, é possível definir a seqüência e combinação de plantio que deverão ser executados.

Uma vez identificadas as espécies pioneiras, estas devem ser plantadas primeiro no sentido de promover uma melhora das propriedades do solo e de propiciar sombreamento, condições estas que favorecem a germinação de sementes e o desenvolvimento de mudas de espécies secundárias, mais exigentes quanto às características de substrato e condições de luminosidade, as quais são plantadas posteriormente. Neste contexto, SKALSKI (1994) sugere que no sentido de alcançar uma rápida proteção do terreno minerado com o restabelecimento da floresta nativa original, uma alternativa é iniciar o trabalho de revegetação com a semeadura à lanço de um coquetel de sementes de gramíneas, herbáceas e arbustivas. Desta maneira,

induzindo o processo sucessional, acelerando-o no início e posteriormente deixando-o que tome o seu curso natural sem a necessidade da intervenção humana, promove-se uma recuperação eficiente tanto dos solos quanto do ambiente como um todo. Com este procedimento, o processo de recuperação torna-se menos oneroso, porém, não há o que impeça a aplicação de algum manejo, insumos etc, para auxiliar o bom andamento do repovoamento vegetal.

A recuperação da área minerada deve ocorrer simultaneamente com as atividades da lavra. Planejando-se a extração de areia e fazendo com que esta aconteça seguindo um roteiro pré-estabelecido (plano de lavra), torna-se possível avançar com a revegetação da área a medida que as cavas exauridas estiverem se sucedendo. Desta forma, ao final da exploração de areia, a qual pode durar décadas, já existirá no local uma floresta em avançados estágios de desenvolvimento. Obviamente, o potencial para a utilização do local após a sua recuperação pode não ser a recomposição florestal e sim outros usos tais como atividades agropastoris; ainda assim, a extração de areia efetuada de forma planejada facilita a realização prematura de manejos do substrato através do plantio de espécies modificadoras da estrutura do solo, tais como gramíneas e leguminosas, possibilitando, no futuro, a formação bem sucedida de pastagens e/ou o plantio de culturas.

Diante das grandes profundidades alcançadas pela extração de areia, é evidente que o horizonte superficial do solo é removido. Caso a empresa não tenha tomado providências no sentido de retirar e armazenar o solo orgânico superficial, medidas terão que ser tomadas para contornar a ausência de horizonte A, de forma que o plantio possa ser efetuado. Este problema pode ser remediado por meio de técnicas de implantação de materiais contendo porções orgânicas, simulando um horizonte superficial. Conforme descrito por SILVA (1993), citado por GRIFFITH et al. (1994), a técnica denominada “aplicações de sacos verdes” pode ser uma boa alternativa para reconstituir esta camada do solo. Esta técnica consiste em forrar a área com sacos de aniagem com dimensões de 0,90x0,54m preenchidos com 9dm³ de uma mistura de sementes, capim picado, serragem e solo em partes iguais. Após preenchidos com esta mistura, os sacos são fechados e fixados no local através de estacas de madeira. Estes autores afirmam que os sacos de aniagem, inicialmente, protegem o substrato do impacto direto da chuva e dos raios solares, retendo

umidade e diminuindo as oscilações de temperatura. Com o início do crescimento das plantas, o sistema radicular passa a auxiliar na fixação dos sacos, em razão da malha de raízes desenvolvidas. As raízes, associadas com a atividade microbiana auxiliam na formação inicial de delgadas camadas de solo.

Quando armazenado, o solo orgânico pode sofrer alterações em suas características. Assim, quando aplica-se este elemento parcialmente empobrecido no local a ser recuperado e nele realiza-se o plantio e/ou semeadura, pode ocorrer que os resultados obtidos não correspondam às expectativas. Uma maneira de contornar o problema da perda de características apropriadas ao cultivo deste substrato é a utilização conjunta de serrapilheira com a recolocação do solo orgânico. A serrapilheira, que nada mais é que matéria orgânica, pode ser coletada em florestas, onde se encontra acumulada sobre o solo, ou pode utilizar-se os restos da poda de árvores e vegetação em geral. A aplicação da serrapilheira ao solo orgânico é benéfica pois ela diminui a infestação de pragas e previne a erosão do solo. Além disso, ela intercepta a luz, sombreando as sementes e plântulas, além de reduzir a amplitude térmica do solo. Por reduzir as temperaturas extremas e criar uma barreira à difusão da água, a serrapilheira evita a sua evaporação. Cabe salientar que, no caso de optar-se pela coleta de serrapilheira dos solos de florestas, esta deve dar-se de forma controlada para evitar prejuízos na manutenção da produção deste ecossistema.

Outro procedimento de preparação do solo para o plantio que pode ser adotado mediante a carência de horizonte superficial é a adubação verde. Esta operação consiste na semeadura de uma mistura de sementes de leguminosas em quantidades desiguais para cada espécie; a quantidade de sementes sugerida por alguns autores corresponde a 300 kg/ha. Imediatamente após a semeadura das leguminosas, as áreas são cobertas por uma fina camada de 2 a 5mm de composto orgânico o qual terá a função de introduzir os elementos biológicos no solo, dando partida ao processo de formação de um novo ciclo de nutrientes. Este procedimento é imprescindível para o sucesso não só dos passos seguintes como também da regeneração futura das áreas tratadas. Muitos organismos da macro, meso e micro fauna e flora edafológicas são introduzidos nas áreas em recuperação através deste material orgânico. Posteriormente, as áreas tratadas são cobertas por um “colchão”

de matéria seca (cobertura morta) de aproximadamente 10cm. O material a ser utilizado poderá ser palha, casca de cereais, capim cortado, galhos finos de arbustos e árvores, bagaço de cana (disponível em grandes quantidades na região) e outros. É importante que esta camada seja resistente às interpéries até que as primeiras plântulas a perfurem. Os efeitos dessa operação, entre outros, são a criação de um microclima favorável ao enraizamento, manutenção da umidade natural do substrato, com conseqüente redução da temperatura superficial. Seis meses após o plantio, é chegada, então, a época do corte final das plantas. O momento exato para esta prática deverá ser definido com base no estágio de desenvolvimento das plantas, devendo ser realizada quando a maior parte delas estiver com a floração bem desenvolvida. Após o corte, o manejo da adubação verde consite na gradagem em faixas largas e alternadas, incorporando-se parcialmente as leguminosas a uma profundidade máxima de 10cm.

Outras opções de uso podem ser adotadas para a área minerada recuperada como por exemplo a criação de uma área de lazer. Para alternativas de uso de áreas recuperadas como esta que não objetivam a completa recomposição florestal da área, ainda pode ser uma boa prática dar preferência ao plantio de espécies nativas da região na tentativa de conferir ao local um aspecto semelhante ao encontrado nos arredores. Aliado à questão estética, tal prática traz consigo a vantagem de que as espécies nativas da região já estão adaptadas às condições climáticas do local. Além disso, a vegetação típica atrairá a fauna local como pássaros que se alimentam dos frutos das árvores o que promoverá a criação de um ambiente repleto de beleza e naturalidade num local anteriormente desprovido de vida. Junto às vantagens mencionadas a preferência por espécies nativas possibilita que esta área de lazer venha a ser utilizada em projetos de Educação Ambiental.

De forma geral, para projetos de recuperação que não visem a recomposição florestal típica da área, a preocupação com a manutenção da fauna local deve ser uma constante.

A mineração de areia a céu aberto altera de forma intensa o relevo topográfico do local tendo como resultado a formação de cavas de incríveis proporções. A mineração de areia é uma categoria desta atividade na qual existe escassez de material de rejeito para preencher as cavas, as quais permanecem vazias

e abandonadas por longo tempo após a extração do material ter cessado. Estes elementos artificiais e perturbadores da paisagem muitas vezes exibem profundidades arbitrárias e declives muito íngremes, sendo desta forma, muito suscetíveis à erosão o que dificulta a sua utilização futura, seja ela para fins agrícolas, recreacionais ou como forma de atração de animais silvestres (figura 11). Neste sentido, é imprescindível que se trabalhe no sentido de melhorar as características morfológicas das cavas exauridas conferindo-lhes condições apropriadas para a sua utilização futura.



Figura 11 - Aspecto de área de mineração de areia existente na região do estudo aplicado.

A primeira medida a ser tomada é aplinar as declividades íngremes, suavizando os taludes e eliminando os paredões. Sem esta operação torna-se inviável o uso das cavas como lagos quer para fins recreacionais e para a manutenção da vida selvagem e quer para uso agrícola uma vez que seria impossível tanto ao Homem e aos animais saírem da água em locais com inclinações tão severas. Para usos recreacionais a operação de nivelamento deve também focalizar a diminuição da profundidade das cavas no sentido de garantir a segurança dos freqüentadores. O

mesmo se aplica ao uso agrícola da cava, uma vez que o açude que se formará no local também será utilizado como bebedouro pelos rebanhos.

As operações de nivelamento das cavas exauridas são de especial importância pois também preparam o local para o plantio de espécies vegetais que irão proteger as suas margens, o que irá garantir a qualidade estrutural do corpo d'água.

Em algumas situações, o preenchimento das cavas pode ser inviável em função da inclinação natural do terreno não permitir o escoamento de água dos rios que correm na área até as cavas. Em outros casos a utilização destes elementos como corpos d'água pode simplesmente não ser a intenção do projeto de recuperação. Neste sentido, a melhor alternativa é reconstituir a área, remoldando-a de acordo com a declividade predominante no entorno, ou seja, de acordo com a paisagem local e também tendo em vista a intenção de uso futuro da área. Sem estas medidas, trabalhos de recuperação tais como reflorestamentos e usos do local como por exemplo para pastagens têm poucas chances de sucesso já que as grandes inclinações do terreno constituem-se em fortes obstáculos às operações como o plantio de árvores e à circulação do rebanho no local, sem contar que estes declives junto à textura arenosa da região tornam a área fortemente suscetível à erosão laminar.

Na área referente a este estudo, a declividade predominante varia de 5 a 12% (figura 6). Portanto, deve-se eliminar todos os paredões íngremes resultantes da mineração, nivelando o terreno até que os maiores declives estejam, no máximo, de acordo com a declividade média do entorno. Desta forma, operações como o preparo do local para o plantio das espécies sucessionais ou de espécies forrageiras, bem como o plantio propriamente dito, podem ser realizados com segurança já que a ameaça de ter todo o trabalho arruinado pela chuva em grandes declives não mais existe.

O IBAMA (1990) sugere que se após o término da mineração houver declividades superiores a 20%, deve-se construir patamares ou terraços largos. Tal prática não é conveniente pois confere ao local uma aparência artificial e visualmente pouco interessante. Estas "enormes escadas", além de interromperem o perfil topográfico do horizonte causando um grande impacto visual, dificultam a utilização futura do local.

A declividade a ser observada para a recomposição da topografia, além dos aspectos paisagísticos, dos fatores intervenientes na revegetação e posterior ocupação da área, devem ser considerados os aspectos relacionados a estabilidade dos taludes e maciços.

Algumas técnicas e práticas devem ser utilizadas no sentido de promover a recuperação ambiental da área minerada visando a obtenção de um novo estado ecológico que possibilite a este local uma nova forma produtiva. Todas as medidas a serem adotadas para a introdução de uma nova utilização da área minerada recuperada dependerão de uma importante prática: a descompactação do solo, que após o recobrimento da área com a camada fértil do solo, deverá ser a primeira medida a ser tomada.

A compactação do solo provocada pelos equipamentos utilizados para a mineração e posteriormente aqueles empregados em obras de recuperação tais como a remoção de taludes e nivelamento do relevo representa um fator prejudicial à produtividade pós-mineração do local. Através da redução da infiltração e conseqüente aumento do escoamento superficial, a compactação do solo diminui a sua capacidade de armazenamento de água reduzindo a possibilidade de desenvolvimento e crescimento de raízes, o que causa uma menor produtividade do local (GRANDT, 1988). A compactação superficial, ou seja, a compactação superior à 50cm, pode ser diminuída através de equipamentos convencionais e/ou por culturas de enraizamento profundo. Porém, a compactação que ocorre abaixo desta profundidade é mais difícil e mais onerosa de corrigir. A penetração de raízes de várias espécies de plantas pode ser difícil, se não impossível, sem a aplicação de algum tratamento artificial do solo tais como a subsolagem do mesmo (BARNHISEL, 1988). Esta operação é feita com *ripper* (implemento agrícola que contém hastes dentadas que é acoplado ao trator de esteiras) que pode atingir até 1,70m de profundidade. Também podem ser utilizados subsoladores convencionais acoplados ao trator de esteira D6-C, os quais atingem até 50cm de profundidade.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

Vista do espaço, a Terra é uma esfera frágil e pequena, dominada por um conjunto de nuvens, oceanos, vegetação e solos, capaz de ser comparada com um organismo vivo, cuja saúde depende da salubridade de todas as suas partes. Porém, ao longo do tempo, o globo terrestre vem sofrendo alterações tanto de forma natural pela ação dos ventos, chuvas e atividades vulcânicas, como também através de formas artificiais desencadeadas pelas diferentes atividades humanas. Enquanto a atividade natural provoca modificações lentas, as ações humanas resultam em alterações rápidas e sem controle, e dentre elas, a mineração é uma das que mais contribui para as grandes modificações do ambiente natural terrestre.

A mineração, se desenvolvida sem critérios técnicos, deixa para a região que a abriga todo um quadro de degradação que onera pesadamente a coletividade, em termos financeiros e em qualidade de vida. As atividades não planejadas da mineração implicam em transformações significativas do meio ambiente tanto na área minerada como em terrenos adjacentes, comprometendo o seu aproveitamento para outros usos, seja durante o desenvolvimento das atividades minerárias ou após o seu encerramento. Desta forma é imprescindível que os estragos deixados no rastro da mineração sejam recuperados.

A recuperação ambiental da área deve ser simultânea à exploração do bem mineral. Portanto, o plano de lavra deve considerar o projeto de recuperação.

Neste contexto, conclue-se que o Sistema de Informações Geográficas é um importante instrumento na realização de estudos na área ambiental e especificamente no âmbito da recuperação de áreas mineradas, uma vez que propicia uma avaliação detalhada dos fatores ambientais intervenientes de regiões onde a mineração já se encontra instalada, bem como em locais com potencial para a sua instalação. Com o

SIG é possível verificar as diversas características de uma dada região, desde a pedologia até as formações florestais. Desta maneira, torna-se possível verificar quais são as restrições que a área impõe à mineração bem como visualizar quais os procedimentos que deverão ser adotados para a recuperação do local frente à fatores como por exemplo as declividades do terreno. Tendo em mãos este versátil instrumento de caracterização, estudo e análise do meio ambiente, a mineradora pode implementar uma política de desenvolvimento sustentável em sua empresa, respeitando as características e potencialidades locais, podendo instalar na região, além de seu empreendimento, um desenvolvimento econômico e social continuado sem o comprometimento do meio ambiente regional.

Na busca por um compromisso com a ética imposta pelo desenvolvimento sustentável, que prega o respeito à evolução, características e capacidades regionais, O SIG representa, além da facilidade na manipulação de mapas temáticos, uma ágil ferramenta para atividades que exigem simulações e análises para tomadas de decisões que visem de alguma forma a preservação ambiental.

São várias as alternativas de utilização futura de uma área minerada recuperada. No entanto, é bastante interessante utilizar-se, dentro de um projeto de recuperação, da oportunidade de devolver a um local, quaisquer que sejam as suas condições e localização, a sua conformação original, ou seja, o perfil florestal que outrora fora extirpado. Reflorestar uma região, pode, em algumas situações, ser perfeitamente viável, e em outras pode constituir-se em uma ideia inteiramente utópica. Conforme KAGEYAMA et al. (1991) salientam, as mudanças na comunidade vegetal através do tempo constituem um processo complexo que está muito longe de ser totalmente compreendido ou previsto e neste contexto, o retorno de um ecossistema florestal degradado ou mesmo aquele que foi totalmente eliminado, à sua condição original é uma possibilidade teórica. A condição original de um ecossistema florestal inclui tanto os seus componentes (fatores bióticos e abióticos) como seus serviços ou funções. Desta forma, a sua recuperação não deve ser confundida com ações superficiais que visem outros fins, como por exemplo, a produção florestal ou plantações arbóreas mistas para recreação.

Embora na literatura sobre a revegetação de áreas degradadas exista certa controvérsia com relação a definição das espécies a serem reintroduzidas (nativas ou

exóticas), é conveniente, apesar das dificuldades que possam acompanhar esta escolha, optar-se pelas espécies vegetais de ocorrência natural da região, buscando, desta maneira, garantir a recuperação da forma e função da vegetação original do local.

Ainda que as técnicas de revegetação variem de acordo com as condições adafa-climáticas e com o nível de degradação do solo, existem alguns procedimentos comuns a qualquer uma dessas situações, tais como a reposição do solo orgânico armazenado, operações que simulam este estrato em situações onde ele não exista, operações de descompactação do solo, o plantio propriamente dito etc.

O nivelamento de taludes é indispensável para que o projeto de recuperação obtenha bons resultados não apenas do ponto de vista paisagístico como também para a utilização futura da área. O relevo final, resultado do trabalho de recuperação deve apresentar semelhança com o relevo original anterior à mineração. Trabalhando no sentido de incorporar aspectos paisagísticos e estéticos originais do local às obras de recuperação, amplia-se as possibilidades de alcançar um resultado final agradável a percepção humana. Em termos econômicos, nivelando-se a área minerada para que esta apresente declividades coerentes com o entorno cria-se condições para a aplicação de técnicas de manejo e de implantação de uso já utilizadas nas imediações, permitindo-se, assim, que no local sejam instaladas atividades para as quais a região já apresente vocações.

A recuperação de uma área minerada não é um processo simples. Ao contrário, trata-se de algo lento e delicado cujo bom desempenho depende da recuperação das propriedades biológicas, físicas e químicas do solo, a qual, por sua vez, está diretamente relacionada com o controle dos processos erosivos e com a recomposição topográfica e paisagística do local.

Sem dúvida, os objetivos da recuperação ambiental poderão ser mais facilmente alcançados se o uso que se fará do local após o término da mineração for previamente definido.

Como futuras investigações e pesquisas a serem realizadas, a sugestão é que o potencial para a mineração em área tão extensa como a que foi alvo do estudo aplicado, indica a necessidade do desenvolvimento de estudos para a validação dos métodos de recuperação ambiental e para a análise dos resultados obtidos e de

projetos piloto para a verificação de procedimentos a serem adotados: desempenho de espécies vegetais em diversas situações de solo, umidade, luminosidade, declividade; técnicas de preparo do solo para o plantio e o próprio manejo da área em processo de recuperação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARENGA, S.R. (1997). **A análise das áreas de proteção ambiental enquanto instrumento da política nacional do meio ambiente: o caso da APA Corumbataí - SP.** São Carlos. 225p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- ANJOS, A.R.M.; REISSMANN, C.B. (1994). Influência dos resíduos da mineração do xisto no crescimento e no teor foliar de Cd, Co, Cr, Ni e Pb em plantas de *Avena strigosa Schreber*, var. Fläm nova. In: SIMPÓSIO SUL-AMERICANO, 1., SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2., Curitiba, 1994. **Anais...** s.1., FUPEF. p.283-93.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1993). NBR 13.030 - Elaboração e apresentação de projetos de reabilitação de áreas degradadas pela mineração. Rio de Janeiro. 4p.
- AWETO, A.O. (1981). Secondary succession and soil fertility restoration in South-Western Nigeria I: sucesion. **Journal of Ecology**, v.69, p.601-07.
- BARBOSA, J.M. et al. (1992). Capacidade de estabelecimento de indivíduos de espécies da sucessão secundária a partir de sementes em sub-bosque

de uma mata ciliar degradada do Rio Moji-Guaçu/SP. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, Curitiba, 1992. **Anais.**, s.n.t. p.400-06.

BARNHISEL, R.I. (1988). Correction of physical limitations to reclamation. In: HOSSNER, L.R., ed. **Reclamation of surfaced-mined lands.** Bocarraton, CRC. v.1. Cap. 10, p.191-211.

BARTH, R.C. (1989). **Avaliação da recuperação de áreas mineradas no Brasil.** Viçosa, Sociedade de Investigações Florestais. 41p. (Boletim Técnico, n.1).

BAUER, A.M. (1989). Usos futuros de áreas mineradas. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE MINERAÇÃO EM ÁREAS URBANAS, São Paulo, 1989. **Anais.** Brasília, DNPM/Pró-Minério. p.25-30.

BERGER, J.J. (1990). **Environmental restoration: science and strategies for restoring the earth: selected papers from the restoring the earth conference.** Washington, Island Press. 451p.

BITAR, O.Y. et al. (1990). **O meio físico em estudos de impacto ambiental.** São Paulo, IPT. 25p. (Boletim, 56).

BITAR, O.Y. et al. (1992). Recuperação de áreas mineradas: considerações sobre técnicas aplicáveis a regiões urbanas. In: "Workshop internacional" tecnologia e desenvolvimento sustentável, São Paulo.

BONI, N.R. et al. (1994). Uso de leguminosas na recuperação de um solo decapitado. In: SIMPÓSIO SUL-AMERICANO, 1., SIMPÓSIO

NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2., Curitiba, 1994. **Anais.** s.1., FUPEF. p.563-568.

BRANDI, I.V. (1994). **Estudo da efetividade dos planos de recuperação de áreas degradadas (PRADs) de atividades de exploração de minério de ferro na região do quadrilátero ferrífero - MG.** São Carlos. 114p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

BRITEZ, R.M.; SILVA, S.M. (1992). Avaliação da regeneração natural em reflorestamentos experimentais da Petrosix, São Mateus do Sul, PR. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, Curitiba, 1992. **Anais.** , s.n.t. p.253-63.

BRITEZ, R.M. et al. (1992). Estudo da vegetação secundária como subsídio técnico para a recuperação de áreas degradadas. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, Curitiba, 1992. **Anais.** , s.n.t. p.164-77.

BUDOWSKI, G. (1965). Distribution of tropical american rain forest species in the light of successional process. **Turrialba**, v.15, p.40-2.

BUDOWSKI, G. (1970). The distribution between old secondary and climax species in tropical Central American lowland forests. **Tropical ecology**, v.11, p.44-8.

CLEMENTS, F.E. (1916). **Plant succession: an analysis of the development of vegetation.** Washington, Carnegie Institute. 512p. (Carnegie Institute Publication, 242).

- CLEMENTS, F.E. (1928). **Plant succession and indicators**. New York, Wilson. 453p.
- CONTRERAS, J.L.S. (1991). Metodos de evaluacion del impacto ambiental producido por los depositos de esteriles minerados. In: **Diseño y construccion de esconbreras de esteriles y bolsas de residuos**. Madri, ITGE. p.01-35.
- COPPIN, N.J.; BRADSHAW, A.D. (1982). **Quarry reclamation: the establishment of vegetation in quarries and open-pit non-metal mines**. London, Mining Journal Books. 112p.
- DANIELS, W.L. (1994). Princípios para a restauração de áreas degradadas. In: SIMPÓSIO SUL-AMERICANO, 1., SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2., Curitiba, 1994. **Anais**. s.1., FUPEF. p.3-18.
- DARMER, G. (1992). **Landscape and surface mining: ecological guidelines for reclamation**. New York, Van Nostrand Reinhold. 201p.
- DAVIDE, A.C. (1994). Seleção de espécies vegetais para recuperação de áreas degradadas. In: SIMPÓSIO SUL-AMERICANO, 1., SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2., Curitiba, 1994. **Anais**. s.1., FUPEF. p.111-22.
- DEPUIT, E.J. (1988). Productivity of reclaimed lands: rangeland. In: HOSSNER, L.R., ed. **Reclamation of surfaced-mined lands**. Bocarraton, CRC. v.2, Cap. 14, p.93-129.

- DIAS, A.C. (1985). Reabilitação de áreas mineradas de bauxita. In: **COLETÂNEA de trabalhos técnicos sobre controle ambiental na mineração**. Brasília, Departamento Nacional de Produção Mineral. p.175-183.
- EASTMAN, J.R. (1995). **Idrisi for Windows: user's guide**. Worcester, Clark University. 450p.
- FAIRLEY, R.I. (1985). Grass root production in restores soil following opencast mining. In: FITTER, A.H. et al. **Ecological interactions in soil plants, microbes and animals**. Oxford, Blackwell. p.81-85.
- FONSECA, F.F.A. (1991). Mineração e o ambiente. In: TAUKE, S.M., org. **Análise ambiental: uma visão multidisciplinar**. São Paulo, Universidade Estadual Paulista/ FAPESP/SRT/FUNDUNESP. p.143-147.
- FONTES, M.P.F. (1991). Estudo pedológico reduz impactos da mineração. **Ambiente**, v.5, n.1, p.58-62.
- FRANCO, A.A. et al. (1994). Revegetação de áreas de mineração de bauxita em Porto Trombetas-PA com leguminosas arbóreas noduladas e micorrizadas. In: SIMPÓSIO SUL-AMERICANO, 1., SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2., Curitiba, 1994. **Anais**. s.1., FUPEF. p.145-53.
- GISLER, C.V.T.; MEGURO, M. (1993). Alguns aspectos do uso da serrapilheira como prática de recuperação de áreas mineradas de bauxita. In: CONGRESSO ITALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE MINAS, 2., São Paulo, 1993. **Anais**. s.n.t..

- GOMEZ-POMPA, A. (1971). Possible papel de la vegetación secundaria en la evolución de la flora tropical. **Biotropica**, v.3, p.125-35.
- GRANATO, M. (1991). Equipamentos de controle ambiental na mineração. In: SEMINÁRIO BRASIL - CANADÁ DE MINERAÇÃO E MEIO AMBIENTE, Brasília, 1990. **Anais**. Brasília, DNPM. p.203-12.
- GRANDT, A.F. (1988). Productivity of reclaimed lands: cropland. In: HOSSNER, L.R., ed. **Reclamation of surfaced-mined lands**. Boca Raton, CRC. v.2, Cap. 15, p.131-55.
- GRIFFITH, J.J. (1980). **Recuperação conservacionista de superfícies mineradas: uma revisão da literatura**. Viçosa, Sociedade de Investigações Florestais. 51p. (Boletim Técnico, 2).
- GRIFFITH, J.J. (1991). **Estética da recuperação de áreas mineradas**. Viçosa, Sociedade de Investigações Florestais, UFV. 35p. /versão preliminar/.
- GRIFFITH, J.J. et al. (1990). Diretrizes ambientais para projetos de mineração na Amazônia. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., São Paulo, 1990. **Anais**. s.n.t.. p.69-77.
- GRIFFITH, J.J. et al. (1994). Novas estratégias ecológicas para a revegetação de área mineradas no Brasil. In: SIMPÓSIO SUL-AMERICANO, 1., SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2., Curitiba, 1994. **Anais**. s.1., FUPEF. p.31-43.
- HORN, H.S. (1974). The ecology of secondary succession. **Annual Review of Ecology Systematics**, v.5, p.25-37.

✦ INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação**. Brasília, IBAMA, 1990. 95p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO (IBRAM).(1992). **Mineração e Meio Ambiente**. Brasília, IBRAM. 111p.

JESUS, R.M. (1994). **Revegetação: da teoria a prática - técnicas de implantação**. In: SIMPÓSIO SUL-AMERICANO, 1., SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2., Curitiba, 1994. **Anais**. s.1., FUPEF. p.

KAGEYAMA, P.Y. et al. (1989). **Implantação de matas ciliares: estratégias para auxiliar a sucessão secundária**. In: SIMPÓSIO SOBRE MATA CILIAR, São Paulo, 1989. **Anais**. Campinas, Fundação Cargill. p.130-43.

KAGEYAMA, P.Y. et al. (1990). **Plantações mistas com espécies nativas com fins de proteção a reservatórios**. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., Campos do Jordão, 1990. **Anais**. São Paulo, Sociedade Brasileira de Silvicultura. v.1., p.109-12.

KAGEYAMA, P.Y. et al. (1991). **Diretrizes para a reconstituição da vegetação florestal ripária de uma área piloto da bacia de Guarapiranga**. Relatório apresentado à Coordenadoria de Planejamento Ambiental da Secretaria de Estado do Meio Ambiente - Piracicaba. 34p.

KAGEYAMA, P.Y. et al. (1992). **Potencialidades e restrições da regeneração artificial na recuperação de áreas degradadas**. In: SIMPÓSIO

- NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, Curitiba, 1992. **Anais.**, s.n.t. p.1-7.
- KAGEYAMA, P.Y. et al. (1994). Revegetação de áreas degradadas: modelos de consorciação com alta diversidade. In: SIMPÓSIO SUL-AMERICANO, 1., SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2., Curitiba, 1994. **Anais.** s.1., FUPEF. p.569-76.
- LEITE, A.M.P.; NOGUEIRA, A.C. (1992). Atividade garimpeira no Estado do Mato Grosso: considerações e propostas para redução dos impactos ambientais. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, Curitiba, 1992. **Anais.** s.n.t.. p.280-87.
- LEITE, C.A.G. et al. (1987). Estudos de impacto ambiental - algumas reflexões sobre metodologia para o caso da mineração. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 5., São Paulo, 1987. **Anais.** São Paulo, ABGE. v.1, p.105-113.
- LYLE JR., E.S. (1987). **Surface mine reclamation manual.** New York, Elsevier. 268p.
- LUCHESE, L.A.C. et al. (1992). Pastagens: um sistema de produção para a reabilitação de áreas degradadas. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, Curitiba, 1992. **Anais.** s.n.t. p.83-92.
- MACHADO, P.A.L. (1996). **Direito ambiental brasileiro.** São Paulo, Malheiros. 782p.

- MAJER, J.D., coord. (1989). **Animals in primary succession: the role of fauna in reclaimed lands**. Londres, Cambridge University Press. Cap. 01, p.3-33: Fauna studies and land reclamation technology: a review of the history and need for such studies.
- MARQUES, J.Q.A. (1971). **Manual brasileiro para levantamento da capacidade de uso da terra**. Escritório técnico Brasil - Estados Unidos (ETA). 433p.
- MASCARENHAS, G.R. (1985). Controle ambiental da atividade de mineração: algumas técnicas adotadas. In: **COLETÂNEA de trabalhos técnicos sobre controle ambiental na mineração**. Brasília, Departamento Nacional de Produção Mineral. p 23-39.
- MASCHIO, L.M.A. et al. (1992a). Evolução, estágio e caracterização da pesquisa em recuperação de áreas degradadas no Brasil. In: **SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS**, Curitiba, 1992. **Anais**. s.n.t. p.17-33.
- MASCHIO, L.M.A. et al. (1992b). Microrganismos e auto sustentação de ecossistemas em solos alterados. In: **SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS**, Curitiba, 1992. **Anais**. s.n.t. p.440-45.
- MELO, J.C. (1985). Recuperação ambiental em aluviões minerados no Alto Jequitinhonha. In: **COLETÂNEA de trabalhos técnicos sobre controle ambiental na mineração**. Brasília, Departamento Nacional de Produção Mineral. p. 185-200.

- MORAES, C.A.F. (1992). Recuperação de áreas degradadas através de incentivo à sucessão natural. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, Curitiba, 1992. **Anais.** s.n.t. p.462-63.
- MORAES, C.A.F.; WILLIAMS, D.D. (1992). Recuperação de minas de bauxita com espécies nativas de Poços de Caldas, MG. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, Curitiba, 1992. **Anais.** s.ed. p.273-79.
- ODUM, E.P. (1988). **Ecologia.** Rio de Janeiro, Guanabara. 434p.
- PICKETT, S.T.A. (1983). Differential adaptation of tropical tree species to canopy gaps and its role in community dynamics. **Tropical Ecology,** v.24, p.68-84.
- POWELL, J.L. (1988). Revegetation options. In: HOSSNER, L.R., ed. **Reclamation of surfaced-mined lands.** Bocarraton, CRC. v.2, Cap. 13, p.49-91.
- REDENTE, E.F. et al. (1993). Manipulation of vegetation community dynamics for degraded land rehabilitaon. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA FLORESTAL, Belo Horizonte, 1993. **Anais.** s.n.t. p.265-78.
- SÁNCHEZ, L.E. (1991). Diagnóstico e auditoria ambiental: subsídios para o planejamento e o gerenciamento ambiental. In: SEMINÁRIO BRASIL - CANADÁ DE MINERAÇÃO E MEIO AMBIENTE, Brasília, 1990. **Anais.** Brasília, DNPM. p.231-39.

- SÃO PAULO (ESTADO). (1979). **Plano cartográfico de São Paulo** (Escala 1:10.000). São Paulo, IGC.
- SÃO PAULO (ESTADO). (1981). **Levantamento pedológico semi detalhado do Estado de São Paulo** (Escala 1:100.000). São Paulo, IAC.
- SÃO PAULO (ESTADO). (1989). **Mapeamento de vegetação natural do Estado de São Paulo** (Escala 1:50.000). São Paulo, FUNCATE.
- SEITZ, R.A. (1994). A regeneração natural na recuperação de áreas degradadas. In: SIMPÓSIO SUL-AMERICANO, 1., SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2., Curitiba, 1994. **Anais.** s.1., FUPEF. p.103-10.
- SILVA, A.L.O. (1993). **Uso de sacos de aniagem para revegetação de taludes na Ferteco Mineração S.A.** Viçosa, Sociedade de Investigações Florestais/Universidades Federal de Viçosa. 8p. (Informativo SIF, n.1).
- SILVA, C.M.M. (1995). **Estudo de alternativas de reabilitação para as áreas degradadas pelas minerações de argilas bentoníticas de Boa Vista, Campina Grande/PB.** São Paulo. 129p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- SILVEIRA, N.J.; ORTIGÃO, R.L.C.R. (1992). Recuperação de áreas degradadas por resíduo sólido da indústria coureiro-calçadista em Gramado, RS, Brasil. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, Curitiba, 1992. **Anais.** s.n.t. p.189-209.

SKALSKI JR., J; GROSSI, J.L. (1992). Estudo de manejo com introdução de espécies florestais nativas em povoamentos de bracatinga e acácia negra, em área minerada pela petrobrás-six para extração de xisto, São Mateus do Sul, PR. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, Curitiba, 1992. **Anais.** s.n.t. p.248-52.

SKALSKI JR., J. (1994). Estabelecimento inicial de cobertura vegetal em áreas de reabilitação após a mineração de xisto, pela Petrobrás, utilizando a leguminosa *mimosa scabrella*, gramíneas e herbáceas. In: SIMPÓSIO SUL-AMERICANO, 1., SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2., Curitiba, 1994. **Anais.** s.1., FUPEF. p.587.

TABACZENSKI, R.R. (1995). **A utilização do sistema de informações geográficas para o macrozoneamento ambiental.** São Carlos. 140p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

WHITMORE, T.C. (1982). On patterns and process in forests. In: Newman, E.I. **The plant community as a working mechanism**, Oxford, Blackwell. p.45-59.

WILLIAMSON, N.A. et al. (1982). **Mine wastes reclamation: the establishment of vegetation on metal mine wastes.** London, Mining Journal Books. 103p.