RAQUEL OLIMPIA PELÁEZ OCAMPO ALMEIDA

**REVEGETAÇÃO DE ÁREAS MINERADAS: ESTUDO DOS
PROCEDIMENTOS APLICADOS EM MINERAÇÕES DE AREIA**

**Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do Título de
Mestre em Engenharia**

**São Paulo
2002**

RAQUEL OLIMPIA PELÁEZ OCAMPO ALMEIDA

**REVEGETAÇÃO DE ÁREAS MINERADAS: ESTUDO DOS
PROCEDIMENTOS APLICADOS EM MINERAÇÕES DE AREIA**

**Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do Título de
Mestre em Engenharia**

**Área de Concentração:
Engenharia Mineral
Sub-Área: Engenharia Ambiental**

**Orientador:
Prof. Dr. Luis Enrique Sánchez**

**São Paulo
2002**

FICHA CATALOGRÁFICA

Almeida, Raquel Olímpia Peláez Ocampo

Revegetação de áreas mineradas: estudo dos
procedimentos aplicados em minerações de areia/Raquel
Olímpia Peláez Ocampo Almeida. – São Paulo, 2002.

160p

Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade
de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas de
Petróleo.

1.Reabilitação de áreas degradadas 2.Revegetação3.Areia
4.MineraçãoI.Universidade de São Paulo.Escola Politécnica.
Departamento de Engenharia de Minas e de PetróleoII.t

Si te pones a escuchar todo lo que suena en la selva...

Que escuchas?

No solamente suenan tantos y tantos animales que has visto, que no has visto, que nadie verá jamás, bichos que aprenden a pensar y conversar lo mismo que personas... Suenan también las plantas, los vegetales: Tantas e tantas plantas, todas e todas suenan, lo mismo que piedras...Tantas e tantas existencias oyes, tanta callada sabiduría escuchas, cuando escuchas la selva.

Cacique Ino Moxo, jefe de la nación Amawaka.

*A Amilton por ser ejemplo constante de integridad y determinación,
A Miguel y Rafael, por que quiero para ellos un mundo, al menos, como el mio,
A mamá Angélica, papá Horacio y toda la familia por la fuerza interior que nunca dejan de
infundirme.*

AGRADECIMENTOS

A autora deseja expressar seu agradecimento:

Ao Professor Doutor Luis Henrique Sánchez pela orientação, apoio, valiosas sugestões e recomendações.

Ao Professor Doutor Eldon Azevedo Masini pela confiança depositada e por acreditar na viabilidade deste trabalho.

Ao Programa CAPES pelo apoio financeiro com a bolsa de estudo.

Ao Professor Doutor Waldir Mantovani por suas acertadas observações e críticas pertinentes sobre o trabalho, sua paciente e criteriosa revisão do texto de qualificação e auxílio na identificação das espécies vegetais.

Ao Professor Doutor Sérgio Médici Eston pelas sugestões e observações feitas ao trabalho.

Ao Professor Doutor Homero Delboni Junior pela ajuda nos momentos que precisei.

Ao amigo incomparável, Engenheiro Agrônomo Luis Antônio Torres da Silva pela sua disposição e colaboração ao longo do trabalho, e a todo o pessoal da AGRA S.A. pela cooperação e informações fornecidas.

Aos amigos Engenheiros João Manoel Stevenson Braga e Marcos Zabini por me abrirem as portas para compartilharmos dos seus trabalhos.

Ao pessoal da Mineração Viterbo Machado e ao Engenheiro William Whitaker pela colaboração.

A Mineração Itaquareia na pessoa do Sr. Antero, pela acolhida e Sr. pela disposição e guia nos plantios da Itaquareia.

Ao Sr. Orbio de Borba Junior da Mineração Cinco Lagos, pela acolhida.

A Apemi – Associação Paulista de Engenheiros de Minas e seus integrantes por manter-me ligada à problemática da mineração.

Ao Engenheiro Ayrton Sintoni e o Biólogo Afonso pelas valiosas sugestões na revisão do texto.

Ao Luizinho por seu ótimo trabalho com os desenhos.

À Bibliotecária Maria Cristina Martinez Bonesio pela amizade e apoio com a revisão das referências bibliográficas.

Ao amigo Hary, estagiário do IPT, pelas suas dicas de computação e colaboração com os gráficos e fórmulas.

Ao Sr. Marivaldo Martins do Viveiro Manacá, pelas informações fornecidas e ajuda no reconhecimento de espécies vegetais na revegetação da Mineração Cinco Lagos.

Ao Sr. Matam Alves por sua insubstituível participação nas medições e amostragem realizadas, e no reconhecimento das espécies vegetais na Mineração Viterbo Machado.

A Carla da Ecos Consultoria pelas informações fornecidas.

A Maria Isilda pela força na configuração final do texto.

E, ilimitadamente a Amilton por sua incessante infusão de ânimo, sua contribuição absoluta e incondicional, e sobretudo, por olharmos juntos na mesma direção.

RESUMO

Este estudo analisa os métodos e técnicas utilizadas na revegetação de áreas de mineração de areia, e avalia os resultados que vem sendo obtidos. Foram visitadas cinco minerações típicas do setor contendo áreas revegetadas, nas quais observou-se o conjunto das atividades de recuperação. De forma geral, a revegetação vêm cumprindo papel fundamental na recuperação das áreas mineradas. Para uma avaliação mais detalhada, numa segunda fase do estudo, selecionou-se duas minerações: Viterbo Machado – onde houve revegetação com espécies nativas em área de disposição de rejeito e; Cinco Lagos – onde foi executada revegetação em antiga área operacional visando a recuperação de mata ciliar.

Para avaliar os resultados da revegetação, foram selecionados cinco indicadores de desempenho: aspecto visual da revegetação, densidade, altura média de plantas, número de espécies plantadas e mortalidade de mudas. Na Mineração Viterbo, as características do rejeito depositado (finos) dificultam o desenvolvimento normal das plantas. As práticas atuais de manejo amenizam o problema, mas ainda não são suficientes. O tipo de manutenção de uma área revegetada há cinco anos, ainda não permite a regeneração natural, e nem todas as espécies utilizadas estão adaptadas às condições do substrato. Outra área semeada há nove anos só com gramíneas, hoje em dia revela um processo de regeneração natural considerável, embora com número restrito de espécies e distribuição localizada. A revegetação na Mineração Cinco Lagos tem pouca diversidade de espécies, mas apresenta bons resultados de crescimento e regeneração natural, especialmente em área com distanciamento de 6x1m entre linhas e plantas, respectivamente. Alguns aspectos observados do manejo do solo precisam ser aprimorados, e a escolha das espécies deve considerar a adaptação local. O número de espécies usadas para implantação de mata nativa é muito restrito, mas a regeneração natural vem se mostrando decisiva na diversificação de espécies. A revegetação em bacias de decantação requer a incorporação de novas estratégias de manejo do solo e das plantas.

O método de avaliação demonstrou-se válido desde que realizado mediante a aplicação de um conjunto de indicadores e tendo em conta as características intrínsecas de cada local. Pesquisas neste campo podem ser aprofundadas com aplicação de indicadores adicionais (por exemplo sobre o estado do solo), e com estudos do aprimoramento do manejo nas suas dimensões técnica e econômica.

ABSTRACT

This dissertation analyses the methods and techniques used to revegetate areas of sand mines and assess the results obtained. In the first phase of study, reclamation activities of five typical sand mines were observed. In general, revegetation in these mines plays a fundamental role in mined areas reclamation. Two mines were selected for a more detailed assessment, namely: Viterbo Machado Mine- where revegetation of decantation ponds has been carried out with native species; and Cinco Lagos Mine- where revegetation was performed in previous operational area aims to recover riparian vegetation. For assessing results, indicators were selected for collecting the following data: visual aspect of vegetation, plants density and number of species per hectare, plants height average and settled plant mortality.

In Viterbo Mine, tailings characteristics make difficult the normal plant development. Current practices of soil management diminish this problem, but efforts have not shown to be enough to obtain satisfactory results. The type of maintenance of a five year plantation does not permit natural regeneration, and plant species chosen are not the best suitable. In a nine year grassland sown, nowadays there is a good natural regeneration process but with few number of species. Cinco Lagos Mine presents low planted species diversity but shows good conditions of vegetation growth and natural regeneration, mainly with 6mx1m grid between lines and plant respectively. Some aspects of soil management must be improved and the choice of species has to consider local adaptation. A low number of species are used for restoring natural vegetation, but natural regeneration process has been found is showing to be a decisive factor for diversification of vegetal species. Revegetation practice of decantation pond needs to add new soil and plant management strategies.

Results assessment has been done through the application of a set of indicators. New research can be done to test the applicability of additional performance indicators (soil condition, for example).

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	iv
LISTA DE FOTOS.....	v
LISTA DE TABELAS.....	vii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	viii
LISTA DE SÍMBOLOS.....	ix
 INTRODUÇÃO.....	 1
 1 OBJETIVOS.....	 3
1.1 Justificativa do tema em estudo.....	3
 2 METODOLOGIA	 5
 3 CARACTERÍSTICAS DA MINERAÇÃO DE AREIA PARA CONSTRUÇÃO CIVIL	 7
3.1 Processo Produtivo.....	8
3.1.1 Desmonte hidráulico	8
3.1.2 Dragagem hidráulica em leitos submersos	10
3.2 Impactos da mineração de areia	13
3.4 Aspectos legais vigentes sobre RAD em minerações de areia	14
 4 A REVEGETAÇÃO NA MINERAÇÃO	 17
4.1 Conceitos Relevantes.....	17
4.2 Procedimentos de recuperação	21
4.3 A revegetação como instrumento de RAD.....	24

4.4 Aspectos importantes da revegetação	28
4.4.1 Práticas de caráter geotécnico.....	29
4.4.2 Práticas de caráter edáfico	33
4.4.2.1 O solo e suas características	34
4.4.2.2 Manejo do solo.....	45
4.4.3 Práticas de caráter vegetativo	50
4.4.3.1 Métodos de revegetação.....	51
4.4.3.2 Seleção de espécies	56
4.5 Manutenção	58
 5 MONITORAMENTO DA ÁREA REVEGETADA	60
5.1 Avaliação dos resultados da revegetação	61
5.2 Indicadores de vegetação.....	63
5.2.1 Indicadores de avaliação da implantação vegetal	63
5.2.2 Indicadores de avaliação de fases pós-implantação	63
5.2.3 Bioindicadores	67
5.3 Indicadores da qualidade do solo	67
5.3.1 Indicadores físicos	68
5.3.2 Indicadores químicos e bioquímicos.....	68
5.3.3 Bioindicadores	69
5.4 Indicadores e valores de referência para áreas revegetadas em mine- rações de areia.....	69
 6 CASOS ESTUDADOS DE REVEGETAÇÕES EM MINERAÇÕES DE AREIA.....	73
6.1 Mineração Viterbo Machado	73
6.1.1 Método de lavra.....	74
6.1.2 Procedimentos de recuperação das áreas de mineração	74
6.1.3 Áreas recuperadas	76
6.1.4 Custos de revegetação.....	78
6.2 Minerações em Taubaté (Vale do Paraíba)	78
6.2.1 Método de lavra.....	79
6.2.2 Recuperação das áreas mineradas	80

6.2.3	Mineração Aoki.....	82
6.2.4	Mineração Paraíba do Sul.....	84
6.2.5	Mineração 5 Lagos.....	87
6.2.6	Custos de revegetação.....	90
6.3	Mineração Itaquareia	90
6.3.1	Portos 1 e 9.....	90
6.3.2	Recuperação das áreas mineradas do Porto 1.....	91
6.3.3	Recuperação das áreas mineradas do Porto 9.....	93
6.3.4	Custos de revegetação.....	95
6.4	Observações gerais sobre custos	95
7	AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DA REVEGETAÇÃO EM DOIS CASOS SELECIONADOS	98
7.1	Métodos e procedimentos de medição dos indicadores utilizados.....	98
7.2	Mineração Viterbo Machado	103
7.2.1	Aspecto visual da vegetação	103
7.2.2	Densidade de plantas	107
7.2.3	Altura média de plantas	107
7.2.4	Espécies encontradas	110
7.3	Mineração Cinco Lagos.....	115
7.3.1	Aspecto visual da vegetação	115
7.3.2	Densidade de plantas	117
7.3.3	Altura média de plantas	119
7.3.4	Espécies encontradas	121
7.4	Análise do desempenho das revegetações	124
8	CONCLUSÕES.....	130
9	ANEXOS.....	134
10	REFERÊNCIAS.....	154

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Pólos de mineração de areia no Estado de São Paulo	7
Figura 2 – Lavra por desmonte hidráulico em cava seca ou encostas de morros	9
Figura 3 – Lavra por dragagem em leito de rio ou cava submersa	11
Figura 4 – Escoamento superficial médio anual e perda anual de solo..	26
Figura 5 – Entrada de nutrientes pelas chuvas e perdas pelo escoamento superficial ...	27
Figura 6 – Inclinação recomendada para diversos usos finais do solo.....	32
Figura 7 – Perfil hipotético do solo	35
Figura 8 – Modelo representativo do solo e suas faces	39
Figura 9 – Efeitos da falta de vegetação no solo	44
Figura 10 – Formas de plantio de vegetação nativa.....	54
Figura 11 – Localização da revegetação avaliada na Mineração Viterbo	104
Figura 12 – Perfis-diagrama das revegetações com nove anos (perfil A) e com cinco anos (perfil B). Mineração Viterbo Machado	110
Figura 13 – Localização da revegetação avaliada na Mineração Cinco Lagos.....	116
Figura 14 – Perfis-diagrama da revegetação com distanciamento 6mx1m (perfil A), da revegetação com distânciamento 3,5mx2,5m (perfil B) e da parcela 5, com distanciamento 3,5x2,5m (perfil C). Mineração Cinco Lagos.....	120

LISTA DE FOTOS

Foto 1 – Perfil do solo onde se distingue a camada orgânica e argilosa.....	37
Foto 2 – Camada de solo argiloso sendo reposta na superfície.....	48
Foto 3 – Bacia de disposição de rejeitos em processo de secagem natural para posterior revegetação.....	76
Foto 4 – Exemplo de dragagem em cava submersa.....	79
Foto 5 – Viveiro do Núcleo de Recuperação da Áreas de Mineração do Vale do Paraíba.....	82
Foto 6 – Revegetação com pouca variabilidade de espécies nativas (nove anos). Mineração Paraíba do Sul.....	86
Foto 7 – Revegetação com 7 anos. Observa-se crescimento espontâneo de arbóreas entre linhas. Mineração Cinco Lagos.....	89
Foto 8 – Detalhe do composto orgânico adicionado ao solo. Revegetação com dois a nos Mineração Itaquareia	92
Foto 9 – Revegetação de 6 anos com espécies nativas. Mineração Itaquareia, Cava 1	94
Foto 10 – Determinação da altura das plantas.....	105
Foto 11 – Revegetação com cinco anos (distanciamento 3mx3m).....	106
Foto 12 – Revegetação com nove anos. Crescimento de espécies arbóreas por processo de regeneração natural, no meio de plantas herbáceas.....	106
Foto 13 – Em primeiro plano, espécies arbóreas com pouco desenvolvimento. (revegetação com cinco anos).....	108
Foto 14 – Crescimento adensado de espécies arbóreas nas bordas da bacia de decantação revegetada apenas com gramíneas (nove anos).....	111
Foto 15 – Crescimento espontâneo de capim rabo-de-burro (<i>Andropogon</i> sp.) na superfície da bacia de decantação.....	112
Foto 16 – Clareira na área revegetada (nove anos) com crescimento intenso de es-	

pécies herbáceas.....	112
Foto 17 – Revegetação na área A	118
Foto 18 – Revegetação na área B	118
Foto 19 – Revegetação na parcela 5 da área B próxima ao Rio Paraíba.....	119
Foto 20 – Crescimento espontâneo de espécies arbóreas entre linhas.....	123
Foto 21 – Mata nativa situada entre as áreas de revegetação A e B	123

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais características de resíduos orgânicos para recuperação de áreas de mineração.....	49
Tabela 2 - Indicadores de desempenho aplicáveis na avaliação de áreas revegetadas em minerações de areia. (Estado de São Paulo).....	72
Tabela 3 - Densidade e altura média de plantas matrizes (PM) e plantas não matrizes (PNM), nas revegetações avaliadas	102
Tabela 4 - Espécies arbóreas identificadas nas revegetações avaliadas da Mineração Viterbo Machado.....	114
Tabela 5 - Espécies herbáceas identificadas na revegetação com nove anos da Mineração Viterbo Machado.....	115
Tabela 6 - Espécies arbóreas encontradas na revegetação avaliada da Mineração Cinco Lagos.....	122

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AGRA S.A.	Agrônomos Associados Sociedade Anônima
APP	Área de Preservação Permanente
CESP	Companhia Elétrica de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CTC	Capacidade de troca catiônica
DAIA	Departamento de Avaliação de Impacto Ambiental
DAP	Diâmetro à altura do peito
DEPRN	Departamento Estadual de Proteção de Recursos Naturais
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ESALQ	Escola Superior São Luiz de Queiroz
FEEMA	Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente
IBAMA	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais
IF	Instituto Florestal
IPEF	Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
pH	Potencial hidrogênio
PM	Plantas matrizes
PNM	Plantas não matrizes
PRAD	Plano de Recuperação de Áreas Degradadas
RAD	Recuperação de Áreas Degradadas
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
SMA	Secretaria de Meio Ambiente
SOBRADE	Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas
UNICAMP	Universidade de Campinas

LISTA DE SÍMBOLOS

A - Área

D – Densidade

A_m – Altura média

a_i – Valor central da altura

e – Índice de vazios

f_i – Frequência ou número de planta no i-ésimo intervalo

c – Número de classes ou intervalos

h - Umidade

m – Massa total do solo

m_s – Massa das partículas sólidas

m_{ag} – Massa da água

N – Número total de plantas medidas

N - Porosidade

Σ - Somatória

γ - Massa específica aparente ou massa específica natural

γ_{Sat} - Massa específica aparente saturada

γ_{ag} - Massa específica da água

δ - Massa específica do sólidos ou dos grãos

δ_s - Massa específica aparente seca

ip – Idade de plantio

d - Distanciamento

V - Volume total do solo

V_s - Volume das partículas sólidas

S – Grau de saturação

V_{ag} - Volume de água

V_{ar} - Volume de ar

V_v - Volume de vazios

INTRODUÇÃO

Os processos operacionais nas atividades de mineração implicam diferentes formas de degradação do meio ambiente. As mais comuns estão associadas à retirada da vegetação, o descarte da camada fértil do solo, instabilização de áreas circunvizinhas, situação que se agrava quando há o eventual abandono das cavas ou bacias de disposição formadas durante a vida útil da mina.

Os problemas ambientais causados pela mineração no Estado de São Paulo já foram descritos por diversos autores, citando-se como referência o IPT (1986). As principais atividades de mineração identificadas são: a extração de areia, cascalho, brita, argila, calcários, entre outros. Todas estas atividades foram apontadas como ocasionadoras de degradação intensa das áreas mineradas, sem capacidade para dar suporte ao crescimento das plantas, e com ausência de planificação para algum uso futuro.

No início da década de oitenta, algumas companhias de mineração brasileiras de grande porte já realizavam algumas medidas de recuperação ambiental, embora ainda se tratassem de ações isoladas. Essas medidas foram incentivadas, principalmente, pela pressão da comunidade do entorno, ou pelas exigências das organizações financeiras internacionais (Barth, 1989).

Com a entrada em vigor do Decreto Federal nº 97.632, de 1989, que obriga o minerador a recuperar a área degradada, a Secretaria do Meio Ambiente (SMA) do Estado de São Paulo regulamentou, mediante a Resolução SMA nº 18/89, a exigência de apresentação de Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) por parte dos empreendimentos minerários já existentes, sejam eles de pequeno, médio ou grande porte.

A elaboração dos PRADs e as tentativas de executá-los trouxeram à tona as dificuldades técnicas quanto ao manejo do solo e das plantas para obter sucesso na revegetação, que é um dos objetivos principais da recuperação de uma área degradada.

Esta questão ainda continua sendo um grande problema a ser devidamente equacionado. Os métodos de recuperação descritos nos PRADs muitas vezes não são

compatíveis com os resultados obtidos na prática; em outros casos nem são executados, com o argumento de que os custos são muito altos (Bitar, 1998). Por outro lado, existem as minerações que almejam efetivamente implantar projetos de recuperação, mas falta-lhes o conhecimento técnico para realizá-los com eficiência, especialmente no que se refere aos procedimentos de revegetação.

As medidas de recuperação praticadas em minas localizadas na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) revelam um desempenho de regular a insatisfatório, pois os resultados são ainda incipientes, com revegetação restrita e visando principalmente atenuar apenas o impacto visual (Bitar, 1998). Esta situação pode estar associada, entre outros fatores, a uma falta de preparo técnico dos responsáveis pelo empreendimento que, via de regra, também são os responsáveis pelo gerenciamento dos trabalhos de recuperação. Até por uma questão de formação, em muitos casos estes profissionais desconhecem princípios básicos que devem orientar, por exemplo, a aplicação das técnicas adequadas para o sucesso na revegetação das áreas degradadas. Certamente há outros fatores que contribuem para o baixo desempenho constatado, tais como economia de custos, priorização das atividades ligadas diretamente ao processo produtivo, negligência ou desconhecimento da importância da revegetação como fator essencial de estabilização, deficiências de fiscalização, entre outros.

No caso específico das minerações de areia do Vale do Paraíba no Estado de São Paulo, a Resolução SMA 42/96 constituiu um marco que determinou aos mineradores daquela região a obrigação de atenderem a uma série de procedimentos operacionais, com o objetivo de mitigar os impactos, e estabeleceu medidas mais específicas para a recuperação das áreas degradadas. Esta Resolução servirá, como ponto referencial a este trabalho para a avaliação do desempenho da revegetação nos casos específicos estudados, de duas minerações de areia. Outras minerações visitadas permitirão ilustrar aspectos do estado da arte em que se encontra esta atividade e o que se está realizando de concreto, constatando-se aspectos positivos, apontando-se deficiências e propondo-se melhorias.

1 OBJETIVOS

O objetivo principal do trabalho é analisar os métodos e técnicas utilizados na revegetação de áreas de mineração de areia no Estado de São Paulo, bem como avaliar os resultados que vêm sendo obtidos. Adicionalmente, o trabalho pretende sugerir formas de aperfeiçoamento dos procedimentos de revegetação.

Os resultados da pesquisa, reunidos na dissertação, visam constituir-se numa contribuição para o aperfeiçoamento da prática atual de revegetação em minerações de areia, destacando-se a proposição de indicadores adequados para verificar-se a eficiência destas práticas.

1.1 Justificativa do tema em estudo

Considerando-se o perfil característico da mineração no território paulista, optou-se pelo estudo da revegetação das minerações de areia utilizada na construção civil.

Tal escolha foi motivada tendo-se em conta a relevância de algumas premissas:

- as minerações de areia representam uma parcela substancial e, juntamente com as pedreiras, dominam o universo dos empreendimentos paulistas;
- as técnicas de lavra utilizadas para areia acabam gerando áreas “pós-operação”, passíveis de serem recuperadas por meio de procedimentos envolvendo sua revegetação;
- há lacunas de caráter técnico ou mesmo de resistência cultural, por parte dos responsáveis pelas minerações de areia na implementação das ações de controle e melhoria do meio ambiente, inclusive aquelas dirigidas à revegetação das áreas;
- há um crescimento notório de territórios diretamente atingidos pela lavra de areia, nas regiões ou pólos representativos desta atividade, conforme o estudo realizado por Santo (2000) em Jacareí. Este fato é ainda agravado quando a localização das lavras envolve áreas de preservação permanente;
- conforme estudos de Bitar (1998), há casos de áreas degradadas resultantes de antigas lavras e que se encontram em estado de abandono. Vasconcelos (2000) aponta que na Bacia de Guarapiranga, por exemplo, após quatro anos de

acompanhamento de trinta e duas áreas mineradas, em apenas uma delas houve aplicação de medidas de recuperação, com revegetação, efetiva tornando-se um parque municipal. Em treze destas áreas, os processos de erosão, escorregamentos, assoreamento e interações físico-químicas no solo e na água estavam ativos e intensos, o que faz necessárias e urgentes medidas de recuperação envolvendo o controle de erosão, estabilização de taludes, sistemas de drenagem e, implantação de cobertura vegetal; em onze áreas, os processos de degradação encontravam-se estabilizados e houve crescimento espontâneo de alguma vegetação; já em outras três áreas estudadas foram atingidos estádios pioneiros a iniciais de regeneração vegetal, graças à proximidade de matas densas.

2 METODOLOGIA

A pesquisa está composta basicamente pelas etapas de compilação bibliográfica de textos técnicos pertinentes ao tema em estudo e trabalhos de campo, voltados ao estudo de casos de áreas revegetadas em minerações de areia.

Na primeira etapa foi realizada uma compilação das informações bibliográficas com abrangência sobre dois temas: (a) as técnicas utilizadas no processo de revegetação, incluindo os métodos utilizados no manejo do solo e o estudo das espécies vegetais mais apropriadas em cada situação, de acordo com as linhas de pesquisa e a visão predominante dos especialistas; e (b) formas de avaliação dos resultados dos programas de revegetação, levantando indicadores de desempenho ambiental capazes de verificar o sucesso de um plantio e, em particular, discriminando-se aqueles que podem ser aplicados à revegetação em minerações de areia. A avaliação das informações obtidas tratou de destacar méritos e limitações, bem como a aplicabilidade das técnicas normalmente utilizadas. Desta forma, acredita-se que tal análise poderá ser útil como uma referência na recuperação de áreas degradadas pela mineração de areia. Pretende-se apontar os avanços já logrados, organizando-os e colocando-os à disposição dos interessados no assunto. A meta é suprir lacunas de conhecimento fundamental sobre o tema, fato que ainda predomina nas práticas atuais de recuperação.

Na etapa de campo foram visitadas algumas minerações que vêm desenvolvendo projetos de revegetação, buscando-se fundamentalmente observar e avaliar as técnicas e procedimentos utilizados, seus méritos e deficiências sendo sua análise conduzida à luz dos conceitos citados na bibliografia. O critério para seleção dos casos foi a sua representatividade como minerações típicas de areia, considerando-se os métodos de extração mais usuais, nível de produção, e que apresentassem procedimentos efetivos quanto à aplicação de técnicas de revegetação. Assim, a metodologia adotada na pesquisa está concentrada no estudo de casos e não envolve tratamentos com generalização estatística, ou seja, sem a preocupação de se constituírem amostras no sentido estatístico. Contudo, as observações e constatações concernentes aos casos estudados são exemplos que fornecem informações sobre as

técnicas e procedimentos utilizados na revegetação, com validade como modelo de aplicação em outros empreendimentos similares de mineração de areia.

No roteiro de abordagem idealizado constam duas fases de observações de campo. Na primeira fase, realizou-se uma série de visitas, ainda em caráter de reconhecimento preliminar, para aplicação de uma lista de verificação (“check list”) sobre as condições básicas da operação dos empreendimentos e estado atual da revegetação. Na segunda fase, objetivou-se um estudo aprofundado dos procedimentos adotados pelas empresas, com identificação dos resultados positivos e das deficiências. Foram selecionadas duas áreas revegetadas correspondentes as duas minerações escolhidas como estudo de caso; nestas áreas realizou-se uma avaliação da revegetação implantada e o estado de seu desenvolvimento. A avaliação foi feita mediante a adoção dos seguintes indicadores de desempenho: **aspecto visual da vegetação, densidade de indivíduos, altura média de planta, número de espécies e mortalidade de mudas.**

A ordenação dos conceitos e fundamentos advindos das fontes bibliográficas correlatas, em conjunto com as experiências observadas nos estudos de caso, torna possível verificar-se quais os processos e métodos são mais convenientes para se conduzir a revegetação em áreas típicas de minerações de areia. As medições realizadas em campo fornecem uma avaliação quantitativa do estado da revegetação, constituindo, assim, uma medida da sua eficiência, segundo a função para a qual foi implantada. Finalmente, a metodologia da pesquisa pauta-se pela identificação de procedimentos praticados nos casos estudados e uma análise de seus resultados, cuja aplicabilidade mostre-se viável na solução dos possíveis problemas comuns às minerações de areia de maneira geral.

3 CARACTERÍSTICAS DA MINERAÇÃO DE AREIA PARA CONSTRUÇÃO CIVIL

3.1 Processo Produtivo

A areia é usada *in natura* na construção civil, razão pela qual geralmente é lavrada em locais próximos de áreas urbanas. No Estado de São Paulo podem ser destacados 9 pólos minerários situados nas regiões da Grande São Paulo, Vale do Paraíba e Alto Tietê, Vale do Ribeira e adjacências, Vale do Paraná, e no cinturões de Campinas, Sorocaba, Ribeirão Preto, Bauru e Botucatu (Figura 1).

Figura 1 – Pólos de mineração de areia no Estado de São Paulo. Fonte: IPT (2002).

Quanto ao processo produtivo caracterizam-se dois métodos principais de extração, de acordo com a situação dos depósitos:

- Lavra por **desmonte hidráulico** a céu aberto e;
- Lavra por **dragagem** em leitos submersos. De acordo com IPT (2002), estes métodos são descritos de maneira sucinta.

3.1.1 Desmorte hidráulico

O desmorte hidráulico é aplicado para extração de areia localizada em depósitos de planícies fluviais ou em encostas de morros contendo depósitos de areia formados a partir da alteração de rochas cristalinas. A lavra deste último tipo de depósito, costuma-se desenvolver nas encostas dos morros intemperizados, e dependendo da forma de avanço, podem inclusive aprofundar-se em cava. As cavas formadas são secas em praticamente toda sua extensão, com exceção dos locais específicos correspondentes às áreas de transferência de polpa. Esta característica determina a nomenclatura usual do método conhecido por desmorte hidráulico em cava seca.

Na maioria das minas deste tipo, faz-se necessário o decapeamento que consiste da remoção da camada de material estéril quando esta recobre o depósito mineral de interesse. Normalmente, esta camada contém uma subcamada superficial de solo orgânico acima de uma subcamada de solo argiloso.

A extração de areia se realiza por meio de um jato de água em alta pressão, levado através de mangueiras e direcionado por um monitor incidindo diretamente na base do talude da frente de lavra, provocando um desmoronamento controlado e a movimentação por gravidade, sendo acumulado num ponto de concentração da polpa assim formada. Em algumas minas, canaletas são construídas e dispostas para auxiliar o direcionamento da polpa. O desmorte na frente de lavra pode incluir um ou mais monitores e formar taludes irregulares de avanço com altura recomendada de 5 a 20m, embora seja possível encontrar casos de minas onde estes taludes atingem até 40 a 60m, o que não é recomendável do ponto de vista da segurança devido ao aumento da probabilidade de formação de superfícies côncavas e ao alto risco de deslizamentos de massa.

Elaboração: Amilton S. Almeida (IPT/2001)

Ilustração: Luiz A Ribeiro (IPT/2001)

Figura 2 – Lavra por desmonte hidráulico em cava seca ou encostas de morros. Fonte: IPT (2002)

Na base do talude, forma-se um ponto de convergência do material desmontado onde é colocado um sistema de bombeamento para transporte da polpa até os estágios operacionais subsequentes.

Tais estágios visam prioritariamente realizar separações do minério dos outros materiais, e geralmente utilizam cortes granulométricos eliminando tanto frações finas quanto frações grosseiras indesejáveis. Em casos mais simples, este procedimento inclui apenas um peneiramento grosseiro em peneira estática e a decantação em tanques para eliminação do material argiloso em um ou mais estágios, como ocorre na maioria das minerações de areia. As operações são em meio aquoso, através da conexão com sistemas de bombeamento de polpa.

Nas diversas etapas de classificação, a água contendo material mais fino de fração argilosa (rejeito) costuma ser conduzida para áreas de disposição usualmente chamadas de bacias de decantação nas quais sofrerá um processo de clarificação natural. Normalmente, a água clarificada destas bacias é reconduzida e reaproveitada em circuito fechado nas diversas operações de bombeamento necessárias ao ciclo produtivo. Com o passar do tempo, estas bacias de disposição vão secando gradativamente e formando superfícies secas aptas para serem revegetadas.

3.1.2 Dragagem hidráulica em leitos submersos

O termo dragagem é empregado de maneira ampla para qualquer tipo de mineração ou obra civil em que é retirado material sob um leito de água. Na dragagem de areia, o material encontra-se em camadas de sedimentos arenosos no fundo dos rios, lagoas, represas, cavas submersas, etc. Em geral, são depósitos com espessura variável desde poucos metros, podendo atingir dezenas de metros, e contendo material não consolidado, condição necessária para permitir a utilização do método de dragagem.

Elaboração: Amilton S. Almeida (IPT/2001)

Ilustração: Luiz A Ribeiro (IPT/2001)

Figura 3 – Lavra por dragagem em leito de rio ou cava submersa. Fonte: IPT (2002)

A dragagem hidráulica é caracterizada por um sistema de bombeamento que promove a sucção da polpa formada a partir da superfície de ataque do leito submerso. O ponto de sucção no fundo da água é atingido através de tubulação, em cujo interior a polpa é transportada. As possibilidades de operações subsequentes desta classe de minerações são similares às aquelas já comentadas para o desmonte hidráulico.

Casos mais simples correspondem às minerações de areia que realizam apenas um peneiramento grosseiro para separação da fração cascalho, e contam com algum dispositivo de decantação como uma caixa de lavagem onde ocorre a separação entre o material mais fino, constituído pela fração argilosa transportada com o excedente de água, e a areia média ou grossa que se deposita no fundo da caixa, sendo transferida para pilhas de estocagem ao ar livre ou silos de armazenamento, e posteriormente carregada diretamente em caminhões basculantes convencionais para transporte do produto final assim obtido. Quanto à polpa de rejeitos finos, a boa técnica recomenda que seja transferida para um local apropriado. No caso de pequenas minerações que dragam em leito de rio é recomendável a construção de uma caixa de alvenaria ou ferro construída em cavidade no solo visando a sedimentação natural destes rejeitos. Se o local utilizado para sedimentação for pequeno e não tiver sido projetado como definitivo para disposição destes resíduos, faz-se necessária a retirada periódica do material depositado por escavação mecânica a seco, e a sua disposição final em local previamente destinado para esta finalidade. Nas minerações que operam em cava submersa, os rejeitos podem ser transferidos para bacias de decantação que em geral correspondem às cavas já lavradas, ou ainda, para porções mais afastadas e já lavradas da própria cava em operação. Decorrido um certo tempo, há o clareamento da água, que eventualmente poderá ser reaproveitada em circuito fechado para alguma operação do processo, ou simplesmente reorientada para o rio ou para a cava da mineração.

3.2 Impactos da mineração de areia

Para os fins do presente trabalho serão citados os impactos relacionados com o desenvolvimento das espécies animais e vegetais do ambiente atingido pela atividade.

a) Impacto sobre as águas

Na operação de extração de areia, a água é o instrumento principal para a obtenção da areia. No processo de lavagem e peneiramento das areias são liberadas, como rejeitos, as frações finas, muitas vezes lançadas diretamente em corpos de água ou em cavas abandonadas e bacias de decantação a elas associadas, provocando a poluição das águas. O maior efeito impactante ocorre na elevação dos valores de turbidez, causando diminuição da luminosidade e prejudicando a biota do rio. Este impacto ocorre também, na dragagem de areia de leito de rio, com o agravante de não estar circunscrito à área de uma lagoa, afetando também as comunidades bentônicas, formas de vida habitantes do leito dos rios, em trechos variáveis, dependendo da sua vazão e das características dos sólidos em suspensão.

Se existirem focos de erosão ou má drenagem também haverá aumento da carga de sedimento nos cursos de água, causando seu assoreamento e favorecendo a ocorrência de inundações. Isto pode acontecer no caso em que os rejeitos e estéreis sejam depositados em pilhas de bota-fora e fiquem expostos principalmente aos efeitos das chuvas.

Por outro lado, os poluentes orgânicos provenientes de instalações sanitárias são nutrientes de microorganismos que os degradam e consomem oxigênio neste processo. Haverá, em consequência, uma diminuição da capacidade de autodepuração dos corpos de água.

b) Geração de resíduos sólidos

O resíduo ou rejeito que resulta da separação do material útil (areia), e das partículas indesejáveis, denomina-se “fino” e está constituído de argila, silte e areia muito fina. Como a separação deste rejeito é por via úmida, apresenta-se na forma de polpa composta de água e partículas finas em suspensão. Para promover a sedimentação, esta polpa é disposta em lagoas de decantação. Estas lagoas ocupam

grandes superfícies que posteriormente terão que ser recuperadas. Tal fato altera as qualidades do solo e o uso que este tenha ou possa ter. A geração de poeira, material particulado em suspensão também pode causar algum prejuízo ao desenvolvimento das espécies vegetais pela disposição de partículas na sua superfície.

c) Impactos sobre os ecossistemas

Quando há supressão da vegetação, os impactos mais significativos podem ser:

- Perda de biodiversidade. O desmatamento de áreas para implantação da mina e outras instalações como bacias de decantação, pátios de manobras, vias de circulação, e outros resulta na perda direta de inúmeras espécies vegetais e traz como consequência a perda de outras espécies vegetais ou animais que eram sustentadas pela vegetação que foi suprimida. Deve-se considerar que não somente haverá perda de determinado número de espécies, mas também da diversidade genética e de habitats.
- Perda ou fragmentação de habitats. A fauna é afetada pela perda de abrigo e fonte de alimentação. As espécies vegetais e animais menores que dependem de outras para viver também são afetadas, como exemplo, espécies parasitas que dependem de plantas superiores, comunidades de insetos que dependem do horizonte O como refúgio e alimento, microorganismos da superfície e interior do solo, etc. Por outro lado, na lavra por dragagem, o soterramento das comunidades bentônicas resulta no empobrecimento da população de peixes, de algumas aves e de outros animais que se utilizam deste meio.

3.4 Aspectos legais vigentes sobre RAD em minerações de areia

Como uma maneira de fazer frente aos efeitos de degradação que derivam da atividade de mineração e normatizar a atividade, serão citados os principais instrumentos legais que prevêm a conservação, preservação e mitigação e controle dos impactos advindos da exploração da areia.

A recuperação do ambiente degradado pela mineração em geral está prevista na Constituição Brasileira de 1988 (Artigo 225, capítulo 2º), o que já havia sido

mencionado na Política Nacional de Meio Ambiente (Lei 6938/81). O Decreto Nº 97.632/89 regulamentou a recuperação de áreas degradadas pela mineração.

A instalação, funcionamento e ampliação de empreendimentos que utilizem os recursos naturais e causem sua degradação, dependem do prévio licenciamento ambiental. Isso faz com que o licenciamento ambiental e a avaliação de impactos ambientais sejam instrumentos da Política Nacional de Meio Ambiente. Essa política preconiza que, quando do licenciamento ambiental, seja exigida a apresentação de Estudo de Impacto Ambiental e respectivo Relatório de Impacto Ambiental-EIA/RIMA. Como parte do licenciamento ambiental foram criadas as seguintes licenças: Prévia, de Instalação e de Operação, para as diferentes fases do licenciamento. O licenciamento ambiental de empreendimentos que envolvem a extração mineral foi especificado através das Resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA Nºs 09 e 10 /90, que editam normas específicas para esse fim. Os critérios básicos e diretrizes gerais para a apresentação de EIA/RIMA são estabelecidos na Resolução CONAMA 01/86.

A Secretaria de Meio Ambiente SMA do Estado de São Paulo elaborou normas complementares, a Resolução 42/96 disciplina o licenciamento ambiental dos empreendimentos de extração de areia na bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, estabelecendo procedimentos operacionais e medidas para a recuperação das áreas degradadas. As Resoluções 03 e 04/99 dispõem sobre os procedimentos para o licenciamento ambiental integrado das atividades minerárias no estado. A Resolução 28/99 dispõe sobre o zoneamento ambiental para mineração de areia no subtrecho da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul inserido nos municípios de Jacarei, São José dos Campos, Caçapava, Taubaté, Tremembé e Pindamonhangaba. Neste documento se especificam as áreas de proteção, de mineração de areia, de recuperação e de proteção da várzea, tentando resguardar os ecossistemas e a vegetação remanescente.

No que se refere ao controle de poluição e preservação do meio ambiente na lavra, as normas Cetesb D7.010/90 e D7.011/90, estabelecem os procedimentos que devem ser adotados na extração em cava submersa e por desmonte hidráulico, respectivamente.

A Resolução SMA 21/01, embora não utilizada por ter sido emitida *a posteriori* da concepção do trabalho, está relacionada com as determinações da Resolução 42/96, ampliando as disposições e medidas da RAD para o âmbito de todo o Estado de São Paulo, e inserindo modificações como as que se referem ao incremento de espécies a serem utilizadas para a revegetação de APP e também quanto a procedência mais restrita das sementes que serão utilizadas na produção das mudas.

4 A REVEGETAÇÃO NA MINERAÇÃO

Este capítulo reúne fundamentos das técnicas e procedimentos de revegetação aplicáveis à mineração de areia. São aqui, também, compiladas as recomendações mais usuais para o restabelecimento da vegetação em áreas mineradas.

4.1 Conceitos Relevantes

A degradação ambiental pode ser conceituada como qualquer alteração adversa dos processos, funções ou componentes ambientais, ou como uma alteração adversa da qualidade ambiental (Sánchez, 2000). Muitos tipos de atividades podem ser geradores de degradação ambiental. Entre eles encontra-se a mineração, particularmente na situação em que o processo produtivo implica na supressão da vegetação, fato que dá lugar à intensificação de processos de degradação envolvendo erosão, assoreamentos ou escorregamentos. A camada fértil de solo pode ser removida e estocada para posterior reutilização, embora sua fertilidade seja diminuída neste processo. Com relação à qualidade e ao regime de vazão do sistema hídrico, estes também são normalmente alterados e comprometidos pelas operações de lavra e beneficiamento.

Quanto à degradação do solo, Sánchez (2000) aponta três aspectos relevantes. Do ponto de vista físico, a degradação pode-se dar por perda de material que constitui o solo, por perda de material alóctone ou por alteração da sua estrutura. A degradação biológica ocorre quando as condições para a manutenção de vida no solo não são satisfatórias para os organismos vivos visíveis e não visíveis a olho nu. A degradação química ocorre quando há presença de substâncias químicas que podem ser danosas à biota. Em decorrência destes conceitos o autor sugere os termos: estabilidade física, estabilidade biológica e estabilidade química, como as metas a atingir mediante a recuperação de áreas degradadas, caso aconteçam aqueles aspectos de degradação.

A norma NBR 10703 (ABNT, 1989) se refere à degradação do solo como a “alteração adversa das características de solo em relação aos seu diversos usos possíveis, tanto os estabelecidos em planejamento quanto aqueles considerados

potenciais”. De modo geral, um ambiente degradado fica comprometido na sua capacidade de regeneração e impossibilitado de exercer funções satisfatórias enquanto não alterar essa condição. Faz-se necessário então, modificar os fatores que levaram a essa condição, sendo este um preceito básico da recuperação do ambiente considerado.

Para maior compreensão do aspecto de reversibilidade da degradação é conveniente introduzir o conceito de **resiliência** como o potencial ou a capacidade de regeneração de um ecossistema após uma degradação. A intensidade e longevidade das perturbações vão determinar a resiliência do ecossistema. Caso a degradação não tenha sido muito intensa, a recuperação do ecossistema pode acontecer para retornar a seu estado inicial. Em níveis mais intensos de degradação, no entanto, alguns limites poderiam ter sido ultrapassados impedindo o retorno natural do ecossistema à condição inicial. Neste caso, é necessária, uma intervenção antrópica para que sejam superados impedimentos existentes à recuperação natural do ecossistema, possibilitando o retorno da área a algum estado estável permanente.

A recuperação de ecossistemas degradados é uma atividade muito antiga, podendo-se encontrar exemplos de sua existência na história de diferentes povos épocas e regiões. Contudo, somente nestes quinze anos mais recentes, o acúmulo significativo de conhecimentos sobre os processos envolvidos na dinâmica de formações naturais, tem conduzido a uma significativa mudança na orientação dos programas de recuperação. Tais programas deixam de ser mera aplicação de práticas agronômicas ou silviculturais de plantios de espécies perenes, objetivando apenas a re-introdução de espécies arbóreas numa dada área, para assumir a difícil tarefa da reconstrução das complexas interações com a comunidade, respeitando suas características intrínsecas, e de maneira a garantir a perpetuação e a evolução da comunidade no espaço e tempo. (Rodrigues & Gandolfi, 2000). A restituição das funções de uma área revegetada torna-se tão importante quanto a sua reintegração na paisagem. Assim, a recuperação de áreas degradadas tem adquirido o caráter de uma nova área de conhecimento, denominada restauração ecológica, que tem como objeto os aspectos teóricos e práticos relacionados com a recuperação e o funcionamento da

integridade ecológica de ecossistemas dentro de uma abordagem holística, envolvendo inclusive os aspectos sociais e econômicos (Rodrigues *et al*, 2000).

A Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas (SOBRADE) escolheu os termos recuperar e restaurar como os melhores para identificar e conceituar o assunto de recuperação de área degradada. Segundo Balensiefer (1998) recuperar significa retornar a área degradada às suas formas de utilização, mediante um plano definido para o uso do solo. Este conceito é semelhante àquele proposto por Williams *et al* (1991) para recuperação de áreas degradadas pela mineração.

A nomenclatura recomendada por Rodrigues e Gandolfi (2000) sugere termos de acordo com os objetivos de uma dada recuperação. Assim, **restauração “*sensu stricto*”** significaria um retorno completo do ecossistema degradado às condições ambientais originais ou preexistentes, englobando os aspectos bióticos e abióticos. Como esta possibilidade é extremamente remota (particularmente na mineração) só se aplica a situações onde a degradação do ecossistema é muito superficial, e a adoção de práticas simplificadas de proteção possibilita o retorno da área às condições anteriores à degradação. Neste caso, a **restauração “*sensu stricto*”** é definida como regeneração natural. A **restauração “*sensu lato*”** se aplicaria a um ecossistema que foi submetido a uma perturbação não muito intensa e que ainda mantém a sua capacidade de se recuperar dos efeitos negativos resultantes da degradação. Entretanto, neste caso, o ecossistema não mais retornaria exatamente à condição original ou preexistente, mas sim a algum “estado estável alternativo” ou “intermediário”. Na **reabilitação** também haveria o retorno do ecossistema degradado a algum “estado estável alternativo”, todavia, este retorno só seria possível por meio de uma forte intervenção antrópica, sem a qual o ecossistema se manteria numa condição de degradação irreversível. Os mesmos autores introduzem o termo **redefinição** ou **redesignação** como a conversão de um ecossistema degradado (ou mesmo não degradado) num ecossistema com destinação ou uso distinto do ecossistema original ou pré-existente. Citam, como exemplo, a transformação de uma área degradada num reservatório hídrico. Dada a natureza recente dos estudos nesta área, constata-se a ausência de consenso quanto ao significado dos termos utilizados nas atividades de recuperação de áreas mineradas.

Munshower (1994) usa o termo **restauração** para se referir ao retorno da área degradada para às mesmas condições ecológicas antes da perturbação **recuperação** como um termo que se refere à manipulação da topografia e do solo, bem como das condições adequadas para o crescimento das plantas depois da perturbação, de tal maneira a permitir que a área degradada tenha uma função positiva no ecossistema em que estava, e da qual forma parte. O termo **reabilitação** é usado pelo autor como sinônimo de recuperação. Já o termo **revegetação** é empregado de maneira restrita para a fase de implantação da vegetação na recuperação da área degradada, e **reflorestamento**, quando na implantação vegetal se utiliza espécies exclusivamente arbóreas.

Uma listagem de autores que conceituam o termo reabilitação é apresentada por Bitar (1998), todos concordando em que o solo minerado deverá ter necessariamente um novo uso, e afirmando que a recuperação, na perspectiva do desenvolvimento sustentável, tem como primeiro objetivo a estabilidade ou equilíbrio da área em relação ao meio circunvizinho, e segundo, a definição de um novo uso do solo.

Quanto ao termo restauração, parece existir um consenso do seu significado como a recriação das condições existentes antes do uso da área, da topografia original e o restabelecimento do uso prévio do solo.

Em suma, uma interpretação razoável para o termo recuperação englobaria qualquer tratamento, que não seja restauração, incluindo as formas usuais de tratamento das áreas (no caso da extração mineral). Assim sendo, regeneração, reflorestamento, revegetação estariam todas, de certa maneira, incluídas nesta categoria.

Outros termos empregados nas atividades de mineração, são: “**após tratamento**”, referido a qualquer processo dirigido ao “após uso” ou redesenvolvimento da terra; e **reconstituição**, quando o “após tratamento” envolve preenchimento da cava e o terreno resultante está reconstituído. No entanto, estes termos têm origem e encontram maior utilização nos países anglo-saxônicos, sendo pouco difundidos no Brasil.

No presente trabalho serão adotados os termos definidos por Sánchez (2000) que usa o termo **recuperação** para designar o processo genérico de melhoria das condições ambientais de uma área, seja ele espontâneo ou induzido pelo homem. O termo **reabilitação** será usado para indicar o processo planejado de tornar uma área degradada apta para um novo uso. **Regeneração** será definida como o processo natural de adaptação a uma perturbação externa que conduz a um novo equilíbrio com a região do entorno. **Recuperação** e **reabilitação** serão entendidos de forma complementar para o resultado da aplicação de técnicas de manejo, visando tornar uma área degradada apta para um uso produtivo sob os pontos de vista econômico, ecológico e social. O conceito de produtivo não se restringe à acepção econômica do termo, mas engloba sua acepção ecológica.

No caso das minerações de areia, a recuperação das áreas degradadas se defrontaria com duas classes de recuperação: a recuperação das áreas de mata ciliar que, segundo a legislação brasileira, são “áreas de preservação permanente” e devem ser revegetadas exclusivamente com espécies nativas visando reaver as funções da mata ciliar e o equilíbrio ecológico da zona. Outras áreas a serem recuperadas como margens de cavas, bacias de disposição de rejeitos, antigos pátios e oficinas podem ter seu uso redefinido quando da implantação de um projeto de recuperação.

4.2 Procedimentos de recuperação

Segundo Griffith (1995), a prática de recuperação ambiental passa pela implementação de uma série de medidas, que levam a soluções específicas para cada situação resultante da atividade mineradora, e deve ser norteada por quatro princípios. O primeiro refere-se à visualização ideal da recuperação como meta, a qual evita que se adotem meias medidas ou medidas que a princípio parecem econômicas, mas que a longo prazo se mostram dispendiosas por serem ineficazes. O segundo princípio aponta que as práticas ideais de recuperação requerem sinergia humana, ou seja, um esforço grupal, interdisciplinar. Seria difícil encontrar uma única pessoa que possuísse as respostas para todas os problemas associados. O terceiro princípio indica que, colocar em prática soluções ideais requer o planejamento de mudanças sistemáticas, ou seja, seguir uma seqüência lógica de

planejamento. A equipe ambiental necessita entender os princípios básicos de recuperação e pesquisar as melhores técnicas disponíveis neste campo, assim como resumir as práticas já em uso pelos empreendimentos minerários. A partir daí, comparando-se a situação real com os conceitos e modelos ideais, a equipe estabelece um plano operacional para a redefinição do programa de recuperação. O quarto princípio aponta que a prática leva à percepção. Uma vez em execução o plano de recuperação, a equipe ambiental deverá avaliar e aperfeiçoar as práticas escolhidas. É preciso reavaliar sistematicamente, e lançar um olhar crítico sobre o que está sendo feito, de forma a minimizar o risco de ocorrência de falhas ou mesmo fracasso do programa colocado em prática. Caso isto venha a acontecer, faz-se necessária uma análise criteriosa dos aspectos operacionais e dos aspectos humanos envolvidos, revisando-se a experiência como um todo.

Um programa de recuperação pode ser planejado segundo diferentes conceitos e com etapas distintas, mas sempre deve haver uma fase de avaliação das condições atuais da área degradada, tal como manifestam Rodrigues e Gandolfi (2000). A avaliação é uma das principais fases dentro de um programa, pois somente a partir de um profundo conhecimento dos fatores de degradação e das características da área degradada propriamente dita, é que poderão ser identificadas as dificuldades e definidas as estratégias a serem empregadas para a recuperação da área. O conjunto das informações recolhidas nesta fase deve ser suficiente para avaliar se os objetivos pretendidos com a recuperação poderão ser alcançados em todas as situações, permitindo a escolha do tipo de recuperação pretendida para cada situação de degradação da área em questão.

Apesar de muitos aspectos variarem conforme a área, existe uma sequência lógica, comum para o planejamento da maioria das ações de recuperação. Sánchez (2000) afirma que o planejamento e o estabelecimento do objetivo final são os aspectos que norteiam as ações de recuperação. O autor aponta que um projeto de recuperação envolve normalmente os seguintes elementos:

- a) definição dos objetivos de recuperação e do(s) uso(s) futuro(s) possíveis ou desejáveis da área;

- b) uma reconstituição do histórico de degradação da área, incluindo, se possível, informações sobre a degradação já havida antes da instalação da mina;
- c) diagnóstico ambiental das áreas degradadas e do seu entorno;
- d) estudo de alternativas de recuperação, de acordo com as alternativas de lavra;
- e) descrição das técnicas e procedimentos a serem empregados nos trabalhos de recuperação;
- f) cronograma desses trabalhos;
- g) discussão sobre as lacunas de conhecimento ou de informação (sobre diagnóstico ambiental, sobre a viabilidade das técnicas de recuperação, etc.); e
- h) plano de monitoramento ambiental.

De maneira geral, um plano de recuperação tem que considerar basicamente um planejamento prévio, a mitigação dos impactos causados, e o uso futuro da área. As atividades de recuperação devem ser concomitantes à lavra, evitando possíveis perdas de solo e aproveitando qualquer material genético coletado na retirada de vegetação.

Pode-se sugerir que, a seqüência básica de um plano de recuperação, envolvendo revegetação, para uma área degradada pela lavra de areia, contenha os seguintes elementos:

- a) planejamento;
- b) objetivos da recuperação;
- c) decapeamento e armazenagem do solo orgânico;
- d) práticas de caráter hídrico;
- e) práticas de caráter topográfico;
- f) práticas de caráter edáfico;
- g) reposição de solo orgânico;
- h) preparo do local para o plantio;
- i) práticas de caráter vegetativo e;
- j) plano de manutenção e monitoramento ambiental.

4.3 A revegetação como instrumento de RAD

Embora o termo **revegetação** não conste nos dicionários mais destacados (Aurélio e Michaelis), pode-se conceber uma associação entre: o termo vegetação que, segundo estas mesmas referências, é o conjunto de plantas que cobre uma área ou região; e o prefixo “re” no sentido de repetição. Assim, o termo “revegetação” tem a conotação de um novo desenvolvimento das plantas, da ação de tornar a fazer crescer plantas em determinada área, da implantação de vegetação numa área preparada para tal fim.

A revegetação compreende assim o plantio de qualquer espécie vegetal com o propósito de dar a uma paisagem um aspecto característico, enquanto o reflorestamento é entendido como a atividade dedicada a recompor a vegetação de uma área mediante o estabelecimento de uma cobertura vegetal especificamente arbórea, utilizando espécies nativas ou exóticas. Ambas as atividades conferem vantagens quando são implantadas, mas no presente trabalho utilizar-se-á o termo revegetação apenas por ser mais abrangente.

Uma vez concluídas as atividades de mineração, o primeiro objetivo da recuperação é contribuir para a estabilidade física do terreno. Na mineração de areia, tal estabilidade pode ser conseguida por métodos físicos, também denominados mecânicos, que consistem basicamente no aterramento de depósitos e barragens com materiais de empréstimo disponíveis nas áreas próximas. Este método não propicia uma redução do impacto visual, seu efeito não é permanente, e é mais utilizado durante as fases antecedentes à fixação da vegetação no solo.

Complementando as ações de estabilização, o passo seguinte é a revegetação, com o conseqüente desenvolvimento das plantas e a fixação das suas raízes. Do ponto de vista ambiental, Lyle (1987) descreve uma das vantagens mais importantes da revegetação: trata-se da prevenção ou redução da erosão do solo proporcionando uma cobertura que intercepta a chuva e impede o deslocamento das partículas de solo, bem como a destruição da sua estrutura. As raízes das plantas mantêm as partículas do solo unidas, e previnem que a água carregue o solo para níveis mais baixos do terreno. As raízes superficiais diminuem a velocidade de escoamento ao

longo da superfície do solo e possibilitam que maior quantidade de água que se movimenta no solo seja aproveitada pelas plantas.

Outra vantagem da cobertura vegetal está relacionada com sua capacidade de absorver elementos em solução na água do solo, e os que se encontram adsorvidos à superfície das partículas coloidais de argila e de húmus. Assim, os nutrientes em solução não são perdidos por percolação. Quando acontece um processo erosivo Walling (1988) *apud* Lima (1993) afirma que existe uma remoção seletiva ou preferencial das partículas finas do solo, sendo que os nutrientes, como o fósforo, alumínio, ferro, manganês e potássio, são perdidos de forma associada ao transporte de sedimentos. Com a implantação da cobertura vegetal ocorre um controle adequado dos processos de escoamento superficial, erosão e ciclagem de nutrientes, contribuindo, dessa forma, para a melhoria da qualidade da água gerada pela bacia.

A matéria orgânica que a vegetação fornece ao solo cria as condições necessárias para o desenvolvimento da fauna do solo e contribui para a retenção de água da chuva. A decomposição da matéria orgânica forma o húmus o qual, mediante o processo de mineralização, libera alguns nutrientes que podem ser aproveitados novamente, pelas plantas. A geração de matéria orgânica resulta, também, na melhoria simultânea das propriedades físicas do solo tais como estrutura, capacidade de armazenamento de água, infiltração, aeração, etc.

Outros aspectos positivos da revegetação também são apontados por Lyle (1987), como seu menor custo e maior eficiência em comparação a outras formas de estabilização, dado seu efeito contínuo e ação efetiva a longo prazo. Também aponta que a revegetação é uma prática que favorece novo uso econômico do solo em áreas que não sejam de preservação permanente, e resulta com aspecto mais agradável do ponto de vista estético. A revegetação de áreas de preservação permanente (APPs), mais especificamente das matas ciliares, visa garantir o restabelecimento da biodiversidade, das relações ecológicas e da vida silvestre, e evitar a poluição dos corpos d'água.

A título ilustrativo, comenta-se um experimento realizado por Lima (1993). Durante um período de quatro anos consecutivos foram medidos, em microparcels coletoras de 1/10 de hectare cada, o escoamento superficial, a erosão e as perdas de nutrientes em região de solos arenosos de São Paulo. Uma das parcelas coletoras foi

mantida como testemunha sem vegetação, durante todo o período experimental, enquanto as demais foram reflorestadas com *Eucalyptus grandis*, proporcionando-se tratamentos diferenciados em relação ao preparo do solo, ao espaçamento e aos tratos silviculturais. No início do período experimental, todas as microparcels foram submetidas às operações de preparo de solo, seguidas de plantio nas parcelas que foram reflorestadas. Os resultados médios desse primeiro ano mostraram um alto valor do escoamento superficial e da taxa de erosão para todas as parcelas (Figura 4). Todavia, à medida que as árvores cresciam, tanto o escoamento superficial quanto a erosão diminuíram sensivelmente nas parcelas reflorestadas, comparativamente à parcela testemunha. As perdas de nutrientes se relacionaram com as taxas de escoamento superficial e também diminuíram com o desenvolvimento da plantação (Figura 5). O autor concluiu que as plantações de eucalipto, nas condições do experimento, podem apresentar um significativo controle, tanto do escoamento superficial, quanto das perdas de solo e de nutrientes da área. É razoável admitir que qualquer tipo de vegetação atua gerando tais vantagens no solo. Se o eucalipto é capaz de realizar tais feitos, pode-se esperar resultados iguais ou melhores com outras espécies vegetais.

Figura 4 - Escoamento superficial médio anual, com o valor percentual da precipitação incidente (A), e perda anual de solo em t.ha⁻¹ (B). A parcela 4 foi mantida sem vegetação durante todo o período experimental, como testemunha. As outras parcelas foram plantadas em 1983 com o *Eucalyptus grandis*. Fonte: Lima (1993).

Figura 5 - Entrada de nutrientes pelas chuvas (C) e perdas pelo escoamento superficial na parcela testemunha (P4) e nas parcelas reflorestadas com o *E. grandis* em 1983 (P1, P2, P3 e P5). *Fonte:* Lima (1993).

Lima (1993) manifesta que a interação a longo prazo das espécies vegetais com o solo pode conferir diferentes efeitos sobre a recuperação das condições originais do solo, uma vez que as espécies diferem quanto à dinâmica do sistema

radicular, às características da serrapilheira, às atividades biológicas do solo, à interceptação de luz etc.. Todavia, o efeito conjugado desses fatores culmina com a melhoria das condições gerais do solo e não o contrário, qualquer que seja a espécie.

Dentro de um programa de recuperação de áreas degradadas, a revegetação é um dos procedimentos mais utilizados para se atingir seus objetivos. Em princípio, terá que se definir qual será o uso futuro da área em questão, pois esta é a chave para orientar o manejo, visando estabelecer determinado nível de recuperação. Deverá ser conduzida uma avaliação das condições do terreno quanto ao nível de degradação, e das ações prévias necessárias para tornar apto o crescimento das plantas. Opções como reflorestamento com finalidade comercial, agricultura, pastagem, recreação, etc. deverão ser planejadas e tratadas de maneira diferenciada.

4.4 Aspectos importantes da revegetação

Com o objetivo de proteger o solo da erosão, proveniente tanto da água como do vento, o estabelecimento de cobertura vegetal é o princípio fundamental. Contudo, a fixação efetiva das plantas só terá o sucesso desejado quando forem criadas todas as condições necessárias ao seu desenvolvimento, e sejam tomadas certas medidas preventivas para evitar a perda do solo, enquanto a vegetação não atinja o tamanho conveniente para promover a devida estabilidade.

A revegetação dentro do conceito de recuperação de áreas degradadas (RAD) moderno não é uma simples atividade de lavoura (Munshower, 1994). Embora os primeiros esforços de recuperação das áreas degradadas tenham se desenvolvido a partir de práticas agronômicas convencionais e sejam, ainda, influenciadas por elas, a revegetação tem progredido além das práticas de lavoura. O autor esclarece que, hoje em dia, as técnicas de revegetação estão fortemente influenciadas por processos como nivelção do terreno, aplicação do solo superficial, manipulação correta da superfície e o plantio de espécies vegetais selecionadas.

Pode-se afirmar que as atividades de reconfiguração do terreno, assim como as práticas agrícolas padrões e outras adaptadas, são todas partes integrantes de um programa de revegetação atual. No caso específico da mineração, esta atividade exige movimentação de terras, as áreas do terreno precisam de arranjos topográficos

para atenuar processos erosivos, envolvendo a construção e a estabilização dos taludes (inclinações superficiais apropriadas). É fundamental, também, a construção de canais para o direcionamento da água de chuva e das nascentes, de forma a reduzir seus efeitos erosivos. Um segundo aspecto a ser estudado é a recuperação do solo, onde as plantas se fixarão. Este material deverão oferecer o meio apropriado à oferta de nutrientes, água e oxigênio, todos eles, fundamentais para o desenvolvimento das raízes e da parte aérea da vegetação. O terceiro aspecto deve abordar a revegetação propriamente dita.

A atividade de revegetação nas áreas mineradas envolve as práticas de caráter geotécnico (hídrico e topográfico), as práticas de caráter edáfico (manejo da camada fértil do solo e outras camadas), e as práticas de caráter vegetativo (seleção de espécies, plantio e manejo). Nos próximos itens tentar-se-á estabelecer uma melhor compreensão sobre todas as fases que envolvem este processo.

4.4.1 Práticas de caráter geotécnico

Os trabalhos precedentes de recuperação do meio físico desempenham papel primordial para dar sustentação à atividade de revegetação, e não devem ser negligenciados. Estruturas geradas pela mineração, como cavas e áreas de disposição, no caso de mineração de areia, precisam de um trabalho de estabilização para evitar processos erosivos e de escorregamentos em consequência das chuvas. Com isto também se evita a lavagem do solo reutilizado e o aumento da mortalidade das mudas já plantadas.

Para que sejam proporcionadas as condições de estabilidade do meio físico é necessário uma análise dos condicionantes geológico-geotécnicos (Silva, 2000). A estabilização da área é condição básica para que a prática de revegetação prospere, já que um aspecto não é independente do outro.

Uma sequência de atividades específicas compõe as práticas voltadas à estabilização geotécnica.

a) Controle da erosão

Erosão é o processo de desprendimento e arraste acelerado das partículas de solo causado pela água e pelo vento. A erosão do solo constitui a principal causa de depauperamento acelerado das terras. As enxurradas provenientes das águas de chuva que não ficarem retidas sobre a superfície, ou não se infiltrarem, transportam partículas de solo em suspensão e elementos em solução. Outras vezes, esse transporte de partículas de solo se verifica, também, por ação do vento.

Nas minerações de areia, não há nenhuma possibilidade de recuperar a paisagem sem antes controlar os taludes e a água e, para tanto, deve ser construída uma rede de drenagem contornando vias de acesso e áreas periféricas do empreendimento com a finalidade de retenção dos sólidos (Williams, 1991). O controle e direcionamento das drenagens deve ser feito por intermédio de canaletas e redutores de velocidade.

Quando o método de extração de areia é por desmonte hidráulico, o resíduo normalmente argiloso é lançado em uma bacia de decantação ou, de maneira imprópria, em cursos d'água próximos da exploração, gerando uma carga poluente sólida muito grande, com impactos deletérios sobre o meio ambiente. Na maioria das vezes, além do assoreamento dos cursos d'água, esse material argiloso apresenta atividade físico-química suficiente para promover alterações pela retenção de elementos químicos presentes em solução ou por mudanças na cor da água, fatores que afetam toda a cadeia trófica existente nesses meios. Complementarmente o próprio controle da erosão atua também como controle da sedimentação.

b) Estabilização de taludes

A correta construção de taludes, até obter sua estabilização, é tarefa inerente à atividade minerária. Segundo Silva (2000), existe uma sequência de trabalhos de natureza geotécnica, necessários à recuperação:

- estudos de investigação;
- concepção e elaboração do projeto;
- execução do projeto; e
- manutenção e operação das obras.

O objetivo destes trabalhos é evitar que as estruturas construtivas, decorrentes da atividade minerária, sofram a ação de agentes geradores de instabilidade. Dentre eles os parâmetros geométricos (inclinação e altura) e os agentes ambientais (climáticos) poderiam ser citados como os principais. Como recomendação geral os taludes de cavas não estabilizados e localizados às margens de um rio deverão, por exemplo, ser corrigidos de forma a apresentar uma declividade máxima de 1: 1,5.

Para Williams (1991), os taludes deverão ser trabalhados com um grau de declividade capaz de manter a estabilidade do terreno e facilitar a posterior revegetação. Os depósitos de estéril e rejeito ficarão estabilizados mediante uma disposição controlada. Numa mineração que realiza um planejamento adequado, estas atividades normalmente estão incluídas no próprio projeto de lavra e são conduzidas simultaneamente ao seu desenvolvimento, contudo, esta ainda não é a situação em grande parte das minerações de areia para construção.

c) Alterações na topografia

A grande movimentação de terra realizada nas minerações altera profundamente o terreno, de tal maneira que se faz necessária uma recomposição topográfica. Às vezes a construção de canais de drenagem e o retaludamento não são procedimentos suficientes para controlar o risco de erosão.

Dentro de um programa de RAD, segundo afirma Toy (1998), a reconstrução topográfica é uma parte crítica, pois a nova conformação será a base na qual se dará a sequência à recuperação, e o novo uso será executado. Para este autor, os objetivos da reconstrução topográfica incluem a criação de plataformas estáveis no terreno, o manejo da água, o controle da erosão, a necessidade de manutenção mínima da área, entre outros. Para atingi-los, deve-se levar em consideração três elementos da paisagem: as vertentes ou declives, as planícies e as bacias de drenagem.

Os princípios básicos para a reconstrução de vertentes, segundo este autor são: as vertentes recuperadas devem ser de pequena dimensão e tão suaves em inclinação quanto for possível; os perfis côncavos são preferíveis aos planos e convexos e, caso existirem topos de morro, deixá-los com forma achatada é o mais aconselhável. Os princípios gerais para a reconstrução dos canais de escoamento são:

os canais projetados devem ter capacidade de transportar a água e os sedimentos sem provocar erosão ou deposição de materiais, ainda que em condições de alta pluviosidade; a inclinação dos canais deve seguir curvas côncavas de corte suave sem mudanças bruscas ao longo do seu curso ou nas confluências com os córregos naturais. Os princípios básicos para a reconstrução de bacias hidrográficas incluem as premissas de que as bacias reconstruídas devem ser pequenas em área e tão suaves em relevo quanto seja possível.

O relevo final previsto, também, deverá inserir a área dentro dos objetivos de uso pretendidos, assim como prover uma base adequada para o crescimento da vegetação. A figura 3 apresenta a inclinação recomendada para diversos usos finais de solo segundo Williamson et al (1982) *apud* IBAMA (1990).

Figura 6 - Inclinação recomendada para diversos usos finais do solo, segundo Williamson *et al* (1982) *apud* IBAMA (1990).

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1985), outras ferramentas que podem contribuir para esses objetivos, caso se tenha planejado revegetação posterior com espécies predeterminadas, são :

- plantio em contorno: consiste em dispor as fileiras de plantas no sentido transversal à pendente, em curvas de nível. Em áreas cultivadas, cada fileira de plantas, assim como os pequenos sulcos e leiras (pequena elevação de terras entre dois sulcos) que as máquinas de preparo e cultivo do solo deixam na superfície do terreno, constituem um obstáculo que se opõe ao percurso livre de enxurrada, diminuindo sua velocidade e capacidade de arraste. Em caso do estabelecimento de plantas perenes, o autor denomina o método como cordões de vegetação permanente.
- terraceamento: a palavra terraço é usada para significar camalhão ou a combinação de camalhão e canal, construído em corte da linha de maior declive do terreno. O terraceamento é sempre combinado com o plantio em contorno e é recomendado onde outras práticas não proporcionam o necessário controle da erosão. Como a construção de terraços tem um custo muito alto, é uma prática que pode apresentar restrições de caráter financeiro à recuperação, embora deva ser citado como o método mais efetivo para reduzir perdas de solo e prevenir a formação de sulcos e ravinas. Outra vantagem é o fato de reter mais água no terreno em regiões onde há baixa precipitação.

4.4.2 Práticas de caráter edáfico

As práticas de caráter edáfico visam criar as condições necessárias ao desenvolvimento das plantas no solo. Embora na atividade de mineração a retirada de solo orgânico e seu uso seja uma prática comum, existem muitos fatores que podem ajudar na preservação deste solo e que ainda não são postos em prática. Por outro lado, muitas vezes se faz necessário o acondicionamento de um substrato para a sua utilização como meio de crescimento das plantas para suprir a falta do solo. Neste caso, o interesse primordial de qualquer estratégia de RAD é interferir em um ou mais fatores de formação de solo e acelerar sua gênese. Por este motivo, tal como assevera Sánchez (2000), a recuperação do solo, como substrato da vegetação, é um

dos aspectos mais importantes da recuperação de áreas degradadas, tanto assim, que é entendido por muitos como o próprio objetivo da atividade.

4.4.2.1 O solo e suas características

O termo solo pode ter muitos significados e aceções dependendo da atividade ou finalidade de uso. Do ponto de vista agrônomo, solo pode ser definido como a massa natural que compõe a superfície da terra, proporcionando suporte ao crescimento das plantas. Tal fato acontece face às características físico-químicas e biológicas únicas deste material. O solo é composto por partículas de rochas em diferentes estágios de desagregação, água, substâncias químicas em solução, ar, organismos vivos e matéria orgânica em distintas fases de decomposição.

Os componentes inorgânicos ou minerais constituem a parte principal da fração sólida da grande maioria dos solos, e incluem fragmentos ou partículas de formas e dimensões variáveis, desde pedras e cascalho até materiais tão finos que apresentam propriedades coloidais. A matéria orgânica do solo é constituída por restos de plantas e animais em estado mais ou menos avançado de alteração (devida principalmente à atividade de microorganismos), incluindo substâncias no estado coloidal. A matéria orgânica é habitada por grande número de microorganismos em atividade. A água e o ar do solo ocupam os espaços intersticiais existentes entre as partículas terrosas e entre os agregados das partículas.

A partir de um corte vertical no solo, observa-se que a proporção dos componentes varia de acordo com a profundidade. Distingue-se uma série de camadas ou porções de solo denominadas horizontes que variam em cor, textura e estrutura. O conjunto de horizontes observados num corte vertical constitui o perfil do solo. Um perfil hipotético (Figura 7) contém os horizontes normalmente encontrados nos solos e que, convencionalmente, são identificados pelas letras **O**, **A**, **B** e **C**, com suas respectivas subdivisões. O horizonte **O**, denominado orgânico, é constituído pelas folhas e galhos que caem das árvores e seus produtos em decomposição, é a chamada serrapilheira presente somente em locais com muita vegetação de porte arbóreo.

O horizonte **A** é a camada mineral mais próxima da superfície e tem conteúdo relativamente alto de matéria orgânica mais ou menos humificada. Esta fração orgânica deriva dos resíduos vegetais ou animais depositados na superfície do solo e dos resíduos deixados dentro do próprio horizonte (raízes, restos de fauna, etc.). As partículas orgânicas conferem a este horizonte uma cor tão ou mais escura que os horizontes inferiores. A maior presença de água e oxigênio facilita, nesta porção, o crescimento de raízes e da própria atividade microbiana. O horizonte **B** é definido como aquele que apresenta máximo desenvolvimento de cor, estrutura e, via de regra, possui materiais translocados do horizonte A. O horizonte **C** denominado regolito, é uma zona de transição com características mais próximas à da rocha do qual o solo se originou, podendo conservar parte das estruturas geológicas da rocha.

Figura 7 – Perfil hipotético do solo. *Fonte:* adaptado de Lepsch (1976)

Segundo Vargas (1977), o solo acima citado, com a presença de todos os horizontes, se classificaria como um solo residual completo, considerando a sua formação originária. Este tipo de solo provém da alteração e decomposição das rochas *in situ*,

onde o solo permanece no local em que ocorre a decomposição da rocha, sendo lentamente erodido. Outro tipo de solos são os aluviais que se formam quando há um agente transportador, principalmente os rios que transportam os detritos de erosão. À medida que perdem velocidade os rios sedimentam pedregulhos, areias, siltes e argilas. Inicialmente sedimentam-se os pedregulhos, depois as areias e siltes e, por fim, as argilas. Os solos aluviais de várzeas, de onde se explora areia para a construção civil, correspondem a essa deposição sucessiva de sedimentos com camadas mais ou menos homogêneas.

Em termos práticos, o conceito de solo é muito importante nas atividades tanto de extração de solo, como da sua posterior reposição nas áreas que serão recuperadas. A pedologia, ciência que estuda os processos e fenômenos que ocorrem no solo, considera como *solum* ou solo verdadeiro o conjunto dos horizontes O, A e B. Para os fins do presente trabalho, será denominada como solo orgânico a camada mais escura contida entre os primeiros 25 a 35cm de profundidade, zona de maior concentração das raízes e maior atividade microbiana. Esta porção, que corresponde basicamente ao horizonte A, deverá ter um trato diferenciado para os fins de recuperação. Na mineração de areia, a camada argilosa embaixo do horizonte A é usada na construção de barragens, diques, aterros e preenchimento de superfícies a serem recuperadas, e é também um material que pode ser utilizado na RAD. A Foto 1 mostra em detalhe a camada orgânica e a camada argilosa no perfil do solo.

Na mineração, o conceito de substrato é importante para diferenciar este material do solo propriamente dito. Dias (1998) diferencia estes dois materiais quando manifesta que o solo tem uma estratificação natural, horizonte superficial com maiores concentrações de carbono orgânico e biota, enquanto o substrato não possui esta característica. Em geral, estão incluídos no grupo de substratos os estéreis, os rejeitos, os horizontes intermediários que não contêm minério, etc. A partir destes materiais é que ocorrerá o acondicionamento do meio de crescimento das plantas, em caso da ausência do solo propriamente dito. Estes materiais podem se mostrar inadequados à implantação da cobertura vegetal, devido à falta de nutrientes, falta de atividade microbiana, presença de metais fitotóxicos, pH muito ácido ou muito básico, ou ainda, existência de material inconsolidado que, devido à ação de ventos e chuvas, dificultam a fixação da vegetação. Os procedimentos detalhados

mais adiante podem ajudar no seu acondicionamento e manejo para melhorar os resultados.

Foto 1 – Perfil do solo onde se distingue a camada orgânica e a argilosa.

A camada de solo orgânico possui uma série de características físicas, químicas e biológicas, normalmente descritas pela bibliografia como fatores independentes uns dos outros. Neste trabalho, interessam aquelas que possibilitem seu melhor uso e manejo do solo na revegetação, lembrando-se que há correlações entre tais fatores.

a) Estrutura do solo

As partículas de areia, silte e argila encontram-se aglomeradas em corpos denominados agregados ou torrões de 0,5 a 2,0mm de diâmetro. Esta forma grumosa tem por característica ser estável à ação da água e estar compreendida na camada de 0 a 20cm de profundidade. Primavesi (1981) afirma que a agregação destas partículas depende dos colóides ou “cola orgânica” produzida por bactérias, algas, fungos e, insetos que cavam galerias. Desta forma, esta característica é temporária e depende de sua renovação periódica. Uma boa estrutura permite a infiltração da água e de ar, bem como, o crescimento e penetração das raízes. Estas atribuições conferem ao solo

uma boa “fertilidade física”. A autora denomina esta característica como a bioestrutura do solo.

Para uma estrutura apropriada ao desenvolvimento de vegetação, vários fatores podem colaborar; a adição de qualquer material orgânico, a cobertura da superfície com plantas de sistema radicular fasciculado como as gramíneas, a introdução de minhocas, etc. A perda de estrutura de um solo está relacionada com práticas de manejo mal conduzidas como, por exemplo, a exposição do solo sem cobertura nem proteção por períodos muito longos ou o trânsito excessivo de máquinas pesadas.

b) Outras propriedades físicas: estado do solo

Os solos encontrados na natureza ou manejados para usos específicos apresentam certas propriedades diretamente relacionadas ao estado em que se encontram. Tais propriedades referem-se a sua maior ou menor compacidade ou consistência, e à sua estrutura ou arranjo dos grãos que o compõem (Vargas, 1977). O modelo representativo do solo, apresentado na Figura 8 segundo IPT (1995), é uma simplificação que não leva em conta a sua estrutura interna, mas permite a identificação das fases que o compõe com seus respectivos volumes e massas correspondentes.

Em princípio, as quantidades de água e ar variam com mais facilidade. Fenômenos de evaporação e de percolação podem ocasionar o aumento ou diminuição da quantidade de água e a correspondente variação na quantidade de ar. Processos de compressão do solo por um agente externo podem provocar perda de água e ar, reduzindo o volume de vazios. Nestes processos, as partículas sólidas constituintes se conservam, porém seu estado se altera. Desta forma, existem propriedades ou índices físicos que se referem diretamente ao estado do solo.

Figura 8 – Modelo representativo do solo e suas fases. *Fonte: IPT (1995).*

No trabalho realizado pelo IPT, para solos de natureza argilosa, encontra-se também um arcabouço geral dos principais índices que são definidos pelas relações básicas abaixo discriminadas:

1. massa específica aparente ou massa específica natural (γ): relação entre a massa total do solo e seu volume total.

$$\gamma = \frac{m}{V}$$

2. massa específica dos sólidos ou dos grãos (δ): relação entre a massa das partículas sólidas e seu respectivo volume.

$$\delta = \frac{m_s}{V_s}$$

3. Umidade (**h**): relação entre a massa de água e a massa de sólidos

$$\mathbf{h} = \frac{\mathbf{m}_{\text{ag}}}{\mathbf{m}_{\text{s}}}.$$

4. Grau de saturação (**S**): representada pela relação entre o volume de água e o volume de vazios.

$$\mathbf{S} = \frac{\mathbf{V}_{\text{ag}}}{\mathbf{V}_{\text{v}}}$$

5. Massa específica aparente seca (γ_s): consiste na relação entre a massa de sólidos e o volume total

$$\gamma_s = \frac{\mathbf{m}_s}{\mathbf{V}}$$

6. Massa específica aparente saturada (γ_{sat}): representa a massa específica do solo, se este vier a ficar saturado.

$$\gamma_{\text{sat}} = \frac{\mathbf{m}_s + \mathbf{V}_v \cdot \gamma_{\text{ag}}}{\mathbf{V}} \quad \text{sendo, } \gamma_{\text{ag}} = 1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

7. Índice de Vazios (**e**): indica a relação entre o volume de vazios e o volume das partículas sólidas

$$\mathbf{e} = \frac{\mathbf{V}_v}{\mathbf{V}_s}$$

8. Porosidade (**n**): constitui na relação entre o volume de vazios e o volume total do solo.

$$\mathbf{n} = \frac{\mathbf{V}_v}{\mathbf{V}}$$

Dos índices físicos relacionados, três deles costumam ser determinados através de ensaios: a umidade (**h**), a massa específica dos sólidos (**δ**), e a massa específica aparente (**γ**). Os demais índices físicos relacionados ao estado do solo podem ser determinados utilizando-se expressões algébricas obtidas a partir destas grandezas medidas experimentalmente. A título de exemplo, têm-se como expressões decorrentes:

$$n = \frac{e}{1 + e} \quad ; \quad e = \frac{\gamma}{\gamma_s} - 1 \quad ; \quad \gamma_s = \frac{\gamma}{1 + h}$$

A massa específica aparente é um indicador primário sobre a situação física de um solo. Assim, quanto maior a sua massa específica, tanto mais compacto é o solo e, em consequência, tem menor quantidade de macroporos.

Quanto a característica de porosidade, um solo grumoso ou com muitos torrões permite a pronta infiltração da água, do ar e a penetração das raízes em espaços denominados macroporos, enquanto os espaços dentro dos torrões são os microporos. O balanço entre ambos é muito importante, na medida em que, quando uma parte da água que chega ao solo fica retida e à disposição das plantas (microporos), a outra parte percola, através do solo ou substrato, promovendo uma boa aeração (macroporos) (Fontes, 1991). Diz-se que um solo está compactado quando há uma diminuição do seu volume que determina a redução da sua porosidade. A camada compactada dificulta a penetração das raízes e a percolação da água. A porosidade está estreitamente relacionada com a estrutura, pois um solo desagregado não tem porosidade e também não permitirá o fluxo do ar e da água, dando lugar, em caso de chuvas, à formação de enxurradas e os conseqüentes problemas de erosão e assoreamento.

Estudos do estado do solo e da sua capacidade de sustentação ao crescimento das plantas compõem um campo específico para aprofundamento, que podem utilizar este arcabouço de relações sobre os índices físicos representativos, e envolvendo, *a priori*, determinações experimentais das suas características.

c) Atividade biológica

Cada metro quadrado de solo contém bilhões de seres microscópicos. Aqueles que são visíveis no microscópio constituem a microfauna: nematóides, ácaros, protozoários, bactérias, algas, fungos, etc. Há também os animais visíveis a olho nu, que constituem a macrofauna: minhocas, centopéias, formigas, etc. Aqueles organismos que podem ser visíveis a olho nu, mas somente com uma observação muito atenta, constituem a mesofauna: nematóides, dípteros, etc.

Na ação de decomposição do material celulósico, bactérias e fungos, amebas, nematóides e até minhocas, produzem material colante que intervem na formação dos torrões ou grumos do solo (Primavesi, 1981). A mesofauna e a macrofauna melhoram a estrutura do solo, revolvendo-o e cavando-o. Ao construir galerias, estes seres ajudam na penetração de raízes e na infiltração da água.

Por sua vez, uma série de microorganismos, ao realizar o processo de humificação, ou seja, a decomposição da matéria orgânica que conduz à formação de húmus, contribuem disponibilizando nutrientes para as plantas e incrementando a capacidade de troca catiônica do solo.

Tanto a mineração como a agricultura causam distúrbios à atividade biológica no solo, uma vez que a presença de microorganismos pode ser afetada por variações do pH, pelo conteúdo de matéria orgânica, adubação, retirada da vegetação, perda de estrutura, falta de irrigação, etc.

d) Capacidade de troca catiônica (CTC)

No solo, os chamados colóides orgânicos (húmus) e os colóides inorgânicos são os materiais que apresentam atividade superficial, ou seja, que são capazes de adsorver elementos presentes em solução nas águas de percolação. A CTC é a soma dos elementos minerais adsorvidos em forma de cátions que o solo pode reter de forma reversível e se expressa em miliequivalentes por 100 ml de solo.

Os elementos minerais que a planta necessita para seu desenvolvimento são chamados nutrientes e estão divididos em macronutrientes e micronutrientes. A diferença se encontra na quantidade de cada um deles que a planta utiliza para seu

desenvolvimento e sua disponibilidade e que depende diretamente das condições do solo.

e) pH

No solo, o pH é um indicador da sua situação físico-química (Primavesi, 1981). Um solo excessivamente ácido, bem como aquele excessivamente alcalino, sempre tem menos oxigênio, menos matéria orgânica, menor capacidade para reter água, menor crescimento das raízes, menor atividade biológica e mais íons tóxicos. Em ambos os casos, o solo sofreu um processo de decadência. Um solo é ácido quando possui muitos íons H^+ e poucos íons de cálcio (Ca^{++}), magnésio (Mg^{++}), potássio (K^+) e sódio (Na^+) adsorvidos em seu complexo coloidal, isto é, de troca. O solo alcalino, ao contrário, possui cátions em excesso.

Os solos ou substratos de uma mineração normalmente passam por alterações físicas extremas, perdem estrutura, diminuem a quantidade de macroporos e de matéria orgânica, aumentam ou diminuem o pH e, dessa forma, disponibilizam elementos que podem tornar-se tóxicos, como o alumínio, manganês, ferro, e outros.

A Figura 9, de acordo com a citação de Van Hook, *et al* (1982) *apud* Lima (1993) demonstra os efeitos da falta de vegetação no solo. Por um lado, o diagrama identifica a perda direta de solo devido à remoção da vegetação; por outro lado, identifica o efeito do incremento da temperatura do solo, que por sua vez, aumenta a atividade microbiana e a taxa de decomposição da matéria orgânica. Tudo isto resulta numa maior disponibilidade de nutrientes que estão sujeitos a perdas por lixiviação. A falta de vegetação provoca um aumento da intensidade e da quantidade da precipitação sobre a superfície (uma vez que a chuva não é retida pelas folhas), o que contribui, novamente, com a erosão do solo. Também há perdas de solo e nutrientes devido às perturbações da camada orgânica, à perda da estrutura, e à compactação, fatores que diminuem a infiltração e aumentam o escoamento superficial.

Figura 9 - Efeitos da falta de vegetação no solo. *Fonte:* modificado de Van Hook *et al* (1982) *apud* Lima (1993).

4.4.2.2 Manejo do solo

As características antes citadas concedem à camada de solo orgânico o poder de sustentar o crescimento das plantas, sendo portanto imprescindível tentar mantê-las durante e após as atividades de mineração ou, no caso de ausência desta, tentar recriá-las. A seguir, apresenta-se uma seqüência das atividades necessárias para um bom manejo de solo.

a) Planejamento

As atividades de recuperação de uma mineração devem começar realizando um levantamento dos solos do entorno e do local com o propósito de determinar as características primitivas, sua capacidade de uso, e o tipo de vegetação existente. Esta iniciativa constitui um histórico para servir como referência para o resultado que se deseja obter na etapa de recuperação. Deve-se coletar amostras para análise das propriedades dos solos, antes e depois das atividades de mineração, de forma a constituir um padrão de comparação. Como todo este procedimento envolve custos, faz-se necessário ter bem claro qual é o objetivo da recuperação. O manejo para a recuperação de um solo destinado a pastagem é diferente do manejo para um plantio com fins comerciais ou, ainda, para a reabilitação de uma mata nativa. Esta avaliação, somada à determinação das características do solo, determina como conduzir as etapas seguintes.

b) Retirada do solo orgânico e decapeamento

A remoção do solo orgânico começa com a retirada da vegetação e deve-se tentar preservar qualquer material que no futuro possa servir como agente de propagação das plantas e da fauna, ou como abrigo da vida animal. Neste material incluem-se sementes, rizomas, tubérculos, e todo o horizonte **O** ou serrapilheira. Mudanças de espécies nativas também podem ser incluídas, sendo recomendado o transplante de indivíduos com até 30cm de altura (Auer & Garcia, 1995 *apud* Rodrigues & Leitão Filho, 2000), tendo em vista de que não terão oportunidade de sobrevivência a longo prazo.

Na seqüência, para a retirada do solo será necessário verificar-se qual horizonte ou horizontes serão retirados. Nas minerações de areia, na maioria das vezes os solos são aluviais, pouco desenvolvidos, e apresentam apenas o horizonte **A** sobre camadas estratificadas, sem relação pedogenética entre si. Estes solos são relativamente profundos, com drenagem moderada e textura muito variável. Algumas matas ciliares e outras áreas podem apresentar um horizonte **B** incipiente em condições de boa drenagem (Jacomine & Kingler, 2000). Rodrigues & Gandolfi (2000) recomendam, de forma geral, a retirada e preservação dos primeiros 20cm correspondentes à camada mais fértil que seria espalhada na área degradada na relação mínima de 1x4 (1m^2 de solo de floresta cobririam 4m^2 da área degradada, com espessura média de 5cm). Os autores afirmam que, para o caso de recuperação da mata ciliar, este método tem-se mostrado muito eficiente.

Um indicador muito usado para distinguir a camada de solo orgânico a ser retirada, é a cor. Cores mais escuras indicam alto conteúdo de matéria orgânica e maior atividade biológica; em solos aluviais, a camada de solo orgânico está bem definida com relação à camada de solo argiloso.

Já o decapeamento consiste na remoção da, assim chamada, camada de material estéril que recobre o depósito de areia e normalmente corresponde ao solo argiloso. Este material pode ter diversos destinos, tal como aterros de recomposição topográfica, transportadas para locais destinados à disposição do estéril, composição de barragens de contenção das bacias de decantação dos finos obtidos como rejeito no processo de beneficiamento, ou ainda doação ou comercialização para aplicação em obras civis de terceiros como prefeituras, construtoras, etc. Uma boa medida é usar este material como base de preenchimento anterior à aplicação de solo orgânico, favorecendo, deste modo, processos como infiltração e capacidade de retenção de água, e facilitando, também, o desenvolvimento de raízes das plantas.

c) Estocagem do solo

Uma vez retirado, o solo pode ser estocado em cordões ou leiras com 1,5m de altura máxima; ou em pilhas individuais de 5 a 8m^3 . O prazo de estocagem não deve passar de dois anos (Williams, 1991). O objetivo é criar uma situação tal, que o solo mantenha sua atividade microbiana e se conserve, na medida do possível, arejado e

úmido. De maneira geral, solos armazenados tendem a apresentar atividade biológica reduzida devido à perda da fauna do solo, apresentando também, redução de matéria orgânica, modificações adversas na estrutura, um número reduzido de propágulos, e ciclos de nutrientes fragmentados (Munshower, 1994).

O lugar de armazenagem tem que preservar o solo da luz direta do sol, que faz com que a temperatura aumente, facilitando a morte da microfauna. Para evitar este evento, uma boa prática seria o plantio imediato de espécies vegetais que atuem como cobertura temporária. Se o tempo de estocagem é mais curto, o solo poderia ser coberto com palha, com a própria vegetação que foi cortada, com o horizonte O, ou ainda, com algum outro tipo de material afim. O solo deverá ser estocado numa área com boa drenagem para preservá-lo da umidade excessiva e da lavagem por chuvas intensas.

Muito mais apropriado que a armazenagem, seria o aproveitamento imediato desse solo em áreas já mineradas e projetadas para serem recuperadas. Tal prática manteria intato o ciclo de nutrientes do solo, assim como a sua atividade biológica.

d) Tratos na superfície final

Os trabalhos prévios de nivelamento, terraceamento e retaludamento deixarão a superfície pronta para receber o material que dará lugar ao desenvolvimento da vegetação. Embora se pense que nesta atividade somente seja necessário transportar o solo estocado para a superfície do terreno e espalhá-lo, também devem ser providenciadas medidas para reacondicionar a camada inferior do perfil. Esta camada, na maioria das vezes, é composta por estéreis e/ou rejeitos usados como material de preenchimento. Este material é desestruturado, com pouco ou nenhum conteúdo de matéria orgânica, e desprovido de atividade microbiana. Muitas vezes apresenta também ausência de porosidade em virtude da compactação pelo movimento freqüente de máquinas. A consequência é um efeito vedante que impede a infiltração de água para camadas inferiores e reduz a capacidade normal de crescimento das raízes. O mesmo tipo de problema apresenta-se nas lagoas de decantação, nas quais a origem da compactação é devida ao material muito fino que a constitui, caracterizado pelo grande poder de compactação, ausência de estrutura e, portanto, também de porosidade.

Um primeiro procedimento para minimizar esse problema é o uso de subsolador ou escarificador, implemento agrícola para afrouxar o solo sem revolvê-lo, com a finalidade de incrementar a porosidade da área compactada e, assim, favorecer o escoamento de água e a aeração (Primavesi, 1981). Isto evitará também processos posteriores de erosão ou lavagem da camada de solo reposta, e contribuirá ao desenvolvimento das raízes das plantas. Na Foto 2 observa-se uma operação de reposição de solo argiloso proveniente do decapeamento.

Por outro lado, a caracterização do tipo de estéril ou rejeito utilizado no preenchimento da superfície é importante para identificar possíveis elementos contaminantes, fontes de acidez, etc. Outros fatores que podem, a longo prazo, contribuir no desenvolvimento da estrutura são: adição de matéria orgânica, sistema radicular profuso e ação biológica da fauna do solo.

Foto 2 - Camada de solo argiloso sendo reposta na superfície.

Um material que pode favorecer o desenvolvimento de estrutura no solo é a turfa, matéria de constituição esponjosa, escura, composta por restos vegetais em decomposição. Franchi (2000) comprovou a eficácia deste material para melhorar solos degradados e com baixa fertilidade. A adição de turfa ao solo consegue alterar

favoravelmente algumas das suas propriedades tais como porosidade e condutividade hidráulica. Apresenta também, melhoria das propriedades químicas tais como CTC e efeito tampão, o que permite aos solos maior capacidade de reter os nutrientes, e proteção à sua microfauna e mesofauna contra as modificações bruscas de pH do meio. O custo deste material permite utilizá-la, como corretivo agrícola, mas na RAD teria que ser melhor avaliado, e provavelmente seu uso estaria restrito aos casos especiais, como áreas reabilitadas para fins agrícolas. Outros materiais como resíduos de plantas, casca de arroz, cascas de coco, esterco, a parte orgânica do lixo doméstico, e outros, devem ter o mesmo comportamento e oferecer vantagens adicionais, tal como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 - Principais características de resíduos orgânicos para recuperação de áreas de mineração. *Fonte:* Campello (1998).

Material	Tipos	Características	Papel na recuperação
Resíduos de plantas	Palhas, folhas, cavacos de madeira, serragem e casca de madeira	A relação C/N da maioria destes materiais maior que 30/1, o que, dependendo do teor de lignina, significa imobilização de nutrientes e lenta decomposição	Melhora as condições físicas, cobertura morta, proteção contra elevadas temperaturas. Lenta disponibilização de nutrientes.
Estercos	Bovinos, aves, suínos e eqüinos	Relação C/N abaixo de 30/1, pronta disponibilização de nutrientes, matéria orgânica de rápida decomposição degradável	Estimula a biota, adiciona nutrientes, e melhora as condições físicas
Lodo de esgoto	Anaeróbico e aeróbico	Fonte de nutrientes e ausência de fitotoxicidade	Adiciona nutrientes, aumenta o pH e melhora as condições físicas
Resíduos industriais	Polpa de celulose, borra de café e farinha de ossos	Alto teor C de lenta decomposição Imobilização de N	Melhora as condições físicas
Adubos verdes	Leguminosas, herbáceas e arbustivas	Relação C/N mais baixa Sistemas radiculares profundos	Proteção do solo, cobertura morta e melhora as condições físicas
Compostos	Restos de plantas, esterco e lixo orgânico	Alto teor de matéria orgânica estável e fonte de nutrientes	Melhora as condições físicas, estímulo à biota e adição de nutrientes

e) Aplicação de fertilizantes e/ou corretivos

A determinação da fertilidade é um procedimento eficaz para a avaliação do manejo e recomposição do substrato, fornecendo informações quanto às possíveis carências ou limitações de micronutrientes e macronutrientes que podem ser

corrigidas mediante o uso de fertilizantes, adubos ou corretivos agrícolas. A aplicação de fertilizantes ou adubos visa substituir, a curto ou médio prazo, o suprimento de nutrientes que o solo produz em condições normais. Geralmente, uma primeira dose de composto de macronutrientes NPK é adicionada no momento do plantio de espécies arbóreas; outras doses serão adicionadas de acordo com o programa de manutenção.

Os corretivos agrícolas, para o caso dos solos recompostos provenientes das minerações, são todos válidos, desde que contribuam para a melhoria das suas características físico-químicas e biológicas. O valor de pH é utilizado como um importante indicador da acidez de um substrato para fins de revegetação. A sua determinação permite que sejam feitas previsões importantes para avaliação da disponibilidade de nutrientes para os vegetais a serem introduzidos. Na mineração de areia, o processo de extração não gera nenhum tipo de rejeito que acidifique o solo ou os corpos d'água, portanto, geralmente os procedimentos de neutralização não são necessários.

Uma vez colocado o solo na superfície a recuperar, os cuidados já citados para evitar-se insolação e perda de sua umidade deverão ser contemplados. O movimento das máquinas também deverá ser restringido, evitando-se a sua compactação e perda de estrutura. A espessura da camada de solo vai depender do volume disponível, da qualidade do material de preenchimento e, da proposta quanto ao tipo da futura vegetação.

4.4.3 Práticas de caráter vegetativo

Juntamente ao manejo do substrato, é preciso definir os fatores relativos às plantas em si. Algumas das atividades a desenvolver são: seleção da espécie, ou espécies, para cada caso, produção de mudas ou outro tipo de material de propagação, escolha dos fornecedores, determinação dos cuidados necessários para o plantio, manutenção, etc.

Para o caso das minerações de areia, existem dois tipos fundamentais de áreas a serem revegetadas: as áreas de proteção permanente que, de acordo com a

legislação, tem que ser revegetadas com espécies nativas, como no caso das formações ciliares ocorrentes nas margens dos cursos d'água, nas quais a legislação impede qualquer outro uso ou manejo da mata com fins econômicos; e, as áreas que não estão sob essa condição e que podem ser revegetadas sem nenhuma restrição. Dentro deste grupo encontram-se as zonas de cortinas vegetais, os pátios e áreas de oficina desativados, as bacias de decantação desativadas e os taludes das cavas formadas. No primeiro caso, o modelo de plantio utilizado atualmente é a sucessão vegetal, visando a formação de mata nativa. No segundo caso, existem muitas alternativas, como por exemplo, o reflorestamento homogêneo, formação de pastagens, plantio de espécies nativas, consorciamentos, entre outros.

4.4.3.1 Métodos de revegetação

As espécies utilizadas, sua forma de disposição no terreno e o espaçamento entre plantas, são alguns dos aspectos que determinam o método de revegetação adotado para levar a cabo a sua implantação em determinada área. Destacam-se alguns métodos principais que podem ser aplicados em áreas de mineração de areia.

a) Regeneração natural

A regeneração natural refere-se ao método de recuperação de um ecossistema que foi submetido a uma perturbação não muito intensa, possibilitando a preservação da sua resiliência, ou seja, da capacidade do ecossistema de recuperar-se dos efeitos negativos resultantes da degradação. Em geral, este tipo de recuperação só ocorre em casos muito especiais, onde a degradação antrópica apresentou níveis muito superficiais, e a adoção de práticas simplificadas de proteção dos ecossistemas possibilitariam o retorno da área às condições anteriores à degradação (Rodrigues & Gandolfi, 2000). Outro fato importante, é a observação de áreas com vegetação natural próximas. No caso destas ocorrências, os propágulos, introduzidos pelo vento ou por aves, facilitam a regeneração da área. No entanto, em alguns casos poderá ser necessária a eliminação de algumas espécies invasoras muito agressivas que retardam ou impedem a recuperação, se não forem controladas. Os mesmos autores indicam que, para o caso de áreas intensamente degradadas, a regeneração só se

aplica como alternativa para tornar o ecossistema degradado em algum “estado estável alternativo”. Embora a regeneração natural em áreas mineradas seja pouco provável de acontecer, podem existir áreas mineradas muito próximas de áreas com vegetação nativa, facilitando assim o enriquecimento de espécies, e agilizando o processo regenerativo, uma vez que essa vegetação nativa atua como fonte de sementes e plantas jovens.

b) Plantios mistos

A revegetação com plantios mistos é aplicável no caso de matas ciliares e outras APPs perturbadas ou degradadas. Nestes casos o plantio deverá ter o máximo de diversidade de espécies nativas possível, procurando-se recuperar tanto a estrutura quanto a dinâmica da floresta. As ações visando recomposição vegetal, nestas áreas, devem atingir dois objetivos distintos mas não excludentes, ou seja, o que procura “recriar” a vegetação existente no passado, mantendo a composição original em espécies, e a que procura recuperar o papel da vegetação para obter as vantagens ambientais relacionadas ao regime hídrico, ao fluxo de nutrientes, e à estabilidade do solo. Kageyama & Gandara (2000) usam o termo restauração como o relacionado ao estado que seria desejado atingir, embora na prática tal meta resulte impraticável. Para levar a cabo tal ação, serão necessários procedimentos com os quais interagem conhecimentos teóricos básicos, informações sobre a área, e tecnologia disponível. Os autores mencionam os seguintes modelos:

- **modelo de plantio ao acaso:** é um plantio de espécies sem uma ordem ou arranjo que tem como pressuposto que os propágulos das diferentes espécies caem, germinam e crescem ao acaso na natureza. É um modelo que não dá importância às diferenças entre os grupos de espécies expressos na sucessão ecológica, considerando que todas as espécies são semelhantes quando em competição, e não considerando exigências quanto à luminosidade ou sombra. Neste modelo há demora no crescimento das espécies, o que implica num maior tempo de cuidados de limpeza da vegetação invasora. Isto encarece a operação e provoca mortalidade das espécies exigentes de sombreamento inicial.
- **modelo sucessional:** separa as espécies em grupos ecológicos com características comuns e funções diferentes na dinâmica da floresta. Rodrigues e Gandolfi

(1998) nomeiam quatro grupos básicos de espécies da floresta tropical: pioneiras, secundárias iniciais, secundárias tardias e climácicas. Cada grupo apresenta características biológicas distintas, como dependência de diferentes intensidades de luz, velocidade de crescimento, duração de ciclo de vida, etc. Estas espécies exigem diferentes condições ambientais para crescer, sobreviver e se reproduzir, aspectos que devem ser considerados quando do plantio destas espécies no campo. A concepção básica é a de que as espécies pioneiras e secundárias iniciais são plantas heliófitas, ou seja tem seu desenvolvimento favorecido em condições de luz plena, enquanto as espécies secundárias tardias e climácicas são tolerantes à sombra, portanto, as condições adequadas ao seu desenvolvimento acontecem depois do crescimento de espécies heliófitas. A forma de plantio combinando os grupos básicos de espécies pode ser em módulos ou linhas. Nos módulos, uma planta não pioneira é rodeada de quatro plantas pioneiras sombreadoras; já nas linhas intercalam-se pioneiras (pioneiras e secundárias iniciais) com não pioneiras (secundárias tardias e climácicas), ou mesmo se alternam pioneiras e não pioneiras na mesma linha. Alguns exemplos ilustrativos são mostrados na Figura 10. O mais importante, em qualquer caso, é adequar o espaçamento e a quantidade de mudas de cada grupo ecológico, de tal forma que tenham maior probabilidade de ocupar espaço, da maneira mais eficiente possível e no mais curto período de tempo. Uma maneira de baratear custos pode ser o plantio dos módulos em ilhas, ou também, o plantio das espécies não pioneiras em ilhas, e as espécies pioneiras em área total.

Quando a recuperação não envolve APP, mas tem a finalidade de repovoar a área com mata nativa, existe a possibilidade de usar espécies não nativas como pioneiras. Como exemplo, Lima (1993) concluiu que, do ponto de vista de plantações florestais, com o propósito de melhorar as condições hidrológicas de bacias degradadas, o uso de eucalipto parece promover, com o devido tempo, um adequado controle dos processos de escoamento superficial, erosão e ciclagem de nutrientes. Salientou também que as plantações não devem estar sob o regime de rotações intensivas de produção para abastecimento industrial da madeira.

Linhas

A

(B)

P		P		P		P
	S				S	
P		P		P		P
			C			
P		P		P		P
	S				S	
P		P		P		P
			C			
P		P		P		P
	S				S	
P		P		P		P
			C			
P		P		P		P
	S				S	
P		P		P		P

P	P	P	P	P	P	P
P	S	P	S	P	S	P
P	C	P	C	P	C	P
P	S	P	S	P	S	P
P	C	P	C	P	C	P
P	S	P	S	P	S	P
P	C	P	C	P	C	P
P	S	P	S	P	S	P

P	P	P	P	P	P	P
P	S	P	S	P	S	P
P	C	P	C	P	C	P
P	P	P	P	P	P	P
P	S	P	S	P	S	P
P	C	P	C	P	C	P
P	P	P	P	P	P	P
P	S	P	S	P	S	P

	Espaçamento (m)
P	2,0 x 2,5
S	4,0 x 5,0
C	4,0 x 5,0

	Espaçamento (m)
P	2,0 x 2,0 / 2,0 x 4,0
S	4,0 x 4,0
C	4,0 x 4,0

	Espaçamento (m)
P	2,0 x 2,5 / 2,0 x 5,0
S	6,0 x 5,0
C	6,0 x 5,0

Legenda: P = Pioneira
S = Secundária (Não pioneira)
C = Climácica (Não pioneira)

Figura 10 - Formas de plantio de vegetação nativa. Fonte: adaptado de Barbosa, 2000.

- **semeadura:** quando existe algum impedimento ao plantio de mudas, tal como dificuldade de acesso ou inexistência de viveiros, a semeadura é uma alternativa.

Evidentemente, é preciso disponibilidade de sementes em grande quantidade. Este método é utilizado em áreas montanhosas, e onde qualquer intervenção no solo pode ser muito problemática. O plantio direto de sementes pode ser utilizado tanto para introdução de espécies heliófitas (pioneiras e secundárias iniciais) em áreas sem cobertura florestal, bem como para a introdução de espécies tolerantes à sombra (secundárias tardias e climácicas) no enriquecimento de florestas secundárias.

c) Plantios homogêneos

Nas zonas degradadas de mineração de areia em território paulista que não sejam consideradas APP, isto é, margens de cavas, áreas de empréstimo, bacias de decantação desativadas e outras, poderão ser utilizados plantios homogêneos de espécies exóticas ou nativas, desde que cumpram a função de proteção do solo e dos recursos hídricos (Resolução SMA 42/96). As espécies utilizadas vão desde espécies rasteiras destinadas à pastagem, plantas agriculturáveis, até espécies arbóreas de valor madeireiro. A escolha deverá estar relacionada com o uso futuro proposto para o local.

IBAMA (1990) comenta que o plantio homogêneo de espécies arbóreas exóticas é normalmente aceitável somente quando o uso futuro do solo é de reflorestamento comercial, e quando a área, antes da sua degradação, não era ocupada por uma mata nativa. Nas minerações de areia do Estado de São Paulo, as áreas a revegetar em geral não se prestam para reflorestamentos comerciais intensivos, por terem áreas pequenas e, porque normalmente, os plantios homogêneos com espécies arbóreas são implantados nas cortinas vegetais. As condições do solo, em geral pouco férteis e com problemas de baixa porosidade, associados ainda à necessidade de crescimento rápido, diminuem consideravelmente as possibilidades de escolha das árvores a plantar. É preciso procurar espécies tolerantes ou resistentes às condições adversas do solo. Um exemplo clássico é o eucalipto (*Eucalyptus* spp.), gênero arbóreo procedente de Austrália, mas com muita adaptabilidade a diferentes tipos de climas e solos, tendo mudas resistentes ao

transplante, e crescimento rápido desde os primeiros anos. Outras espécies usadas são o pinus (*Pinus* spp.) e plantas da família das leguminosas como as leucenas (*Leucaena* spp.)

4.4.3.2 Seleção de espécies

Na revegetação de áreas mineradas, a escolha das espécies deve considerar o grau de degradação do solo. Moraes de Jesus (1994) afirma que o princípio básico é trabalhar-se na busca de espécies adaptadas às novas condições edáficas, o que afeta diretamente os custos. Para este autor, não há áreas irrecuperáveis, e sim áreas com maior ou menor custo de recuperação, e o ponto chave é realizar uma seleção de espécies. Este requisito deve considerar, também, as características das espécies, e a compatibilidade com as exigências de recuperação, ou seja, para cada condição provavelmente existirão espécies mais adequadas.

No caso dos taludes, por exemplo, a primeira opção é a escolha de espécies herbáceas, por seu crescimento rápido, boa germinação, e grande capacidade de estabelecer-se e espalhar-se horizontalmente. Munshower (1994) menciona as gramas de rizoma como as mais eficazes para desempenhar tal função pois têm um crescimento muito agressivo. Posteriormente, a revegetação pode ser complementada ou substituída, segundo o caso, por espécies florestais nativas ou não. IBAMA (1990) comenta que “mesmo se for praticada a implantação de espécies arbóreas e/ou arbustivas, é recomendável o uso de herbáceas para controlar a erosão e formar um solo vegetal com melhores características. Com o crescimento das árvores, muitas espécies herbáceas tendem a desaparecer, ou rarear, quando acontece o sombreamento ou a concorrência dos nutrientes disponíveis. Entretanto, se isto chegar a ocorrer, as herbáceas já terão prestado seu papel de controladores da erosão, e permitido o crescimento espontâneo de outras espécies, enquanto as árvores crescem”.

Entre as espécies herbáceas utilizadas estão as gramíneas: capim Kikuiu (*Pennisetum clandestinum*), grama das roças (*Paspalum dilatatum*), grama seda (*Cynodon dactylon*), grama batatais (*Paspalum notatum*), grama tio Pedro (*Paspalum convexum*), capim gengibre (*Paspalum maritimum*), grama portuguesa (*Panicum*

repens), kudzu comum (*Pueraria thumbergiana*), capim braquiária (*Brachiaria decumbens*); e herbáceas leguminosas como calopogonio (*Calopogonium mucunoides*), jetirana (*Centrosema pubescens*), feijão-de-porco (*Canavalia ensiformes*) e algumas crotalárias (*Crotalaria spp.*), (Lorenzi, 1991).

No caso das chamadas barreiras ou cortinas vegetais, as plantas têm algumas funções específicas. Devem atenuar ruídos gerados pelos motores das bombas de jateamento e sucção, carregadeiras e caminhões, e servir como barreira do material particulado gerado pelo trânsito de caminhões, além de minimizar o impacto visual. Para isto, determinadas espécies arbóreas são plantadas com um número variável de fileiras. Os distanciamentos entre linhas e plantas são predefinidos de acordo com a finalidade da cortina. Se a intenção é atingir alturas maiores, num período de tempo mais curto, o distanciamento será menor. Caso o objetivo seja o maior desenvolvimento de massa foliar, o distanciamento deverá ser maior. Normalmente, as espécies mais utilizadas são o eucalipto e o pinus que resistem positivamente às condições adversas do solo, têm boa disponibilidade e baixo custo. Espécies arbustivas utilizadas são o feijão guandu, bracatinga e sansão do campo.

Os pátios e oficinas normalmente se caracterizam por apresentarem uma superfície muito compactada, e em muitos casos, podem conter resíduos de óleos e graxas. A primeira providência deverá ser a subsolação ou ripagem para facilitar a entrada de água e a lavagem dos resíduos, podendo serem necessárias ações de descontaminação, ou, em último caso, a remoção dos solos contendo óleos. Somente após estas providências pode-se realizar a colocação do solo orgânico, e levar a cabo o plantio. A escolha das espécies deverá levar em conta as características do local e o seu posterior uso.

As bacias de decantação retêm o rejeito composto de areia fina e lama. A recuperação de uma bacia inclui a secagem gradativa de porções da bacia, a preparação da superfície e o plantio das espécies vegetais. Como o rejeito é um material sumamente compacto e com índice de porosidade muito baixo, seria aconselhável a colocação de uma camada intermediária de algum tipo de substrato mais apropriado ao desenvolvimento das plantas, antes de recolocar a camada de solo orgânico. O material argiloso correspondente ao horizonte pedológico B se

presta a esta função. Desta maneira o crescimento longitudinal das raízes das plantas é facilitado, promovendo melhor fixação destas no terreno. As espécies utilizadas deverão ser resistentes ou tolerantes às condições do substrato.

Os consorciamentos constituem plantios de mais de uma espécie, combinando características diferentes; por exemplo, o plantio de leguminosas com gramíneas para efeitos de cobertura. As leguminosas são plantas com alta capacidade de fixar nitrogênio, portanto têm uma boa eficiência para auxiliar na recuperação da fertilidade do solo. Produzem também, grande quantidade de massa verde, logo incrementam a camada de serrapilheira no solo. As gramíneas têm boa capacidade de reestruturar o solo devido às características de seu sistema radicular fasciculado e bastante volumoso. São plantas muito eficientes no controle da desagregação do solo pela chuva.

Finalmente, Toy *et al* (2001) enfatizam que a revegetação deve servir para a redução de impactos visuais, lembram que o uso da terra deve priorizar metas de longo prazo. Os autores recomendam que a revegetação seja feita em duas fases distintas, porém contínuas, numa integração de objetivos a curto e longo prazo. Apontam que a estratégia de “tapete verde” ou uso de espécies de rápido crescimento deve compor uma primeira fase, criando condições para uma posterior sucessão de espécies, constituindo assim um tipo de consorciamento, até atingir-se estabilidade adequada entre os componentes da nova paisagem, que garanta a auto-sustentabilidade.

4.5 Manutenção

Após o plantio, devem ser iniciadas outras atividades complementares para garantir o sucesso da revegetação. De forma geral, pode-se indicar que os cuidados mínimos para levar a cabo esta etapa são:

- capinamento ou limpeza das plantas herbáceas, principalmente das gramíneas invasoras, que crescem nas entrelinhas do plantio. Há casos de plantio de nativas, em que se realiza somente o coroamento, ou seja, limpeza das herbáceas ao redor da muda plantada numa circunferência correspondente à projeção da sua copa;

- programa de fertilização periódica, observando nas plantas, possíveis sintomas devido à ausência de algum nutriente;
- controle de pragas e enfermidades. Paiva (1995) aconselha dar atenção à presença de formigas, que podem causar perdas de até 100% nos plantios comerciais se não forem devidamente combatidas. Para o autor, grande parte do sucesso do desenvolvimento de uma floresta depende do controle destes insetos, sobretudo se considerarmos sua grande capacidade de multiplicação. A título de exemplo, um estudo mostra que a média de dois formigueiros/ha num plantio de eucalipto elevou-se para seis formigueiros/ha depois de um ano. Este número passou para doze formigueiros após mais um ano (Mendes Filho, 1992 *apud* Paiva, 1995);
- reposição de mudas mortas, se for o caso, ou o plantio de novas espécies quando o propósito é enriquecer a biodiversidade.

Outras atividades complementares são: aceiramento, desbaste, controle de incêndios, controle químico de ervas daninhas e irrigação.

5 MONITORAMENTO DA ÁREA REVEGETADA

Monitoramento, é aqui entendido como o conjunto de ações ou procedimentos destinados a avaliar o sucesso ou avanço da recuperação de uma área degradada. O monitoramento pode ser aperfeiçoado com a utilização de indicadores ambientais principalmente aqueles denominados como indicadores de desempenho ambiental, uma vez que informam sobre os resultados das ações de recuperação de áreas degradadas. O objetivo é verificar se as metas delineadas estão sendo atingidas, e se existem aspectos que devam ser reavaliados ou ajustados e, desta maneira, obter indicação sobre o sucesso da recuperação.

Entende-se indicador ambiental como um parâmetro ou conjunto de parâmetros que fornecem uma informação agregada e sintética sobre um fenômeno. Define-se indicador ambiental ao organismo, comunidade biológica ou parâmetro, que serve como medida das condições ambientais de uma certa área ou de um ecossistema (FEEMA, 1990). Os indicadores podem variar em formato mas, basicamente, todos servem ao mesmo propósito de prover informação sobre o ambiente. Esta informação, no caso de revegetação, está relacionada à condução ou estado atual da implantação vegetal. Embora existam muitas características desejáveis que um indicador deva possuir, a simplicidade e clareza parecem ser os melhores atributos para selecioná-los assim como o baixo custo de aplicação. Por sua vez, o mesmo autor estabelece que parâmetro “é um valor qualquer de uma variável independente referente a um elemento ou atributo que confira situação qualitativa ou quantitativa de determinada propriedade de corpos físicos a caracterizar. Os parâmetros podem servir como indicadores para esclarecer a situação de determinado corpo físico quanto a uma certa propriedade”.

Em áreas revegetadas de mineração de areia é possível verificar-se a eficiência da cobertura vegetal na proteção dos solos e refúgio da vida silvestre, ponderando-se a velocidade de crescimento, avaliando-se a estrutura e biodiversidade das florestas implantadas ou verificando-se o próprio estado do solo. O uso de indicadores se faz necessário como uma maneira de facilitar a avaliação, seja ela conduzida por órgãos de fiscalização da Secretaria de Meio Ambiente, ou

pelo próprio minerador, que poderá ter melhor noção do estado da revegetação das áreas recuperadas. Ademais os dados fornecidos pelos indicadores podem ter utilidade para fins de planejamento, zoneamento, ou ainda para uso em relatórios de monitoramento.

Inúmeros indicadores podem ser utilizados, embora os mais usuais estejam relacionados ao crescimento quantitativo e qualitativo da vegetação. Em qualquer tipo adotado, o grande desafio é desenvolver ou adaptar métodos e critérios válidos para monitorar e avaliar a funcionalidade da área, tanto na conservação do ecossistema, ou no seu uso associado com outras atividades econômicas. O ponto essencial é discriminar-se os indicadores que forneçam com exatidão as informações desejadas, a custos aceitáveis.

5.1 Avaliação dos resultados da revegetação

O sucesso da revegetação de uma área depende de muitos fatores e critérios, e portanto a avaliação não pode seguir regras absolutas. Nas minerações de areia, a localização e características do terreno, associadas ao uso atribuído a cada área vão determinar o tipo de revegetação mais adequada para cada caso, sendo necessária uma apreciação específica, compatível com tais fatores sobre os progressos atingidos. Usualmente apresentam-se como tipos de revegetação:

- matas ciliares;
- maciços florestais;
- plantios homogêneos;
- gramados;
- pastagens; e
- outros tratamentos paisagísticos.

Em qualquer destas modalidades, os objetivos da atividade de revegetação nas minerações de areia pautam-se pela obtenção de estabilidade física do local. Em cada caso particular, propósitos associados a este objetivo podem ser adicionados. As matas ciliares deverão ser revegetadas com espécies nativas com uma densidade e

variedade adequada de espécies características, próprias para cada unidade fitogeográfica, visando garantir o restabelecimento da biodiversidade, das relações ecológicas e da vida silvestre, além de evitar a poluição dos corpos d'água.

Os plantios homogêneos podem ser realizados em áreas onde não há exigência de implantar-se mata nativa. Podem ser taludes marginais de lagos remanescentes, barreiras ou cortinas vegetais, áreas correspondentes aos antigos pátios de operação, oficinas, acessos internos, lagoas ou bacias de decantação desativadas e outras áreas remanescentes da mineração. Nas áreas destinadas a servir como cortinas vegetais, a altura e frondosidade da copa das árvores são fatores importantes para que atuem como barreiras e reduzam o impacto visual, contribuindo também como barreira na circulação de material particulado e na propagação de ruídos. A revegetação nas bacias de decantação deverá promover sua estabilidade física, vinculada a uma proteção no longo prazo em conformidade com o uso produtivo do local.

As pastagens visam a maior produção de massa foliar, e no caso dos gramados, estes precisam de espécies herbáceas de crescimento rápido e com facilidade de expansão horizontal, de maneira a preencher os espaços nus do solo o mais rápido possível.

Em suma, cada situação específica de revegetação apresenta metas que lhe são próprias. Desta forma, devem ser escolhidos os indicadores mais adequados para mensurar a melhoria ambiental obtida com as diferentes ações realizadas. Há muitos indicadores propostos por pesquisadores do tema e que, em princípio, podem ser utilizados, embora nem todos sejam facilmente aplicáveis devido a dificuldade de executar os procedimentos de medição, custos envolvidos ou conhecimentos especializados que as medições podem requerer. Para qualquer indicador selecionado, é necessário realizar-se medições de maneira sistemática durante um determinado período, normalmente longo e assim, obter-se um padrão de comparação e de evolução temporal. Em certos casos, as informações obtidas pelo monitoramento podem ser comparadas com um ambiente tomado como padrão e selecionado de acordo com os objetivos do processo de recuperação ambiental. Por outro lado, nem sempre com apenas um único indicador pode-se obter conclusões satisfatórias, sendo necessário conjugar-se vários indicadores ambientais. Por

exemplo, Campello *et al* (2000) observam que na avaliação da melhoria das características do substrato, variáveis biológicas, químicas e físicas devem ser utilizadas em conjunto. Manifestam também, que as caracterizações únicas e pontuais não permitem a obtenção de resultados conclusivos, como no caso de indicadores biológicos do solo que mostram flutuações quando as amostragens ocorrem em estação seca ou chuvosa.

Tomando-se como base a classificação feita por Rodrigues & Gandolfi (1998) alguns tipos de indicadores podem ser destacados. Cabe mencionar que muitos deles foram compilados em outras publicações e adaptados a partir de referências utilizadas com outros propósitos, mas que, podem ser aplicáveis para fins de avaliação.

5.2 Indicadores de vegetação

São aqueles que descrevem o estado da parte aérea da implantação vegetal. Cada fase de desenvolvimento da vegetação pode refletir ou informar sobre seus diferentes aspectos.

5.2.1 Indicadores de avaliação da implantação vegetal

A mortalidade de mudas na implantação de um projeto de revegetação fornece uma estimativa relativa do sucesso da implantação. Tais dados auxiliam na decisão sobre a necessidade de promover-se o replantio. Um indicador complementar seria a porcentagem de sobrevivência de mudas.

5.2.2 Indicadores de avaliação de fases pós-implantação

Para as fases de pós-implantação, a avaliação da revegetação pode considerar diversos aspectos abaixo relacionados.

a) Desenvolvimento de mudas

Esta apreciação pode ser feita nos primeiros anos da implantação utilizando como parâmetros:

- diâmetro na base do caule, que expressa área basal da comunidade florística;
- altura total e do fuste, que permite identificar o volume da vegetação e, por consequência, a biomassa;
- estado nutricional das folhas;
- estado fitossanitário da muda; e
- ritmo de crescimento ou desenvolvimento da muda num determinado período de tempo.

Os indicadores apresentados devem ser considerados individualmente por espécies em função do desenvolvimento diferenciado. Portanto, são aplicáveis tanto para revegetação de matas ciliares, como para cultivos homogêneos. Também deve-se ter em conta a homogeneidade das áreas analisadas.

b) Cobertura de Solo

Este aspecto pode ser avaliado considerando-se as características arquiteturais das espécies, ou realizando-se medições relativas ao sombreamento do solo:

- a cobertura de uma espécie vegetal é a proporção de terreno ocupado pela projeção perpendicular da parte aérea da espécie considerada (Lorenzo, 1991).
- diâmetro da copa reflete a área sombreada. Em plantios homogêneos pode-se estimar um diâmetro médio de copa para a espécie estudada, e relacioná-la com a densidade da população, para assim estimar-se a área efetiva com sombreamento;
- a porcentagem de sombreamento da área pode ser medida em determinadas parcelas por meio de pontos de amostragem e reflete de certa forma a capacidade de cobertura que a massa vegetal fornece ao solo.

Quanto à cobertura do solo, para estágios avançados de revegetação com espécies arbóreas, pode-se considerar:

- a produção ou quantidade de serrapilheira gerada em peso ao longo de determinado tempo por unidade de área;
- a acumulação de serrapilheira; ou seja, a altura acumulada em determinado tempo;
- a produção qualitativa de serrapilheira, como um indicador que avalia a quantidade de nutrientes adicionada ao solo no processo de ciclagem de nutrientes (Souza, 1997);
- diâmetro na altura do peito (DAP), medido a 1,30 m de altura da árvore para formações florestais com fisionomia característica de mata; e
- a biomassa total; sendo o volume resultante do DAP pela altura do fuste.

Alguns indicadores poderiam ser obtidos pela aplicação de métodos indiretos, inclusive com sensoriamento remoto (Amaral *et al*, 1990) e fotografias aéreas (Santo & Sánchez, 2002). Os indicadores citados podem ser utilizados para avaliar matas ciliares, maciços florestais, plantios homogêneos e, em alguns casos, pastagens e gramados.

c) Regeneração natural

A diversidade de espécies utilizadas na revegetação de uma área pode ser incrementada pela presença de remanescentes florestais na região. Este aspecto tem a possibilidade de ser estudado avaliando-se a chegada de sementes ao local revegetado ou a existência de plantas jovens oriundas de áreas do entorno. Sobre o aporte de sementes ao solo, é recomendável uma coleta de solo antes do plantio (controle) e avaliação periódica pós-plantio de amostras de solo, podendo-se assim obter dados sobre a regeneração natural ao longo do tempo. Quanto à presença de plântulas e indivíduos jovens, estes podem ser avaliados por meio de um levantamento florístico ou estrutural de sub-bosque da área revegetada onde são calculados, mais comumente, os parâmetros de densidade, dominância e frequência por espécie.

d) Fisionomia

São os indicadores com os quais é possível proceder a uma apreciação da aparência, ou seja, da parte exterior da vegetação incluindo:

- presença de dossel contínuo ou irregular;
- presença de sub-bosque;
- presença de indivíduos emergentes;
- formas de vida ocorrentes;
- ocorrência de clareiras (tamanhos e origens); e
- alinhamento dos indivíduos (alinhamento de plantio já mascarado ou não).

e) Diversidade

A diversidade de espécies em conjunto com a intensidade e longevidade das perturbações vão determinar a resiliência dos ecossistemas, e constituem o mais importante instrumento de avaliação e monitoramento de projetos de recuperação de mata ciliar, já que o sucesso destes projetos tem correlação estreita com a evolução da diversidade na área revegetada. Gandolfi *et al* (1995) *apud* Dias e Mello (1998) manifestam que o número de espécies arbustivo-arbóreas observada nas florestas estacionais semidecíduas varia de cento e cinquenta a duzentas espécies/ha e, aconselham o uso de 80 a 100 espécies/ha para permitir melhores chances de recuperação do ecossistema. Se a diversidade inicial for baixa, haverá taxas elevadas de extinção das espécies introduzidas, colocando em risco a sustentabilidade da área. A presença de remanescentes florestais próximos é um fator que favorece a regeneração natural e a evolução da diversidade nas áreas revegetadas.

A diversidade de espécies deve ser analisada conjuntamente com a riqueza, expressa pelo número de espécies e pela equabilidade, que expressa a contribuição por número de indivíduos de cada população para a comunidade, ou seja, como o ecossistema está dividido entre as populações de espécies (Rodrigues & Gandolfi, 1998). Os levantamentos florísticos possibilitam o reconhecimento das espécies que conformam a revegetação.

5.2.3 Bioindicadores

Segundo Fowler (1998) os bioindicadores são fatores ambientais que refletem adequadamente as condições do habitat em estudo. Tendo-se como base estudos prévios sobre os bioindicadores adequados em cada caso, as medições realizadas permitem estimar com razoável precisão os níveis de recuperação ambiental. Fatores desse tipo podem ser encontrados na fauna, pois o retorno de diversos animais às áreas em recuperação ocorre de forma gradativa. Dentre eles pode-se citar:

- número de espécies de formigas. Uma mata mais madura está correlacionada com um maior número de espécies de formigas. Certas espécies só se instalam em áreas que atingem um nível de recuperação que possa garantir a sobrevivência das colônias (Fowler, 1998);
- número de espécies de minhocas (Sautter, 1998); e
- número de espécies de borboletas (Brown, 2000).

Brown (2000) cita uma quantidade imensa de artrópodes que podem servir como indicadores da recuperação de um ambiente, baseando-se no fato de que a mata ciliar possui sombra e água abundante, dois elementos que contribuem com a riqueza inusitada de espécies animais menores que necessitam de alta umidade para sobreviver. Qualquer perturbação mais forte, como a abertura ou simplificação da vegetação, faz despencar a diversidade biológica, diminuindo as espécies e os indivíduos. Em contrapartida, na medida que a floresta vai se recuperando, os indivíduos e as espécies vão aumentando. O autor enumera várias espécies e ordens, contudo a aplicação destes bioindicadores é dificultada pelo grau de conhecimento especializado requerido.

5.3 Indicadores da qualidade do solo

A qualidade do solo é a sua capacidade em funcionar no ecossistema como elemento sustentador da produtividade biológica, mantendo a qualidade ambiental, e promovendo a saúde das plantas e animais.

Baseando-se na forte correlação existente entre o solo e a vegetação, pode-se utilizar indicadores sobre a melhora na recuperação da qualidade de solo ou substrato

para analisar-se a eficácia da recuperação, como um todo, do local, especialmente quanto a sua capacidade para sustentar qualquer população vegetal. Muitos destes indicadores requerem para sua utilização métodos e técnicas mais sofisticados que dificultam sua aplicabilidade, embora tenham que ser considerados pois relacionam-se às condições de sustentabilidade requerida para o bom desempenho da revegetação.

5.3.1 Indicadores físicos

Em geral pode-se usar como indicadores os resultados obtidos numa análise de solo. Assim dados como agregação, porosidade com distribuição e tamanho de poros, densidade, umidade, índice de vazios, compactação, etc. possibilitam ter uma noção do estado físico do solo. Outros indicadores possíveis são:

- perfil de enraizamento (Frighetto e Valarini, 2000), utilizado como uma técnica para se avaliar a estrutura do solo, baseia-se na observação das reações das plantas às condições a que estão submetidas. A análise pode ser quantitativa por julgamento no campo, ou qualitativa com o uso de processamento de imagens para medir-se a densidade de raízes no perfil do solo;
- controle da erosão da área de plantio realizado sempre no período de chuvas para estimar-se a quantidade de solo que está sendo perdida numa determinada área (t/ha/ano). Existe uma quantidade tolerada de perda de solo acima da qual, sobrepassando essa quantidade, haverá necessidade de reformular-se as estratégias de controle da erosão da área revegetada. Outra maneira de avaliar-se esta perda é mensurando a velocidade da enxurrada formada. Este controle deverá ser necessário somente nos primeiros anos, quando ainda a vegetação ainda não esteja muito desenvolvida; e
- capacidade de retenção de água de solo (Frighetto e Valarini, 2000).

5.3.2 Indicadores químicos e bioquímicos

Os dados fornecidos numa análise de solo com relação ao seu pH, capacidade de troca catiônica, condutividade elétrica, teor de matéria orgânica e concentração de nutrientes vão funcionar como indicadores do estado químico do solo. Outras

determinações tais como enzimas celulase, fosfatase, desidrogenase, polissacarídeos, etc., apresentam grande potencial como indicadores da qualidade de solo por serem sensíveis às variações induzidas pelo fator ambiental e de manejo do solo (Frighetto e Valarini, 2000). Contudo, requerem certo grau de especialização para sua aplicação efetiva.

5.3.3 Bioindicadores

Destaca-se a atividade microbiana do solo que está relacionada com a amplitude de sua massa microbiana. Pode ser estimada medindo-se a quantidade de oxigênio consumido ou de dióxido de carbono liberado por uma amostra de solo em um determinado período de tempo, ou pela determinação da quantidade de microrganismos que liberam o dióxido de carbono. Desta maneira, pode ser determinada a presença de fungos, actinomicetos, leveduras e bactérias, embora também sejam determinações que precisam de maior conhecimento e especialização para realizá-las a contento.

5.4 Indicadores e valores de referência para áreas revegetadas em minerações de areia

Quando um trabalho de revegetação é conduzido, pressupõe-se uma definição do uso futuro da área em questão, e o estabelecimento de metas quanto ao estado que a implantação vegetal deve alcançar para que os resultados sejam considerados satisfatórios. Pode-se associar ainda, o conceito de qualidade ambiental como um conjunto de princípios, normas e padrões que servem como base para a apreciação e constatação da situação do meio ambiente ou de seus componentes. A partir deste conceito, podem ser estabelecidos alguns critérios para avaliar o situação da revegetação. Entretanto, deve-se considerar que, dada a diversidade de ambientes e situações, parece pouco provável o estabelecimento de critérios ou indicadores de uso irrestrito a todos os casos. Alguns critérios possíveis de avaliação são:

- exigências legais: aspectos estruturais e funcionais da vegetação podem ser definidos em leis como objetivos mínimos a serem alcançados. Este critério é muito utilizado na revegetação das APPs;

- levantamentos florísticos, fitossociológicos e caracterização de solos em remanescentes florestais da zona ou região;
- dados bibliográficos de referência relacionados aos aspectos a serem avaliados; e
- propósitos e metas definidas pela própria empresa de mineração.

Uma vez selecionado o critério a ser adotado, terão que ser definidos os parâmetros de avaliação discriminando-se, ao mesmo tempo, os respectivos indicadores e os valores de referência para cada caso. Nas minerações de areia do Estado de São Paulo, o critério de avaliação para a revegetação de matas ciliares pode ter como base as exigências legais da Resolução SMA 42/96 (Anexo 1). Os parâmetros contemplados e os valores de referência exigidos, neste caso, são:

- tamanho de planta com altura média de 3m ou, o sombreamento total da área revegetada;
- densidade deve contemplar como mínimo 1.480 plantas/ha; e
- a diversidade deve incluir 19 espécies/ha, sendo quatro espécies de pioneiras e secundárias iniciais, e 15 espécies de climácicas e secundárias tardias.

Estes valores serão considerados como referência para avaliação das áreas revegetadas das minerações escolhidas como estudo de casos no presente trabalho. Na atualidade, a escolha do critério de avaliação das áreas revegetadas fica a cargo da mineração. É possível que, no futuro, requisitos mínimos de sucesso da revegetação sejam adotados como condicionantes de licenças ambientais. É oportuno comentar a importância de utilizar-se um conjunto de indicadores neste tipo de avaliação. Em trabalhos posteriores, indicadores do solo também devem ser introduzidos, já que o estado em que se encontra determina o desempenho da revegetação.

Na Tabela 2 encontra-se uma síntese dos indicadores selecionados que podem ser utilizados para avaliação do desempenho da revegetação em áreas de mineração de areia, considerando-se aqueles relacionados à vegetação em si, às condições do

solo e, alguns bioindicadores. Os valores de referência apresentados, em muitos dos casos, foram extraídos da bibliografia e tidos como apropriados para o crescimento da vegetação. Espera-se futuramente aperfeiçoá-los segundo novos estudos e pesquisas incluindo levantamentos nas regiões de interesse.

Tabela 2 - Indicadores de desempenho aplicáveis na avaliação de áreas revegetadas em minerações de areia. (Estado de SP).

Tipo	Sub-tipo	Indicador/unidade de medida	Parâmetro	Aplicação em tipos de vegetação	Valores de referência
Vegetação	Implantação Pós-implantação	Mortalidade de mudas (%)	Mudas mortas (%)	Todos	10%*
		Biomassa (t/ha)	DAP ⁽⁷⁾ , altura do fuste	Arbóreas	-
		Área basal (m ²)	Diâmetro na base	Arbóreas	-
		Altura média de planta (m)	Altura da planta	Arbóreas	3m ⁽²⁾
		Densidade (plantas/ha)	População	Arbóreas	1.480 plantas./ha ⁽²⁾
		Grau de sombreamento (m ² /ha)	Sombra produzida pela vegetação	Arbóreas	10.000 m ² ⁽²⁾
		Camada de serrapilheira (kg/ha/ano)	Acumulação de serrapilheira	Arbóreas	9.400 kg/ha/ano ⁽³⁾
		Grau de cobertura (m ² /ha)	Área de projeção da copa	Todos	10.000m ²
		Frequência (%)	Abundância de uma espécie	Arbóreas	90 % Pioneiras, 10% Climácicas ⁽²⁾
		Índice de Valor de Importância –IVI **	Frequência/densidade/cobertura	Arbóreas	-
		Presença de sub-bosque **	Presença de plantas jovens	Arbóreas	Recomendável ⁽⁴⁾
		Aspecto visual da vegetação **	Presença de sub-bosque, regeneração natural, tipo de dossel, clareiras,...	Todos	Recomendável ⁽⁴⁾
Solo	Físicos	Taxa de infiltração água (cm/hora)	Permeabilidade	Todos	>5cm/hora ⁽⁵⁾ *
		Densidade aparente (g/cm ³)	Compactação	Todos	1,2- 1,3 g/cm ³ ⁽⁵⁾ *
		Porosidade total (%)	Índice de vazios	Todos	>20% ⁽⁵⁾ *
		Perfil de enraizamento (cm ou cm ³)	Comprimento ou volume de raízes	Herbáceas em solos compactados	150cm ⁽⁵⁾ *
	Físico-químicos	Perda de solo (t/ha/ano)	Perda de solo	Plantios jovens	6 t/ha/ano ⁽⁵⁾ *
		CTC (meq/100g de solo)	Cátions adsorvidos na nsolução solo	Todos	> 200 ⁽¹⁾ *
		Carbono orgânico (%)	Matéria orgânica do solo	Todos	5-10 % ⁽⁵⁾ *
		pH **	PH	Todos	5,5 - 6,5 ⁽¹⁾ *
	Bioindicadores	Fauna do solo	Fauna do solo	Arbóreas nativas	> 20 espécies ⁽⁶⁾

- (1) Gonçalves & Poggiani, 1996 apud Silveira et al, 2002
(2) Critério legal para o Vale do Paraíba (Res. SMA 42/96)
(3) Valor médio para floresta estacional secundária
Meguro et al, 1979 apud Rodrigues & Gandolfi, 1998
(4) Rodrigues e Gandolfi, 1998
(5) Lal, R., 1999
(6) Fowler, H. , 1998
(7) Diâmetro à altura do peito

* Valores propostos em referências bibliográficas significando que:
(a) com estes valores o crescimento de vegetação não está comprometido e,
(b) os valores considerados devem ser adequados às condições específicas de cada localidade.

** Valores adimensionais

6 CASOS ESTUDADOS DE REVEGETAÇÕES EM MINERAÇÕES DE AREIA

As visitas de campo realizadas na primeira etapa incluíram cinco minerações, e tiveram por objetivo um reconhecimento preliminar das atividades de recuperação e das peculiaridades na prática da revegetação encontradas em cada um dos casos, assim como realizar um primeiro contato com o pessoal encarregado das atividades de recuperação e, a aplicação de uma lista de verificação (Anexo B). As minerações visitadas foram:

- Mineração Viterbo Machado (São Paulo);
- Mineração Paraíba do Sul (Taubaté);
- Mineração Aoki (Taubaté);
- Mineração Cinco Lagos (Taubaté); e
- Mineração Itaquareia (Itaquaquecetuba).

Na segunda etapa, a pesquisa foi orientada para a observação das ações realizadas nas zonas revegetadas das minerações, buscando-se avaliar a pertinência dos procedimentos adotados e seus resultados. Duas áreas foram selecionadas para realizar a avaliação mediante a utilização de indicadores de desempenho: a Mineração Viterbo Machado e a Mineração Cinco Lagos.

Os empreendimentos visitados na primeira etapa apresentam peculiaridades, cabendo assim uma breve descrição das suas características mais relevantes.

6.1 Mineração Viterbo Machado

A empresa opera desde 1976 na extração e beneficiamento de areia para construção civil. A lavra é a céu aberto com desmonte hidráulico. A capacidade de produção é de 300.000 m³/ano e conta com um quadro de trinta funcionários. Situa-se na região de Parelheiros, zona Sul do Município de São Paulo. A partir dos anos 90, a Viterbo iniciou também a exploração da rocha ornamental granítica existente na área. Com a exaustão dos depósitos de areia e o afloramento do maciço rochoso, a

empresa pretende implantar futuramente uma pedreira, tendo uma previsão de mais 50 anos de vida útil.

6.1.1 Método de lavra

As atividades de lavra compreendem as operações:

- remoção da camada de solo orgânico superficial por escavação, utilizando-se retro-escavadeira ou trator de esteira, e realizando o armazenamento deste material;
- escavação da camada de solo estéril, utilizando retro-escavadeira. Este material possui distribuição granulométrica variável ao longo da frente de lavra. Os solos argilosos são utilizados para construção de diques de contenção de rejeitos, aproveitando sua característica de pouca permeabilidade, enquanto solos siltosos são utilizados para recomposição topográfica das áreas já lavradas;
- desmonte hidráulico das camadas de areia nas frentes de avanço da lavra; e
- transferência da polpa formada por sistemas de bombeamento (dragas de sucção hidráulica) para envio às instalações de beneficiamento (equipamentos de classificação, lavagem, desaguamento, silos de armazenamento, etc.).

6.1.2 Procedimentos de recuperação das áreas de mineração

Ao redor das frentes de lavra há cortinas vegetais que resguardam visualmente as cavas e as bacias de decantação. As espécies utilizadas são eucalipto e pinus. A camada de solo orgânico é retirada, a partir das zonas que recobrem o minério, e estocada para futura reutilização. A retirada exige perícia do operador da retro-escavadeira para reconhecer até que profundidade se encontra a camada de solo orgânico, e quando começa a camada de solo argiloso. Normalmente o operador se guia pela coloração mais escura do solo e a presença de maior quantidade de raízes, embora nem sempre estas características tenham uma distribuição uniforme na jazida. Em geral, esta camada mede de 20 a 30cm. Na seqüência é extraída a camada mais clara que, posteriormente, servirá como material de preenchimento dos taludes de estabilização e como material de contenção das bacias de decantação. A

estocagem do solo argiloso, tal como foi observada, forma uma pilha com mais de 4m de altura.

Também foi observado que um volume menor de solo orgânico estava colocado em leira com altura de 2m, como aconselha a literatura mas, em ambos os casos, não havia presença de cobertura vegetal, ou algum outro procedimento para a proteção do solo estocado. Embora o local de armazenagem pareça contar com boa drenagem, o tempo que o solo se mantém nesse lugar (seis meses no mínimo) faz necessário algum tipo de cobertura temporária, para evitar a redução da matéria orgânica (tais cuidados deveriam ser observados).

O retaludamento das áreas atingidas pela lavra é realizado de maneira concomitante ao seu desenvolvimento, de maneira que reduz substancialmente processos de erosão ou de instabilização. As operações de beneficiamento são em circuito fechado, havendo duas bacias de rejeito que alimentam águas clarificadas para uma terceira lagoa, da qual novamente transporta-se a água para os processos de extração e beneficiamento. Este rejeito constituído por frações mais finas é direcionado para preenchimento de cavas antigas formadas pela lavra, sendo este um procedimento importante na recuperação destas áreas.

Uma indicação efetiva sobre a distribuição granulométrica do rejeito do processo de beneficiamento de areia na Mineração Viterbo é o estudo de Whitaker (2001) . O autor caracteriza o material residual, para diferentes profundidades, entre 0,5 e 4m em duas bacias atuais, ainda em operação. A análise indica que 50% do material é argiloso (diâmetro abaixo de 0,15mm) e o seu complemento é constituído por areia fina. Outra pesquisa conduzida por Cuchierato (2000) sobre a distribuição granulométrica de amostras de uma das bacias indica que aproximadamente 40% do material encontra-se como fração argilosa e 60% como areia fina demonstrando certa coerência entre os estudos realizados.

Foto 3 - Bacia de disposição de rejeitos em processo de secagem natural para

posterior revegetação.

6.1.3 Áreas recuperadas

Todos os taludes finais ou limítrofes das áreas de lavra estão plantados com capim braquiária (*Brachiaria* sp), capim colônio (*Panicum* sp.) e capim marmelada (*Brachiária plantagínea*). Os taludes das bacias de decantação estão recobertos por braquiária. A mata ciliar existente nas margens do córrego que atravessa a propriedade está sendo enriquecida, percebendo-se uma diversidade maior de espécies em relação aos demais lugares revegetados. Os plantios da revegetação nas bacias de decantação são realizados após o seu esgotamento e o período de percolação natural e de evaporação da umidade, até que a sua superfície esteja seca. Assim, nestas áreas, verificou-se revegetações com três, cinco e nove anos de idade de plantio, e uma área pronta para ser plantada. Nesta constatou-se o crescimento espontâneo de um capim duro denominado capim rabo-de-burro (*Andropogon*

bicornis), que mesmo nas condições adversas da superfície, não parece ter problemas de desenvolvimento. O início da preparação do terreno para o plantio das revegetações se dá após a secagem completa da bacia, processo que demora cerca de dez a doze meses. Após este tempo, o lodo torna-se firme, de tal maneira que já é possível caminhar na sua superfície, o que não acontece com apenas cinco ou seis meses. Quando se atinge a condição de firmeza da superfície significa que o terreno está pronto para iniciar as atividades de manejo de solo.

O plantio de três anos foi implantado em função das características impostas pelo regime hídrico do córrego existente na mineração, buscando adensar fragmentos de mata ciliar que ocupam faixas desta drenagem. A área de revegetação com cinco anos, compreende aproximadamente 2ha. Para a condução do plantio nesta área, o solo argiloso estocado foi colocado sobre a superfície com auxílio de pá carregadeira e caminhão basculante. A altura da camada variou de 10 a 20cm, na sequência foram abertas covas de 80cm de diâmetro e 2m de profundidade com um espaçamento de 3 x 3m. Cada cova foi preenchida com uma mistura de solo orgânico e 50g de adubo. As mudas variavam de 0,6 a 1m de altura. A manutenção é realizada até o presente, e compreende coroamento e corte do mato com máquina duas vezes por ano, uso de formicida granulado e adubação dirigida nas covas.

Na área revegetada há nove anos, segundo consta no PRAD (1991), realizou-se a disposição de uma camada de solo de 0,5m sobre a superfície do rejeito. Essa camada continha uma mistura de solo orgânico e solo argiloso. Em seguida foi implementada semeadura de duas espécies herbáceas gramíneas: capim braquiária e capim gordura (*Melinis minutiflora*), com semeadura a lanço envolvendo 8 e 14kg de sementes, respectivamente. Na época, estas espécies foram escolhidas com o objetivo de oferecer uma cobertura vegetal rasteira e restrita ao uso destas espécies, cujo sistema radicular não ultrapassasse a camada de solo disposta sobre a superfície. Após nove anos, observa-se o crescimento espontâneo de espécies arbóreas que tiveram uma tendência a crescer nas beiradas da bacia onde se distinguem setores com maior concentração de plantas. Também observam-se clareiras onde há crescimento intenso de plantas herbáceas com alturas entre 1 e 1,5m local de acesso mais difícil. Não houve, ao longo do tempo, nenhum tipo de manutenção, pois as

gramíneas semeadas tiveram desenvolvimento rápido formando uma densa camada de vegetação quatro a cinco meses depois.

Na mineração, existe um pequeno viveiro que eventualmente produz mudas, mas que funciona, também, como local de estocagem e guarda temporária de mudas compradas. As sementes das mudas produzidas provém do IF (Instituto Florestal), Esalq, UNICAMP e o Instituto de Botânica de São Paulo. Um destaque especial é a presença de uma área de aproximadamente 50ha de mata nativa, contígua às áreas de operação, a qual dista cerca de 300m do local das revegetações e das antigas bacias de decantação.

6.1.4 Custos de revegetação

Os custos de recuperação não são diferenciados dos demais custos, visto que são realizados com máquinas e pessoal da empresa, portanto estão diluídos nos custos operacionais. A movimentação de terra foi apontada como sendo o custo mais elevado dentro das operações realizadas.

6.2 Minerações em Taubaté (Vale do Paraíba)

Foram visitadas : Mineração Aoki, Mineração Paraíba do Sul e Mineração Cinco Lagos. Constituem exemplos típicos da atividade de mineração da região. Trata-se de empreendimentos de pequeno a médio porte, muitas com estrutura administrativa familiar e com certa resistência à implementação de técnicas ou procedimentos de aperfeiçoamento da engenharia em geral. As visitas tiveram o acompanhamento de especialistas da AGRA- Consultores Associados, empresa que detém uma carteira significativa de clientes da mineração regional para realização de serviços especializados sobre aspectos ambientais e da legislação minerária.

Com relação aos procedimentos de RAD, é possível verificar uma certa evolução de concepção e prática por parte dos mineradores, desde a Resolução SMA 18/89 que define e estipula o prazo de apresentação de PRAD. O resultado é que alguns trabalhos de recuperação já foram implantados, sendo que a Resolução SMA 42/96 forneceu um elenco de medidas para levar adiante os trabalhos de recuperação. Alguns mineradores que seguiram tais prerrogativas perceberam os resultados

positivos, e atualmente existem inúmeras revegetações implantadas em diferentes estados de desenvolvimento.

Foto 4 – Exemplo de dragagem em cava submersa.

Segundo os profissionais da AGRA que acompanham tal evolução, o convencimento do minerador para a recuperação de uma área minerada é um trabalho lento e exige muita paciência e perseverança. O fato de impor-se uma lei não assegura que esta será cumprida, mas sim a demonstração dos benefícios logrados, ao longo do tempo, fator de convencimento que tem se mostrado mais eficiente.

6.2.1 Método de lavra

As minerações de areia em Taubaté utilizam o método de dragagem em cava submersa ao longo da planície aluvionar do rio Paraíba.

As atividades de lavra compreendem as operações:

- os locais utilizados para lavra são formados prioritariamente por pastagens ou zonas de agricultura. Uma vez definida, a área a ser minerada, realiza-se o corte e retirada da vegetação eventualmente existente no local;

- a operação seguinte é a retirada do solo orgânico com profundidades que atingem até 0,5m e a retirada do capeamento que usualmente corresponde a uma camada de solo argiloso que pode variar de 1 a 2m de profundidade;
- após o decapeamento atinge-se a camada de areia e normalmente também o lençol freático, cujo volume de água surge na superfície, permitindo assim a aplicação de um método de lavra através de dragagem hidráulica e formando cava submersa. Na zona de Taubaté a camada de areia geralmente é de 6 a 7m, sendo que em outras zonas do Vale do Paraíba do Sul, esta camada pode atingir 20m ou mais;
- a operação de dragagem consiste na transferência da polpa de areia extraída do fundo da cava para seu posterior beneficiamento. O uso da água costuma ser em circuito fechado (reaproveitamento). Uma regra geral estabelecida pela SMA preconiza que se as cavas formadas tiverem superfícies menores que 20ha a distância entre elas deve ser de 50m. Caso as cavas sejam maiores que 20ha o espaçamento entre elas deve ser de 100m. Uma vez esgotada a camada de areia, o resultado final é uma lagoa com um espelho de água com profundidades em torno de 5 m; e
- após a dragagem ocorrem as operações de beneficiamento envolvendo processos de lavagem com classificação de areia em caixas e silos havendo a separação dos rejeitos formados pelo material muito fino (frações argilosas), da fração cascalho (sub-produto), bem como a armazenagem e expedição dos produtos principais que serão comercializados (areia fina, média e grossa). O rejeito fino é depositado novamente na cava formada.

6.2.2 Recuperação das áreas mineradas

A Resolução SMA 42/96 obrigou às minerações de areia a atenderem uma série de exigências para obtenção da licença ambiental, e estabeleceu várias medidas para a recuperação das áreas degradadas nas minerações de areia do Vale do Paraíba. Em linhas gerais, os procedimentos de revegetação devem contar com espécies arbóreas nativas distribuídas entre espécies pioneiras, secundárias iniciais, secundárias tardias e climáticas, evitando o predomínio de determinada espécie. A

área será considerada revegetada quando for constatado o sombreamento total, ou quando as árvores atingirem uma altura média mínima de 3m, devendo haver: um aproveitamento da camada superior do solo nas áreas a revegetar; adoção de medidas relativas à fertilidade; cercamento das áreas revegetadas para impedir trânsito no local e o acesso de animais; plantio de cortina vegetal no perímetro do empreendimento; manutenção das áreas revegetadas; estabilização dos taludes; e monitoramento da qualidade da água.

Estas são algumas das orientações principais sobre medidas corretivas que as minerações estão implantando nos empreendimentos. As áreas submetidas a revegetação com espécies nativas correspondem à mata ciliar do rio Paraíba do Sul, com largura de 100m, conforme o Código Florestal e faixas de entorno das lagoas formadas com largura de 50m, conforme define a Res. CONAMA 004/85, considerando tais faixas como reserva ecológica. Outras áreas revegetadas são a formação de cortinas vegetais no perímetro do empreendimento e, eventualmente, áreas de disposição de rejeitos do beneficiamento ou aquelas onde foram localizadas antigas operações produtivas (pátios de manobras, estocagem, unidades de lavagem e peneiramento de areia, etc.).

As minerações visitadas pertencem ao grupo denominado “Núcleo de Recuperação de Áreas de Mineração do Vale do Paraíba”, o qual organizou e mantém um viveiro comum que produz 100.000 mudas por ano de espécies arbóreas nativas. As sementes são compradas do IPEF (Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais) e do IF (Instituto Florestal). As mudas são utilizadas nos trabalhos de revegetação das áreas dos mineradores que pertencem ao Núcleo. O viveiro encontra-se numa área doada pela Mineração Paraíba do Sul.

Foto 5 – Viveiro do Núcleo de Recuperação de Áreas de Mineração do Vale do Paraíba.

6.2.3 Mineração Aoki

Este empreendimento está localizado ao sudoeste do Município de Tremembé no Bairro Guedes, situa-se num terraço fluvial, na margem direita do Rio Paraíba do Sul, e apresenta topografia semi-plana com a ocorrência de várzeas alagadiças. A área total compreende 40,5ha, dos quais 20ha são para lavra de areia, sob a forma de cava submersa utilizando duas frentes de lavra isoladas. Dentro da abrangência de 5km na margem direita do rio, encontram-se mais cinco empreendimentos extratores de areia e áreas de várzea com culturas de arroz. Na margem esquerda há outros cinco empreendimentos extratores de areia, culturas de arroz e duas cavas abandonadas. A presença de mata natural dentro do entorno abordado é pouco significativa, existindo só um aglomerado vegetal de maior destaque a 500m de distância.

A atividade de recuperação inclui a revegetação de uma faixa de preservação permanente de 2,5ha. Está planejado também o acerto final dos taludes das duas cavas formadas para que atinjam, no máximo, dezessete graus de declividade e a revegetação das áreas entre as cavas e do entorno destas, totalizando

aproximadamente 9,6ha de revegetação. Antes das atividades de lavra a área estava recoberta por pastagem sem manejo (pasto sujo) e predominavam espécies como: capim rabo-de-burro, capim amargoso (*Digitaria insularis*), sapê (*Imperata brasiliensis*) e grama. Dentro do empreendimento também ocorrem algumas manchas de vegetação arbórea com características de capoeira em estágio médio de regeneração que perfazem uma área de 5,5ha, tendo sido preservadas pelo empreendedor. Nestas capoeiras, as espécies de maior destaque são leiteiro (*Sapium* sp.), cubantã (*Cupania vernalis*), açoita cavalo (*Luehea divaricata*), marinheiro (*Guarea guinensis*) e ingá (*Inga* sp.).

O capeamento no local varia de 0,5 a 6m formado por solo argilo-arenoso cinza amarronzado. A medida que vão sendo extraídos, o solo orgânico e o restante do capeamento são armazenados temporariamente para posterior uso na revegetação e no retaludamento das cavas. Não se observou maiores cuidados na estocagem do solo. Uma boa medida em casos como este seria a utilização de adubos verdes, que protegem o solo da lavagem na época de chuvas ao mesmo tempo que o enriquecem ao serem enterrados.

A porção de 2,5ha de faixa ciliar foi revegetada há três anos, onde o plantio foi feito em leiras com espaçamento de 4m entre leiras e 1m entre plantas. As espécies utilizadas, segundo o informado, foram nativas ou adaptadas à região numa proporção de 75% pioneiras e 25% secundárias tardias e climácicas plantadas ao acaso. O plantio foi precedido pelo preparo de solo que incluiu a reposição de solo orgânico e adubação com a formulação NPK, na proporção 10:28:6, acrescido de boro e zinco. Para a manutenção, que é realizada até o presente, as plantas recebem adubação e corte de mato periódico, havendo um controle rigoroso de formigas cortadeiras. Na visita foi observado que o dossel ou camada de folhagem das árvores ainda não é contínuo, pois as linhas de plantio ainda não estão fechadas. As plantas apresentam-se sadias e vigorosas com bom crescimento horizontal das ramas que proporcionam sombreamento parcial, apresentando alturas que variam entre 2,5m e 5,5m. Os trabalhos de revegetação foram realizados por um grupo terceirizado que se dedica exclusivamente a esta atividade. As mudas provém do viveiro do Núcleo de Recuperação, mas não foi possível ter informação das espécies que foram utilizadas. As informações coletadas indicam que o maior problema para o desenvolvimento da

revegetação é a invasão e pisoteio do gado, que determinou o cercamento da área em todo seu perímetro.

As mudas plantadas neste local estão tendo bom desenvolvimento, portanto, já seria aconselhável incentivar o crescimento espontâneo de espécies deixando de realizar o corte semestral do mato. Como a propriedade encontra-se à beira da estrada, nota-se que a superfície das folhas está com uma camada de poeira, fato que, dependendo da frequência, pode acarretar uma diminuição no desenvolvimento, ou até a morte de algumas plantas. Seria aconselhável avaliar se a prática de umectação que se realiza nas vias de acesso está cumprindo com os objetivos traçados.

6.2.4 Mineração Paraíba do Sul

O empreendimento situa-se próximo ao Km 6,5 da Estrada Taubaté-Campos de Jordão, distrito de Quiririm. Possui 674ha, sendo 75ha de mata ciliar beirando o rio Paraíba do Sul. Segundo consta no EIA, esta mata pode ser classificada como sendo uma floresta secundária avançada por possuir abundância de lianas e epífitas, fustes grandes e madeiras geralmente duras e pesadas. As espécies existentes são das famílias Leguminosae, Moraceae, Lauraceae, Compositae, Euphorbiaceae, Rutaceae e Caesalpiniaceae. O restante da área é formado basicamente por uma vegetação de pasto (*Brachiaria decumbens*) e pasto sem manejo. Os trechos circunvizinhos do rio onde não se encontram sinais de mata ciliar, a não ser algumas gramíneas e arbustos, são as áreas que serão revegetadas com espécies nativas.

Esta mineração extrai areia desde 1983 e possui várias frentes de lavra, dentre as quais foram visitadas e observadas uma cava desativada, e uma área de mata ciliar com revegetação de dez anos.

A cava está desativada há quatro anos, suas dimensões são de, aproximadamente, 500m de extensão, 100m de largura e, um espelho de água de 3 a 5m de profundidade. Foi realizada a revegetação de 6,7ha de mata ciliar e 2,5ha de matas de contenção do contorno do lago. As espécies utilizadas, neste caso são, na sua maioria, frutíferas visando fornecer alimento para os peixes no lago.

Atualmente, as árvores apresentam alturas que variam de 4 a 10m. Espécies como o guapuruvu (*Schizolobium parahyba*) e a embaúba (*Cecropia pachystachia*)

apresentam maior desenvolvimento. Não se observam processos de erosão ou instabilização tendo em vista que os taludes da cava encontram-se estabilizados e revegetados com espécies rasteiras. Nas atividades de revegetação, desta cava, em particular, a AGRA vem oferecendo as diretrizes principais e acompanhando os resultados, mas é o minerador quem acaba colocando em prática o tipo de manejo que lhe parece adequado, tanto do solo, como dos cuidados de manutenção. No caso do manejo do solo, houve reposição de uma camada não determinada de solo argiloso e depois reposição de solo orgânico com uma camada de 15cm e fertilização NPK na proporção 4:14:8, bem como o controle de formigas com gás formicida. As principais dificuldades citadas na manutenção da revegetação são as formigas, a invasão e pisoteio de gado, os incêndios e o corte, por vandalismo, das árvores em estágios iniciais de crescimento.

O plantio foi feito em leiras com espaçamento de 3m entre leiras e 3m entre plantas. Quanto ao método de plantio na mata ciliar, a atividade foi conduzida respeitando a diretriz da presença de 75% de espécies heliófitas e 25% de espécies tolerantes à sombra, dispostas ao acaso sem uma disposição específica entre elas. Como não se percebeu mortalidade de mudas, pode-se supor que as mudas tolerantes à sombra que foram plantadas se adaptaram ao tipo de plantio realizado. Todavia, seria preciso fazer um reconhecimento das espécies e suas características para confirmar esta afirmação.

O responsável pela condução da revegetação é o dono da mineração fazendo questão de ser ele próprio quem dirige os trabalhos de manutenção. Há um caseiro que toma conta do lugar cuidando principalmente de evitar a entrada de pessoas ao local com finalidade de evitar queimadas, ou mesmo por questões de segurança, envolvendo afogamentos de nadadores imprudentes. Outro fato constatado é que nesta cava não se realiza nenhum tipo de monitoramento das plantas, solo ou água.

Na entrada do local da mineração Paraíba do Sul existe uma cortina vegetal incomum, pois é composta de espécies nativas pioneiras com uma altura média de 7m de altura e com espécies de até 10m de altura. É de se destacar que houve enriquecimento com espécies secundárias tardias há três anos, embora tais mudas não tenham conseguido desenvolver-se, e sua altura não exceda 80cm.

Foto 6 - Revegetação com pouca variabilidade de espécies nativas (nove anos).
Mineração Paraíba do Sul.

Outra cava, no mesmo empreendimento, desenvolveu um trabalho de recuperação da mata ciliar (Foto 6). A cava tinha chegado a 30m do rio Paraíba; como o Código Florestal determina que, neste caso, a APP deve ter uma largura de 100m, foi necessário, primeiramente o aterramento da cava por uma faixa de 70m, atividade que foi realizada com material de empréstimo e com a utilização de retro-escavadeiras. Foi conduzida a chamada “troca de solo” que consiste em fazer a escarificação ou revolvimento da superfície compactada, antes da colocação do solo orgânico, numa camada de 20cm. O plantio foi realizado em covas com um distanciamento de 4m entre linhas e 1m entre plantas. As espécies foram dispostas ao acaso e ainda sem respeitar a diferenciação na porcentagem estabelecida para espécies pioneiras, secundárias tardias e climácicas. Observou-se somente dois tipos de espécies, embora com resultados de sombreamento quase total e alturas das plantas entre 10 e 12m.

Apesar da ausência de manutenção envolvendo corte de herbáceas, nesta revegetação não se observa crescimento espontâneo de nenhuma espécie, nem arbórea nem herbácea, e também não se constata a presença de serrapilheira. Deste fato, pode-se concluir que as espécies plantadas não são atrativas para a fauna, que colabora trazendo propágulos de áreas vizinhas, sendo conveniente um

enriquecimento da área com espécies vegetais atrativas para esses animais, mas lembrando que tais espécies deverão ser tolerantes à sombra. As informações obtidas indicam que não se realiza nenhum tipo de monitoramento seja na cava, no solo ou na revegetação, e também não tem ocorrido visitas dos órgãos fiscalizadores. Esta mineração é um exemplo onde áreas mineradas antigas estão dando lugar a zonas revegetadas que, de outra maneira, seriam meras pastagens como ocorria previamente à atividade mineradora.

6.2.5 Mineração Cinco Lagos

O empreendimento situa-se na fazenda Raposos no bairro dos Guedes em Tremembé e ocupa uma área total de 32ha, que se localiza num terraço fluvial na margem direita do rio Paraíba do Sul. A empresa extrai areia há nove anos, utilizando o método já descrito para as minerações nesta zona. No início da lavra, a área estava recoberta predominantemente por pastagens sem manejo, com espécies como capim rabo-de-burro e sapé, com algumas ocorrências de embaúba, aricurana e cambará (*Gochnatia polymorpha*) dispersos.

Nos limites da propriedade ocorrem duas manchas de mata secundária onde, segundo o memorial de caracterização do empreendimento, foram identificadas dezenove espécies de árvores com predomínio de duas espécies: canela-brava e cavatã-miúdo.

A revegetação está sendo realizada num total de 12,8ha incluindo a faixa de preservação permanente e o contorno dos dois lagos. Atualmente, grande parte da área de mata ciliar já está revegetada. Anteriormente, estas áreas foram utilizadas como pátio de manobras e zona de disposição da areia. Por ser área de mata ciliar, a faixa a revegetar deve ter uma largura mínima de 100m, e as espécies utilizadas devem ser nativas. Na parte central encontra-se uma formação remanescente de mata ciliar secundária de 1,8ha, o que incrementa a presença de pássaros e outros animais que ajudam na disseminação de sementes. A revegetação mais antiga tem sete anos, local onde se realizou a segunda fase de campo para avaliação de desempenho da

revegetação. Há outra revegetação com um ano e meio de plantio. Na parte central encontra-se a cava ainda em operação.

Este empreendimento faz limite com outras duas minerações, que apresentam revegetações pouco desenvolvidas. É possível observar, em outro empreendimento próximo, áreas que não tiveram sucesso com a revegetação, apresentando quase a totalidade de mudas mortas.

As atividades de revegetação incluíram a preparação do solo com uma primeira reposição, de uma camada com 1m de solo argiloso, e a seguir a reposição de uma camada de 30 a 40cm de solo orgânico. O plantio foi feito em leiras, e as espécies escolhidas foram plantadas ao acaso. A disposição em leiras foi uma tentativa de melhorar a drenagem e evitar o alagamento das plantas, fato bastante freqüente no tempo de chuvas devido à proximidade com o rio. As mudas acomodadas na crista da leira perdem menos solo e ganham mais arejamento das raízes. Atualmente, as plantas têm alturas que variam de 2 a 12m. Foram constatados dois tipos de espaçamentos: metade da área tem o espaçamento de 6m entre leiras e 1m entre plantas; e a outra metade tem 3,5m entre leiras e 3m entre plantas. No primeiro caso, devido ao grande espaçamento entre leiras, no início foi possível o trato mecanizado que consistia em fertilizar e realizar o corte de vegetação herbácea com trator. Tal atividade atualmente já não é possível, pois se observa o crescimento espontâneo de espécies arbóreas entre as leiras. O dossel é contínuo, mas o sombreamento ainda não é total devido a grande distância entre leiras. No distanciamento de 3,5 x 2,5m, o dossel ainda não é contínuo, há maior presença de plantas herbáceas, e menor sombreamento. Nesta área não houve trato mecanizado. Para o controle das espécies herbáceas invasoras do mato, foram utilizados herbicidas durante três anos. Houve também, controle químico de formigas nesse período.

Atualmente, as atividades de manejo do solo consistem, tal como foi observado, na retirada do solo orgânico da cava de extração e sua imediata reposição nos antigos pátios de extração, onde previamente foi acondicionada uma camada de solo argiloso. Antes da colocação do solo, realiza-se a escarificação da superfície compactada, atividade que na região é denominada “troca de solo”. Estas práticas poderiam ser aperfeiçoadas, realizando-as em tempo de seca ou quando o terreno não se encontra muito úmido ou alagado, evitando assim, nova compactação. A camada de solo orgânico colocada atinge em torno de 40cm de altura.

Foto 7 – Revegetação com sete anos. Observa-se crescimento espontâneo de arbóreas entre linhas. Mineração Cinco Lagos.

Numa outra área revegetada, com um ano e meio de plantio e distanciamento de 3x 2m, observou-se uma variedade maior de espécies. Embora as linhas de plantio não estejam fechadas, as mudas apresentam-se vigorosas e com mortalidade mínima. Atualmente existe mais oferta de mudas de espécies nativas sendo oferecidas na região, do que oito anos atrás, e o manejo do solo é feito com maior cuidado.

6.2.6 Custos de revegetação

Com relação às minerações em Taubaté, informações obtidas através da AGRA S.A. indicam que, na região de estudo, para cada muda plantada os gastos de implantação e manutenção são de aproximadamente **R\$ 1,50** por um período de três anos. A prática usual estabelece um plantio de **1.600 mudas/ha**, logo o custo de produção das mudas, plantio e manutenção resultaria em torno de **R\$ 2.400,00**. Considerando-se a prática de reposição de mudas, a soma chegaria ao valor aproximado de **R\$ 3.000,00/ha**. Os custos do reafeiçoamento da superfície e reposição do solo não estão considerados neste valor e correspondem aos trabalhos de estabilização da área minerada. Um valor de referência encontrado no Memorial de Caracterização do Empreendimento da Mineração Aoki indica que, o custo para as atividades de recuperação representam menos de 0,5% do rendimento bruto do empreendimento, ao longo da sua vida útil (vinte e dois anos).

6.3 Mineração Itaquareia

A empresa desenvolve a extração em várias frentes de lavra na região de Itaquaquecetuba. Os trabalhos de observação abrangeram as unidades designadas como portos 1 e 9.

O método de lavra é por desmonte hidráulico e o beneficiamento envolve processos de lavagem basicamente para eliminação das frações argilosas, transferência de rejeitos finos para bacias de decantação, peneiramento para separação do cascalho e armazenamento de areias classificadas em silos e pilhas a céu aberto.

6.3.1 Portos 1 e 9

A cava do porto 1, cuja operação data desde 1964 e com previsão de estender-se por mais cinco anos, encontra-se na zona urbana da cidade de Itaquaquecetuba. Tem uma extensão aproximadamente de 3 km por 300 a 400m de largura e uma profundidade que chega até 40m. Parte da cava já desativada tem sido licenciada para disposição de resíduos inertes, enquanto o plano futuro para a cava restante é o enchimento total desta com água para a formação de um lago. O uso da

água das operações de lavra e beneficiamento é em circuito fechado. A lavra utiliza desmonte hidráulico e operações de transferência por sistemas de dragagem hidráulica com bombeamento da polpa em um ou mais estágios até as instalações de beneficiamento.

O Porto 9 encontra-se situado no Município de Mogi das Cruces, no local denominado São Bento, Próximo a Rodovia Ayrton Senna. A lavra e o beneficiamento utilizam operações similares àquelas já comentadas para o Porto 1.

6.3.2 Recuperação das áreas mineradas do Porto 1

A cava foi sendo ampliada paralelamente ao rio Tietê, e as atividades de recuperação da mata ciliar se desenvolveram durante esta fase. Há plantios com espécies nativas numa faixa de aproximadamente 3km em diferentes estágios de desenvolvimento, totalizando 11,24ha de área revegetada. Numa das margens da cava encontra-se em processo de reafeição superficial para posterior implantação da cortina vegetal com sansão do campo (*Mimosa caesalpinelifolia*) projetada em três taludes, visando promover isolamento visual e físico da área, dificultando o acesso à cava. Esta espécie é de rápido crescimento e promove fechamento robusto quando plantada com pequeno espaçamento.

A faixa revegetada com espécies nativas tem uma largura de 50m, cortada por uma estrada de manutenção de aproximadamente 8m de largura, que terá que ser desativada no futuro e incorporada ao plantio, para atender à largura mínima de mata ciliar estabelecida para esta área. Como a superfície deste trecho está muito compactada pelo trânsito de veículos, deverá ser realizado um trabalho intenso de escarificação antes da adição de solo argiloso e orgânico e da implantação da vegetação.

A preparação do solo das áreas revegetadas incluiu a abertura de valas de 80cm de profundidade e a adição de um composto orgânico proveniente da Usina Vila Leopoldina. O composto adicionado foi revolvido na área com auxílio de retro-escavadeira e deixado em descanso por aproximadamente um mês. Transcorrido este prazo, foi adicionada uma camada de solo orgânico de 20cm e procedeu-se ao plantio com a abertura das covas. Este procedimento parece ser mais vantajoso que a

“troca de solo” realizada nas minerações em cava submersa facilitando a formação de agregados, aumentando a porosidade e melhorando a atividade microbiana. É importante mencionar que esses benefícios são ampliados pelo uso do composto que melhora as propriedades do solo.

Foto 8 – Detalhe do composto orgânico adicionado ao solo. Revegetação com dois anos. Mineração Itaquareia.

As áreas revegetadas têm diversos estágios de desenvolvimento pois o tempo de plantio é variável (dois, quatro e seis anos). As plantas com quatro anos de idade têm de 1,5 a 2m de altura, proporcionam sombreamento parcial, e apresentam bom estado fitossanitário, não tendo sido observados sinais de deficiência nutricional ou infestação por parasitas.

Foram utilizados dois modelos de distribuição de mudas em campo: nos locais onde havia pequenos fragmentos de mata, ocorreu um plantio de enriquecimento aleatório sem alinhamento e realizado em covas. Nas áreas sem vegetação, o plantio foi realizado em linhas, com abertura mecanizada de valas de 0,8 a 1m de largura, 0,8m de profundidade e 3m de espaçamento entre linhas. Nas valas e covas adicionaram composto orgânico com aplicação de calcáreo para correção de acidez. Nos plantios mais antigos já se observa o crescimento espontâneo de espécies arbóreas entre as linhas. Atualmente vem sendo realizado o replantio com substituição de mudas por outras da mesma espécie ou estágio sucessional.

Há dois funcionários encarregados dos trabalhos de manutenção realizando atividades como: corte seletivo de espécies invasoras e competitivas, deixando as espécies arbóreas, irrigação, controle de insetos por catação, entre outras. Eles seguem as orientações dos proprietários da mineração, que são os responsáveis pelas atividades de revegetação, embora tenha sido declarado que existem certas diretrizes estabelecidas por um biólogo que presta serviços à empresa. Dois anos atrás começou um trabalho de monitoramento que está sendo conduzido por este consultor.

6.3.3 Recuperação das áreas mineradas do Porto 9

Neste local existe uma área, antigo pátio de manobras, revegetada há quatro anos com espécies nativas, onde as plantas encontram-se com uma altura de 2 a 2,5m. As técnicas utilizadas são as mesmas já citadas para o Porto 1. Outra área adjacente nos limites do empreendimento encontra-se revegetada com pinus, formando uma cortina vegetal. O plantio foi realizado há seis anos, e não houve nenhuma reposição de solo nem adição de fertilizante ou qualquer outro produto. O material usado como substrato provém de material de reposição da construção de uma antiga ferrovia. Embora as árvores estejam com bom desenvolvimento, não se observa o crescimento espontâneo de nenhuma outra espécie, seja herbácea ou rasteira. No total a área revegetada deste porto é de aproximadamente 3ha.

Dentre as atividade de manejo, o solo retirado da superfície é estocado sem nenhum tipo de cuidado, simplesmente amontoado a céu aberto e sem cobertura.

Considerando que sua utilização ainda terá que esperar pelo menos uns oito meses deveriam ser tomadas providências para melhorar a estocagem.

Parte da cava desativada é usada como bacia de decantação, havendo um plano de revegetá-la, embora ainda não esteja definido o tipo de revegetação e nem o uso futuro para esta área. Existe uma tubulação feita pela empresa para a captação de água de uma nascente situada numa área profunda próxima à cava servindo também como ponto de convergência das águas de chuva das áreas adjacentes. A água recolhida da nascente é encaminhada ao viveiro para irrigação das mudas.

Há dois funcionários encarregados pelos cuidados com as áreas plantadas e o viveiro estabelecido no local. Como existem áreas com mata, a colheita de sementes para a produção de mudas é feita na própria zona, diferentemente das outras minerações visitadas que compram as sementes. Os proprietários do empreendimento treinam o pessoal, organizam e gerenciam as atividades de revegetação. De maneira geral, pode-se considerar que as áreas revegetadas estão tendo bons resultados no que se refere ao desenvolvimento das mudas e à regeneração natural. Quanto à adequação da diversidade de espécies utilizada e seu tipo de plantio, tal avaliação necessitaria de estudos mais pormenorizados.

Foto 9 – Revegetação de 6 anos com espécies nativas. Mineração Itaquareia, Porto 1.

6.3.4 Custos de revegetação

Os custos com a revegetação não tem destaque dentro dos gastos totais da empresa. De acordo com os responsáveis, na forma como a recuperação está sendo conduzida não há necessidade de um orçamento específico, ficando assim diluídos no cômputo geral dos gastos operacionais.

6.4 Observações gerais sobre custos

A revegetação de uma área degradada por mineração de areia envolve (1) custos de implantação e (2) custos de manutenção.

(1) Custos de implantação. Podem ser subdivididos em:

- **custos de movimentação de terra** referem-se a todas as atividades conduzidas na superfície do terreno, incluindo a construção do sistema de drenagem, retaludamento, redistribuição de solo e outras operações de manejo; e
- **custos da implantação da vegetação** no qual incluem-se as atividades de aceiramento, combate às formigas, o coveamento ou enleiramento, adubação e o plantio propriamente dito. Os insumos utilizados são adubos, mudas, formicidas e herbicidas. O item que mais pesa na implantação é o custo das mudas. Atualmente o preço de cada muda com 0,3 a 0,5m de altura, em saquinhos, custa entre **R\$ 0,80 a R\$ 1,00** (dados obtidos de fornecedores de mudas). Caso sejam produzidas em viveiro próprio pode resultar mais econômico; um exemplo é o Núcleo de Recuperação de Áreas de Mineração do Vale do Paraíba, onde seus integrantes mantêm um viveiro comum e produzem as mudas conjuntamente visando baratear os custos de produção das mudas.

(2) Custos de manutenção.

Durante as observações de campo constatou-se que nas minerações, os gastos com manutenção restringem-se a dois itens básicos: a mão de obra de um ou dois empregados que se encarregam dos plantios, e os insumos utilizados. Após o plantio, é preciso manter novos ciclos de atividades do capinamento, complementos ou correções de adubação, observação no controle de formigas e no coroamento, e outros, dependendo do estado das mudas. Faz-se necessário também realizar o

replântio ou reposição de mudas mortas. O mínimo recomendável é a condução deste ciclo duas vezes ao ano. Esporadicamente, quando as atividades assim o exigem pode haver reforço com mão de obra adicional. Os insumos utilizados são os convencionais, ou seja, adubos, formicidas e herbicidas. A manutenção deve ser realizada até que as mudas atinjam, pelo menos, os três metros de altura, o que normalmente acontece após três anos do plantio.

Dados de caráter geral envolvendo custos de implantação e de manutenção da revegetação das minerações de Taubaté, fornecidos pela AGRA S.A., indicam o valor de **R\$ 1,50** para cada muda plantada, englobando desde sua aquisição até que se torne uma árvore de três metros. Este valor significa **R\$ 3.000,00/ha** para a implantação e manutenção de um hectare de área revegetada (1.600 mudas com o respectivo replântio).

Na revista Florestar Estatística (1994) encontrou-se valores de referência para custos da implantação e manutenção de florestas com espécies nativas, em áreas ocupadas por diversos tipos de vegetação ou aterradas da região de Mata Atlântica do Estado de São Paulo. Realizando-se as devidas conversões para a implantação de 1.600 mudas, que é o mínimo exigido na revegetação de mata nativa das minerações, em áreas que envolvem movimentação de terra, o custo de implantação resulta em **US\$750,00**. Considerando-se, ainda, duas seqüências de tratos culturais por ano, no espaço de três anos, chega-se a um custo de manutenção de aproximadamente **US\$370,00**.

Portanto, o custo total corresponderia a **US\$1.120,00/ha**. Tomando-se um valor de conversão cambial de **US\$1,00=R\$ 3,50** (novembro/2002) obtém-se **R\$ 3.920,00/ha**. Evidentemente, flutuações da paridade cambial influenciam no cálculo, contudo há coerência entre estes valores de referência e os dados fornecidos pela AGRA S.A para revegetação de áreas de mineração.

Em síntese, pode considerar-se que, os custos de implantação e manutenção de uma revegetação com espécies nativas encontra-se na faixa de **R\$ 3.000,00** a **R\$ 4.000,00/ha**.

Os valores mencionados não incluem os custos de movimentação de terra. Nas minerações visitadas este custo não costuma ser discriminado, já que está

incorporado aos custos operacionais da lavra. Embora seja significativo, encontra-se associado às demais atividades de recuperação da área minerada que tratam do reapeçoamento topográfico e estabilização da área. A título de exemplo, com base nas informações apresentadas no PRAD da Mineração Viterbo (Unidade Parrelheiros), os custos de movimentação de terra representaram 60% do total dos custos de implantação da revegetação. Outros mineradores consultados confirmam que a movimentação de terra é a operação mais dispendiosa da recuperação como um todo. Cálculos específicos destes custos não podem ser generalizados já que o volume de movimentação de terra, distâncias de transporte, os procedimentos e configurações para estabilização, dependem de cada projeto específico de recuperação da área minerada. Finalmente, cabe comentar que, projetos mal implantados podem prejudicar o sucesso de revegetação e incorrer em custos adicionais para correção e melhoria dos resultados.

7 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DA REVEGETAÇÃO EM DOIS CASOS SELECIONADOS

Avaliação de desempenho da revegetação foi realizada nas minerações: Viterbo Machado e Cinco Lagos. Estas minerações foram escolhidas por apresentarem dois tipos característicos de recuperação em lavra de areia: áreas de bacia de decantação e áreas de mata ciliar, respectivamente. A bacia de decantação contendo os rejeitos argilosos do beneficiamento foi submetida a um processo de sedimentação e apresenta-se com camadas muito compactadas, resistentes à ruptura e penetração de raízes. A área de operação submetida à revegetação corresponde a um antigo pátio de manobras, também compactado, mas neste caso apenas superficialmente tendo sido ocasionado pelo trânsito de veículos na época. Nestas minerações selecionadas, o tipo de manejo do solo, os métodos de revegetação e as espécies utilizadas são diferentes. Mas ambas têm o objetivo comum que é a revegetação com espécies nativas, permitindo assim observar-se o desenvolvimento das mudas nestes dois ambientes. A vegetação foi avaliada mediante a aplicação dos seguintes indicadores: (a) aspecto visual da revegetação, (b) densidade de plantas, (c) altura média de plantas, e (d) número de espécies arbóreas. A porcentagem de mortalidade de mudas (e) foi utilizada como um quinto indicador de caráter complementar em conjugação com os outros indicadores.

7.1 Métodos e procedimentos de medição dos indicadores utilizados

Para as medições e observações de campo utilizou-se o método de parcelas sugerido por Rodrigues (1989), método quantitativo normalmente aplicado em formações florestais para avaliar a estrutura da vegetação. Após um reconhecimento prévio da área a ser avaliada e das condições do plantio, determinou-se uma distribuição aleatória restrita de parcelas, que consiste em estabelecer uma subdivisão prévia das áreas, com certo grau de homogeneidade, onde se aplica uma amostragem aleatória em parcelas desta subdivisão. No caso da Mineração Viterbo o fator condicionante para a subdivisão da área foi a idade de plantio (cinco e nove anos), e

na Mineração Cinco Lagos, a malha de distanciamento utilizada entre linhas de plantio e plantas (malhas 6x1m e 3,5x 2,5m).

A determinação do tamanho de parcela segundo Rodrigues (1989) está associada à diversidade florística, e fundamenta-se na área mínima necessária para a formação florestal amostrada e sua homogeneidade. Toda comunidade florestal tem uma área mínima, abaixo da qual a comunidade não se expressa. A área mínima pode ser calculada pela curva de espécie-área (Cain & Curtis, 1959 *apud* Rodrigues, 1989) que correlaciona o aumento do número de espécies com uma ampliação da área amostrada.

Outro fator a ser considerado é que a maioria das parcelas deve conter entre 20 a 70% dos indivíduos; se uma ou mais parcelas tem 100% dos indivíduos, o tamanho de parcela deve ser reduzido. Ponderando-se tais critérios em conjunto com a dimensão da área avaliada, com o distanciamento utilizado no plantio (densidade inicial), e com o número aproximado de espécies presentes, estabeleceu-se uma parcela de 360 m² (30x12m).

Sobre a decisão quanto ao número de parcelas amostrais, embora apresente um caráter arbitrário, baseou-se no princípio de que quanto maior o número de parcelas, mais precisa é a estimativa dos dados (Rodrigues, 1989). Por outro lado, o uso de um número excessivo de parcelas é ineficiente quando a variedade de espécies é pequena, caso que corresponde à situação dos casos estudados. Assim, optou-se por um tamanho de parcela representativa e um número baixo de parcelas, já que predomina uma certa homogeneidade do número de espécies plantadas.

Desta forma obteve-se:

- na Mineração Viterbo, para a revegetação com cinco anos estabeleceram-se quatro parcelas de amostragem e, para a revegetação com nove anos estabeleceram-se duas parcelas de amostragem; e
- na Mineração Cinco Lagos, para a área com distanciamento 6x1m (que será designada por área **A**) estabeleceram-se duas parcelas de amostragem, e na área com distanciamento 3,5x2,5m (que será designada por área **B**) estabeleceram-se três parcelas de amostragem.

Os critérios considerados para a condução das medidas foram:

- as parcelas determinadas devem ser claramente distinguíveis;
- as regras de inclusão do material avaliado em cada parcela tem que ser previamente estabelecidas e respeitadas;
- uma vez selecionadas a forma e o tamanho das unidades, estas devem ser as mais uniformes possíveis;
- como critério de inclusão das espécies arbóreas emergentes, determinou-se que seriam incluídas todas aquelas com altura a partir de um metro; e
- identificação das espécies plantadas ou plantas matrizes (PM), e das espécies arbóreas emergentes ou plantas não matrizes (PNM).

Os procedimentos básicos de medição e de observação estão relacionados ao tipo de indicador utilizado para a avaliação de desempenho.

a) Para a observação do **aspecto visual da vegetação**, em cada parcela, foram considerados como aspectos relevantes:

- presença de dossel contínuo ou irregular;
- presença de sub-bosque com espécies rasteiras ou herbáceas;
- presença de serrapilheira, observando-se sua espessura;
- presença de espécies arbóreas emergentes (PNM);
- mortalidade das PM;
- presença de clareiras, observando-se dimensão e origem; e
- alinhamento de indivíduos plantados, observando-se se está ocorrendo regeneração natural entre linhas.

b) A **densidade de plantas** por unidade de área foi calculada com base no número de PM e PNM, separadamente. Somando-se estes valores obtém-se a densidade total de plantas da parcela.

A expressão utilizada é:

$$D = \frac{N}{A}$$

Sendo:

D : densidade de plantas;

N : número de plantas; e

A : área total de amostragem.

A partir das densidades assim calculadas em cada parcela, obteve-se uma densidade média total do número de parcelas. Este indicador foi então convertido para a revegetação como um todo, tendo-se em conta a relativa homogeneidade do plantio e a dimensão total da área.

c) A altura média de plantas foi calculada com base na determinação das alturas das PM e das PNM, conduzidas separadamente. Para a medição das PNM, houve uma escolha prévia seguindo o critério de inclusão já citado. Para a determinação das alturas, utilizou-se como instrumento de medição uma vara de bambu com 9m de comprimento, marcada a cada metro de altura para a obtenção de uma escala referencial. Desta maneira, as plantas medidas se incluíam em intervalos de um metro cada.

Os valores individuais foram classificados segundo sua distribuição de frequências das classes de igual amplitude nos intervalos de um a dois metros, de dois a três metros, e assim sucessivamente até oito a nove metros, e valores inferidos acima de nove metros.

O indicador de altura média foi obtido pela relação:

$$A_m = \frac{\sum_{i=1}^c a_i f_i}{N}$$

Sendo:

A_m: altura média das plantas da parcela.

a_i: valor central da altura no i-ésimo intervalo considerado.

f_i: frequência ou número de plantas no i-ésimo intervalo.

c: número de classes ou intervalos.

N: número total de plantas medidas.

Uma aproximação utilizada foi a substituição da altura individual medida pelo respectivo ponto médio em cada classe para cálculo do valor de A_m , e que

deverá ser aproximadamente igual à média aritmética exata dos N dados observados, conforme fundamentado em Neto (1977).

A partir dos dados obtidos nas medições de campo, nos quais foram aplicadas as expressões discriminadas, obteve-se os resultados do número de plantas, da sua distribuição por classe de altura para cada parcela, e dos valores médios respectivos, cujos resultados encontram-se sintetizados nos Gráficos e nas Tabelas constantes no Anexo C.

d) Para o reconhecimento preliminar das **espécies arbóreas**, contou-se com o auxílio de “mateiros”, conhecedores em profundidade das espécies vegetais locais. A coleta de amostras das espécies mais representativas presentes nas áreas, foi conduzida ao Departamento de Ecologia Vegetal do Instituto de Biociências, para efeito de reconhecimento e identificação final.

e) A **porcentagem de mortalidade de mudas** foi calculada a partir do número de mudas mortas em relação ao número total de mudas plantadas em cada parcela. A identificação foi facilitada pela visualização do espaçamento entre plantas e das covas vazias.

Na Tabela 3 encontram-se os resultados finais obtidos, a partir dos valores intermediários calculados (Anexo C), para os indicadores da densidade por hectare e altura média das plantas matrizes (PM), não matrizes (PNM), e do total entre ambas.

Tabela 3: Densidade e altura média de plantas matrizes (PM) e plantas não matrizes (PNM), nas revegetações avaliadas.

Mineração	Idade	Distancia- Mento (mxm)	Densidade PM/ha	Densidade PNM/ha	Densidade Total /ha	Altura Média PM	Altura Média PNM	Altura Média Geral
Viterbo	5 anos	3x3	618	-----	618	2,03	-----	2,03
	9 anos	RN*	-----	2.000	2.000	-----	2,51	2,51
5 Lagos	7 anos	6x1	1.069	1.111	2.181	7,62	2,45	5,03
	7 anos	3,5x2,5	1.297	481	1.778	6,80	3,78	5,29

* Regeneração Natural

7.2 Mineração Viterbo Machado

Avaliou-se uma área de aproximadamente 4ha de revegetação com duas idades de plantio: cinco e nove anos, ambas implantadas em bacias de decantação desativadas. A localização das áreas revegetadas, no contexto geral da mina, é mostrada na Figura 11.

Na revegetação com cinco anos, o plantio foi realizado em covas com distanciamento de 3m x 3m. Na revegetação mais antiga não houve plantio de espécies arbóreas, e sim, semeadura a lanço de 8kg/ha de sementes de braquiária (*Brachiaria decumbens*) e 14kg de sementes/ha de capim gordura (*Melinis minutiflora*).

Alguns aspectos relevantes dos indicadores ambientais utilizados para a avaliação das áreas revegetadas são comentados na sequência.

7.2.1 Aspecto visual da vegetação

Na revegetação com cinco anos, a maioria das mudas tem pouco desenvolvimento da parte aérea, de tal forma que, as linhas de plantio não estão fechadas e proporcionam sombreamento mínimo. Isto acontece principalmente com as mudas frutíferas exóticas, constatando-se muitas covas sem mudas, o que confirma a mortalidade média de 38% encontrada (alta). O tipo de manutenção tem realizado o corte do mato a cada seis meses, e não permite o crescimento de nenhuma espécie ou formação de sub-bosque entre as linhas de plantio. A própria literatura recomenda incentivar o crescimento de herbáceas, tanto para controlar a erosão, como para melhorar as características do solo, e desta maneira, possibilitar o crescimento espontâneo de outras espécies arbóreas. O mais conveniente seria adotar o corte seletivo de mato, ou apenas o coroamento das covas, ao invés do corte total periódico, considerando a proximidade da mata nativa que, em tese, deve facilitar a regeneração natural da área.

LEGENDA

LN	Lagoa natural	AA	Área alagadiça
AR	Área de revegetação (antiga área de disposição de rejeitos)	MN	Mata nativa
BD	Bacia de decantação		Estrada de acesso
			Curvas de nível

Fonte: Adaptado da Planta de situação fornecida pela Mineração

FIGURA 11 - Localização da revegetação avaliada na Mineração Viterbo.

Na revegetação com nove anos o dossel (camada de folhagem contínua do conjunto das copas das árvores) é totalmente irregular. Há clareiras de até 10m x 10m que coincidem com as partes da bacia onde o substrato é mais compactado. Nestes espaços, o crescimento das espécies herbáceas é muito agressivo atingindo 1,5 a 2m de altura, dificultando inclusive o acesso à área. O crescimento das espécies arbóreas é mais significativo nas beiradas, provavelmente pela predominância do solo argiloso nestes locais, e que foi utilizado na contenção da bacia. Nestes grupos, observam-se numerosos indivíduos emergentes com até 2m de altura. Até o presente, as espécies arbóreas existentes são todas de crescimento espontâneo. Embora o número de espécies/ha seja alto em comparação à revegetação com cinco anos, sua disposição não é uniforme, e seria recomendável promover um enriquecimento de espécies nas áreas menos densas.

Foto 10 – Determinação da altura das plantas.

Foto 11 - Revegetação com cinco anos (distanciamento 3x3m).

Foto 12 – Revegetação com nove anos. Crescimento de espécies arbóreas, por processo de regeneração natural, no meio de plantas herbáceas.

7.2.2 Densidade de plantas

Os valores encontrados são **618 plantas/ha** na revegetação com cinco anos, e **2.000 plantas/ha** na revegetação com nove anos (Tabela 3). Na revegetação com cinco anos não foi possível realizar uma avaliação do crescimento de PNM, já que o tipo de manutenção praticada não permitiu o crescimento espontâneo de nenhuma espécie. A elevada taxa de mortalidade de mudas constatada também contribui para a baixa densidade, de apenas 618 plantas/ha.

Na revegetação com nove anos todos os indivíduos avaliados são emergentes (PNM), portanto, as medições de densidade e altura média de plantas foram feitas sem discriminação entre elas. Embora com crescimento muito irregular e presença de clareiras, a densidade de plantas é alta, tendo sido observadas muitas espécies arbóreas com até 2m de altura. Tal fato sugere que o processo de regeneração natural está se acelerando em períodos mais recentes, possivelmente devido a uma melhoria das condições do solo gerada pelas próprias plantas herbáceas. Observou-se que a maioria dos indivíduos está crescendo nas beiradas da bacia, e que as clareiras coincidem com a parte mais compactada do terreno. Comparando-se as densidades das duas revegetações, e considerando-se a baixa qualidade do solo e as boas condições para a regeneração espontânea pela proximidade da mata, avalia-se que a manutenção realizada na revegetação com cinco anos não tem sido um fator positivo. Na revegetação com nove anos, mesmo com a presença de clareiras e grande quantidade de mato existente, a regeneração vem ocorrendo o que se reflete na densidade de 2000 plantas/ha.

7.2.3 Altura média de plantas

Aplicando-se a expressão de cálculo de altura média, os valores obtidos são de **2m** na revegetação com cinco anos e **2,5m** na revegetação com nove anos (Tabela 3). Os perfis-diagrama, com as representações da revegetação na escala vertical e horizontal são diferentes tal como mostra a Figura 12, e as alturas médias, em ambos os casos, podem ser consideradas baixas, considerando-se o tempo de plantio.

Na revegetação com cinco anos, a maioria das espécies plantadas, especialmente as frutíferas exóticas, tiveram desenvolvimento lento encontrando-se pouco vigorosas e com mínimo crescimento lateral. Analisando-se as condições do solo, apenas de maneira qualitativa, pode-se concluir que a camada abaixo das covas corresponde à disposição dos rejeitos do beneficiamento, cuja distribuição granulométrica das frações é predominantemente argilosa, dificultando o desenvolvimento das raízes. Nesta camada, não há estrutura nem porosidade adequada, e a presença de oxigênio é muito restrita. A falta de oxigênio induz a planta a iniciar respiração fermentativa. Este processo produz muito pouca energia, sendo que a respiração é acelerada para mobilizar mais energia. O gasto de produtos fotossintetizados é elevado e o desenvolvimento vegetal é reduzido, uma vez que existem poucos produtos fotossintetizados para serem metabolizados, e todos os processos de síntese são lentos (Primavesi, 1981).

Foto 13 – Em primeiro plano, espécies arbóreas com pouco desenvolvimento (revegetação com cinco anos).

Provavelmente, após um determinado tempo de plantio, deve ocorrer maior dificuldade de penetração das raízes, redução da aeração, e menor disponibilidade de água e nutrientes, fatores que somados, estão determinando o crescimento mais lento e difícil das plantas, como foi observado no desenvolvimento das espécies nativas. Este parece estagnado, embora as plantas ainda não demonstrem deficiências nutricionais, e se mantenham em bom estado fitossanitário. Somente algumas espécies mostram-se mais resistentes às condições de terreno como o jambolão (*Sizygium jambos*) que apresenta crescimento lateral vigoroso e alturas acima da média das demais espécies. Outra espécie, que se mostra com melhor tolerância e bom crescimento, é a goiabeira (*Psidium guajaba*).

A revegetação com nove anos tem as mesmas condições de solo, mas nenhum tipo de manutenção foi realizado e não houve plantio de espécies arbóreas. Neste caso, a altura média é de 2,5m e também pode ser considerada baixa. A diferença fundamental é que a densidade de plantas é mais alta, na sua maioria com indivíduos com 1 a 2m de altura, refletindo condições de regeneração natural mais recentes. A presença intensa de plantas herbáceas na superfície, ao longo do tempo, pode ser um fator responsável pela regeneração natural, devido à formação de uma camada de matéria orgânica que propicia tais condições.

Figura 12 – Perfis-diagrama das revegetações com nove anos (A), e com cinco anos (B). Mineração Viterbo.

7.2.4 Espécies encontradas

Na revegetação com cinco anos, o modelo de plantio, segundo informações obtidas, corresponde a 70% de espécies pioneiras e 30% de não pioneiras, mas a revegetação não utilizou apenas espécies nativas. Das espécies encontradas (Tabela 4), oito são exóticas, sendo três destas frutíferas, exigentes quanto à qualidade do solo para seu desenvolvimento, e mais suscetíveis ao ataque de pragas e enfermidades. Isto poderia ser outro fator que explique a alta taxa de mortalidade de

mudas. A escolha de espécies frutíferas é inadequada, uma vez que estes tipos de árvores requerem solos com boa estrutura e porosidade, e com alto conteúdo de matéria orgânica. Apenas temporariamente, o solo preparado para preencher a cova proporciona as exigências de nutrientes e de qualidade de solo que estas plantas necessitam. Só o jabolão (*Syzygium jambos*), embora não seja uma espécie nativa, mostra-se bastante adaptada para as condições de solo apresentadas. Para amenizar o problema de mortalidade de mudas é necessário replantio, desta vez escolhendo as espécies que estão se desenvolvendo melhor. Nesta área, a Mineração Viterbo planeja uma segunda fase de plantio para introdução de espécies secundárias tardias e climáticas. Em primeiro lugar, seria aconselhável, realizar a reposição de mudas mortas com espécies pioneiras, gerando assim melhores condições de sombreamento para as espécies já existentes e as que serão plantadas na segunda fase. Uma outra medida seria aumentar as dimensões das covas do replantio ou de plantios posteriores, adicionando junto com o solo orgânico algum produto rico em matéria orgânica como o composto proveniente de lixo orgânico.

Foto 14 - Crescimento adensado de espécies arbóreas nas bordas da bacia de decantação, revegetada apenas com gramíneas (nove anos).

Foto 15 – Crescimento espontâneo de capim rabo-de-burro (*Andropogon* sp.) na superfície da bacia de decantação.

Foto 16 – Clareira na área revegetada (nove anos) com crescimento intenso de espécies herbáceas.

Na revegetação com nove anos, das espécies arbóreas encontradas, dez são nativas e duas exóticas. É necessário ressaltar que todas estas plantas desenvolveram a partir de sementes depositadas por dispersão. As sementes das herbáceas devem ter oferecido alimento para a vinda da fauna dispersora de sementes; outra possibilidade é que o vento tenha servido como veículo de dispersão. Quanto a origem das sementes, é mais provável que sejam provenientes das matas próximas, pois as espécies da Tabela 4 que constam na revegetação com nove anos, não constam na revegetação com cinco anos. O camboatã, conhecido também como marinheiro (*Guarea guidonia*) e a quaresmeira (*Tibuochina pulchra*) encontram-se com maior frequência, ocorrendo muitos indivíduos jovens destas espécies. O camboatã é uma espécie pioneira e higrófila, muito resistente e com dispersão ao longo dos rios e fundos de vale (Lorenzi, 1992). As duas espécies exóticas, o jambolão e o eucalipto, apresentam-se com boas condições de crescimento, embora com poucos indivíduos presentes. Já a pouca variabilidade de espécies arbóreas, corresponde àquelas que tem conseguido se adaptar às condições do terreno.

No total, foram identificadas trinta espécies, sendo vinte e uma nativas e nove exóticas. Das espécies nativas, quatorze são pioneiras e seis são não pioneiras. Nas fontes pesquisadas não há consenso a respeito da classe sucessional de algumas espécies, como o ingá (*Inga edulis*), considerada às vezes como espécie pioneira e outras como não pioneira. Outro dado importante é o número das espécies plantadas, sem considerar as emergentes, que neste caso seriam oito exóticas e doze nativas. Das espécies nativas, sete são pioneiras e cinco são não pioneiras.

Das espécies herbáceas, três são dominantes: o capim braquiária (*Braquiaria decumbens*) que foi semeado; o capim rabo-de-burro ou capim luca (*Andropogon leucostachys*), espécie invasora muito bem adaptada às condições adversas de solos pobres, ácidos, secos ou encharcados; e a samambaia brava (*Pteridium aquilinum*), também invasora. O crescimento vigoroso destas e de outras herbáceas (Tabela 5) contribuiu, ao longo do tempo, para melhorar as condições na superfície, e assim oferecer condições para o surgimento das espécies arbóreas pioneiras nomeadas.

No futuro, seria recomendável realizar um enriquecimento de espécies nesta área, principalmente onde há presença de clareiras, aproveitando a observação das espécies que melhor se adaptaram às condições deste tipo de terreno. As

recomendações sobre adição de matéria orgânica ao solo, também são válidas para esta área.

Tabela 4: Espécies arbóreas identificadas nas revegetações da Mineração Viterbo Machado

Idade	Nome científico	Nome comum	Família	Origem	CS*
5 anos	<i>Schinus terebintifolius</i>	Aroeira vermelha	Anacardiaceae	Nativa	P
	<i>Tabebuia avellanedae</i>	Ipê	Bignoniaceae	Nativa	NP
	<i>Casearia sylvestris</i>	Guaçatonga	Flacourtiaceae	Nativa	P
	<i>Caesalpinia peltophoroides</i>	Sibipiruna	Leguminosae	Nativa	P
	<i>Dalbergia frutescens</i>	Jacaranda	Leguminosae	Nativa	NP
	<i>Tipuana tipu</i>	Tipuana	Leguminosae	Exótica	
	<i>Lagerstroemia indica</i>	Dedaleira	Lythraceae	Exótica	
	<i>Lagerstroemia speciosa</i>		Lythraceae	Exótica	
	<i>Guarea guidonia</i>	Camboatã	Meliaceae	Nativa	P
	<i>Ficus carica</i>	Figo	Moraceae	Exótica	
	<i>Macluria tinctoria</i>	Moreira	Moraceae	Nativa	P
	<i>Eugenia brasiliensis</i>	Grumixama	Myrtaceae	Nativa	NP
	<i>Eugenia costata</i>	Pitanga do mato	Myrtaceae	Nativa	NP
	<i>Plinia glomerata</i>		Myrtaceae	Nativa	NP
	<i>Syzygium jambos</i>	Jambolão	Myrtaceae	Exótica	
	<i>Psidium cattleianum</i>	Araçá	Myrtaceae	Nativa	P
	<i>Psidium guajaba</i>	Goiabeira	Myrtaceae	Nativa	P
	<i>Ligustrum japonicum</i>	Ligustro	Oleaceae	Exótica	
	<i>Citrus lemon</i>	Limoeiro	Rutaceae	Exótica	
	<i>Eryobothria japonica</i>	Ameixa	Rutaceae	Exótica	
9 anos (PNM)**	<i>Clethra scabra</i>	Carne de vaca	Clethraceae	Nativa	P
	<i>Clusia cruiva</i>	Cruiva	Clusiaceae	Nativa	NP
	<i>Gochnata poliforma</i>	Cambará	Compositae	Nativa	P
	<i>Miconia cinnamomifolia</i>	Jacatirão	Melastomaceae	Nativa	P
	<i>Tibouchina pulchra</i>	Quaresmeira	Melastomaceae	Nativa	P
	<i>Guarea guidonia</i>	Camboatã	Meliaceae	Nativa	P
	<i>Rapanea umbellata</i>	Pororoca	Myrcinaceae	Nativa	P
	<i>Eucaliptus sp.</i>	Eucalipto	Myrtaceae	Exótica	
	<i>Syzygium jambos</i>	Jambolão	Myrtaceae	Exótica	
	<i>Ficus insipida</i>	Figueira	Moraceae	Nativa	P
	<i>Cedrela odorata</i>	Cedro do brejo	Meliaceae	Nativa	P
	<i>Simplocos tetandra</i>		Symplocaceae	Nativa	NP

* Classe sucessional: P= pioneira, NP= não pioneira

** Plantas não matrizes

Tabela 5 : Espécies herbáceas identificadas na revegetação com nove anos da Mineração Viterbo Machado.

Nome científico	Nome comum	Familia	Origem	CS*
<i>Baccharis articulata</i>	Carqueja, vasourinha	Compositae	Nativa	P
<i>Baccharis trimera</i>	Carqueja	Compositae	Nativa	P
<i>Andropogon leucostachys</i>	Capim rabo-de-burro	Gramineae	Nativa	P
<i>Brachiaria decumbens</i>	Capim braquiária	Gramineae	Exótica	
<i>Melinis minutiflora</i>	Capim gordura	Gramineae	Exótica	
<i>Panicum repens</i>	Capim colônia	Graminae	Nativa	P
<i>Solanum</i> sp.	Tomate do mato	Solanaceae	Nativa	P
<i>Leandra rixosa</i>		Melastomaceae	Nativa	P
<i>Pteridium aquilinum</i>	Samambaia brava	Pteridaceae	Nativa	P
<i>Typha minor</i>	Taboa	Thyphaceae	Nativa	
<i>Juncus efusus</i>	Junco	Juncaceae	Nativa	
	Juca			
	Estaca-sangue			

* Classe Sucessional

7.3 Mineração Cinco Lagos

A área revegetada escolhida para avaliação tem 4,5ha, margeia o rio Paraíba e na sua parte central apresenta um remanescente florestal de 1,8ha. A Figura 13 apresenta esta área na situação geral do empreendimento.

O plantio foi realizado em leiras, e se constatarem dois tipos de espaçamentos. Na área A (espaçamento de 6mx1m), que cobre aproximadamente metade da área total, foram aplicadas duas parcelas de avaliação. Na área B (espaçamento 3,5mx2,5m) foram aplicadas três parcelas de avaliação. Neste caso, a terceira parcela correspondeu a uma área muito próxima da formação florestal existente, com o objetivo de observar-se a sua influência na regeneração natural.

7.3.1 Aspecto visual da vegetação

Na área A as PM apresentam-se sadias e vigorosas e com um dossel contínuo. O alinhamento primário apresenta-se fechado pelo crescimento lateral das plantas e já está sendo mascarado pelo crescimento de espécies arbóreas não matrizes. Há pouca presença de plantas herbáceas e não se observaram espécies epífitas ou trepadeiras. Há presença de serapilheira, mas esta não chega a cobrir a superfície do solo.

Fonte: Adaptado do Memorial de Caracterização do Empreendimento

FIGURA 13 - Localização da revegetação avaliada na Mineração Cinco Lagos

A mortalidade de mudas de 6,1% não é significativa, e não se observam clareiras. Na área **B**, o dossel é mais irregular e as linhas de plantio não estão fechadas. No sub-bosque as plantas herbáceas apresentavam 30 a 40cm de altura, na época em que se realizaram as observações (julho). O número de arbóreas emergentes é menor, e a mortalidade de mudas de 3,8% é pouco significativa. O sombreamento é menor, quando comparado com a área anterior (distanciamento 6x1m), mas em nenhum dos casos o sombreamento é total. A terceira parcela aplicada, também corresponde a um distanciamento **B**, encontra-se numa área mais próxima à formação vegetal existente e é uma exceção, pois nesta o dossel é mais contínuo, as linhas de plantio estão mais fechadas produzindo maior sombreamento em relação as outras parcelas observadas, e no sub-bosque os indivíduos emergentes estão mais desenvolvidos, supondo-se que seja neste local onde primeiro se estabeleceram a PNM.

7.3.2 Densidade de plantas

Para a área **A**, a densidade total é **2.181 plantas/ha** e para a área **B** é de **1.778 plantas/ha** (Tabela 3). Na área **A** o número de espécies plantadas é menor que na área **B**, embora a densidade total seja maior devido a presença das PNM que já fazem parte de mais de 50% da população de espécies arbóreas. Constatou-se, que o maior espaçamento entre linhas de plantio somado ao melhor sombreamento, possibilitou o maior crescimento de PNM. Outra observação importante é que a porcentagem de mortalidade é somente de 6,1%. Aparentemente, o método de plantio em leiras favoreceu as condições de desenvolvimento das mudas melhorando a drenagem do terreno. A manutenção mecanizada e o uso de herbicidas durante os três primeiros anos, não permitiram que as plantas herbáceas competissem com as mudas no processo de crescimento. Na área **B** destaca-se a baixa densidade de PNM. Avalia-se que dois fatores podem ter sido determinantes. Não foi possível realizar tratos mecanizados que favoreçam o desenvolvimento das mudas nos primeiros anos, como na área **A**; e segundo, o menor sombreamento nesta área favorece, até o presente, o maior crescimento de herbáceas, considerando que atualmente já não existem mais atividades de manutenção. O crescimento de PNM parece estar

influenciado pelo distanciamento e pela presença de plantas herbáceas. A mortalidade de mudas é de 3,8%. Trata-se de um valor baixo, sendo que o plantio em leiras deve ter favorecido para evitar a morte de mudas por encharcamento, problema muito comum quando o plantio é realizado em covas.

Foto 17 – Revegetação na área A.

Foto 18 - Revegetação na área B.

7.3.3 Altura média de plantas

Aplicando-se a expressão de cálculo de altura média obteve-se os valores de **5m** no caso da área **A**, e de **5,3m** para o caso da área **B** (Tabela 3). A diferença parece mais notória quando são discriminados os resultados de PM e PNM. A altura média no caso das PM é maior para a área **A**, sendo que as mudas, devido à disposição mais próxima (1m), tiveram maior crescimento longitudinal do que no outro distanciamento. Já as PNM têm altura média menor na área **A**, pois há ocorrência de maior quantidade de indivíduos jovens. Na área **B**, de maneira geral, a altura dos indivíduos é menor, tanto das PM como das PNM. O comportamento para este indicador, só é diferente na parcela mais próxima do maciço florestal existente, e onde se observou que a altura média de plantas é um pouco maior, apresentando PM com até 11m, e PNM com até 9m. Aparentemente, foi nesta área que começaram as atividades de plantio, sem a ocorrência de manutenção mecanizada e, onde também se observou maior sombreamento quando comparado às demais parcelas de toda a área avaliada. Os resultados desta parcela influenciaram significativamente para que a altura média geral da área **B** não difiera muito da altura média da área **A**.

Foto 19 – Revegetação na parcela 5 da área **B** próxima ao Rio Paraíba.

Os perfis-diagrama na Figura 14, que também incluem exclusivamente o da parcela 5 (perfil-diagrama C), visualizam este aspecto com maior clareza.

Figura 14 – Perfis-diagrama da revegetação com distanciamento 6mx1m (perfil A), da revegetação com distanciamento 3,5mx2,5m (perfil B) e da parcela 5 com distanciamento 3,5mx2,5m (perfil C) da Mineração Cinco Lagos.

7.3.4 Espécies encontradas

Na área **A** encontraram-se oito espécies de PM (Tabela 6), das quais seis são nativas e duas exóticas. Constatou-se que cinco espécies (jambolão, embaúba, ingá, pau-viola e aroeira vermelha) são dominantes pois se repetem de maneira constante no plantio; as restantes só aparecem esporadicamente. Das seis PM nativas encontradas cinco são pioneiras. O jambolão, espécie exótica, aparece com bom desenvolvimento demonstrando adaptação ao local. Na área **B** se observou maior variedade de PM, sendo que de todas as espécies identificadas, só uma é exótica (Jambolão). Dentre as espécies nativas, novamente, a grande maioria é pioneira. A pouca variação de espécies encontradas nos dois distanciamentos, principalmente de nativas não pioneiras, segundo informações obtidas, esteve associada ao tipo de mudas disponíveis por ocasião do plantio. Para a área total revegetada, o número de PM nativas encontrado é de dezessete espécies, e somente duas PM exóticas.

Nesta revegetação todas as PNM identificadas são nativas, com exceção, do jambolão. Cabe destacar que são espécies diferentes das implantadas na revegetação, significando que a regeneração natural não está submetida apenas ao entorno das PM, mas também de espécies que procedem de outros locais. Constatou-se que o crescimento das PNM está mais concentrado nas áreas próximas do remanescente florestal que existe na parte central do plantio. Diante desta observação pode-se afirmar, com certa convicção, que a mata existente está servindo como fonte de regeneração, desempenhando um papel importante neste processo.

Uma espécie emergente que se destaca é a embaúba, tanto pelo tamanho como pela quantidade de indivíduos crescendo espontaneamente em toda a área. Na área **A** ela é dominante dentro da população das PNM.

No total, foram identificadas vinte e nove espécies arbóreas, das quais três são exóticas e vinte e seis são nativas. Das nativas, quinze são pioneiras e onze são não pioneiras. Outro dado importante é o número das espécies plantadas, sem considerar as emergentes. Neste caso o total diminui para dezesseis espécies, sendo três exóticas e treze nativas. Das nativas, nove são pioneiras e, quatro são não pioneiras.

Tabela 6: Espécies arbóreas identificadas na revegetação da Mineração Cinco Lagos

Distancia- mento	Nome científico	Nome comum	Família	Origem	CS*
A 6x1m	<i>Schinus terebintifolius</i>	Aroeira	Anacardiaceae	Nativa	P
	<i>Cecropia pachystachya</i>	Embaúba	Cecropiaceae	Nativa	P
	<i>Inga edulis</i>	Inga	Leguminosae	Nativa	P
	<i>Leucaena leucocephala</i>	Leucena	Leguminosae	Exótica	
	<i>Sizygium jambos</i>	Jambolão	Myrtaceae	Exótica	
	<i>Cytherexylum mirianthum</i>	Pau-viola	Verbenaceae	Nativa	P
	<i>Tapirira guianensis</i>	Pombeira	Anacardiaceae	Nativa	NP
	<i>Schizolobium parahyba</i>	Guapurubu	Leguminosae	Nativa	P
B 3,5x2,5m	<i>Schinus terebintifolius</i>	Aroeira	Anacardiaceae	Nativa	P
	<i>Chorisia speciosa</i>	Paineira	Bombacaceae	Nativa	P
	<i>Tabebuia cassinoides</i>	Ipê	Bignoniaceae	Nativa	NP
	<i>Croton celtidifolius</i>	Sangra d'água	Euphorbiaceae	Nativa	P
	<i>Croton floribundus</i>	Capixingui	Euphorbiaceae	Nativa	P
	<i>Inga edulis</i>	Inga	Leguminosae	Nativa	P
	<i>Piptadenia macrocarpa</i>	Angico vermelho	Leguminosae	Nativa	NP
	<i>Cabralea canjerana</i>	Canjerana	Meliaceae	Nativa	NP
	<i>Melia adarach</i>	Sta. Bárbara	Meliaceae	Exótica	
	<i>Cestrum schlehtendalii</i>		Solanaceae	Nativa	P
	<i>Sizygium jambos</i>	Jambolão	Myrtaceae	Exótica	
	<i>Cecropia pachystachia</i>	Embaúba	Cecropiaceae	Nativa	P
PNM**	<i>Aspidosperma polyneuron</i>	Peroba rosa	Apocynaceae	Nativa	NP
	<i>Schinus terebintifolius</i>	Aroeira	Anacardiaceae	Nativa	P
	<i>Alchornea triplinervia</i>	Tapiá	Euphorbiaceae	Nativa	NP
	<i>Sebastiana commersoniana</i>	Branquilho	Euphorbiaceae	Nativa	NP
	<i>Cecropia pachystachya</i>	Embaúba	Cecropiaceae	Nativa	P
	<i>Inga edulis</i>	Inga	Leguminosae	Nativa	P
	<i>Machaerium nictitans</i>	Jacaranda bico-de-pato	Leguminosae		
				Nativa	P
	<i>Miconia candolleana</i>	Jacatirão	Melastomaceae	Nativa	P
	<i>Leandra</i> sp.		Melastomaceae	Nativa	P
	<i>Guarea guidonia</i>	Marinheiro	Meliaceae	Nativa	P
	<i>Rapanea guianensis</i>	Capororoca	Myrcinaceae	Nativa	NP
	<i>Eugenia costata</i>	Pitanga mato	Myrtaceae	Nativa	NP
	<i>Eugenia florida</i>	Pitanga preta	Myrtaceae	Nativa	NP
	<i>Zizygium jambos</i>	Jambolão	Myrtaceae	Exótica	
	<i>Rapanea ferruginea</i>	Capororoca	Myrcinaceae	Nativa	P
	<i>Celtis iguanae</i>	Testículo	Ulmaceae	Nativa	NP
	<i>Calophyllum brasiliense</i>	Guanandi	Clusiaceae	Nativa	NP

* Classe sucessional: P= pioneira, NP= não pioneira

** Plantas não matrizes

Foto 20 – Crescimento espontâneo de espécies arbóreas entre linhas.

Foto 21 – Mata nativa situada entre as áreas de revegetação A e B.

7.4 Análise do desempenho das revegetações

Na Mineração Viterbo a maioria das espécies plantadas da revegetação com cinco anos apresenta crescimento mais lento do que o normal, principalmente as frutíferas exóticas que demonstram não estarem adaptadas às condições do solo, refletindo uma alta mortalidade das mudas. O *jambolão* (*Syzygium jambos*) é uma das poucas espécies que apresenta melhor desenvolvimento e boa adaptação. As espécies nativas demonstram certa estagnação no crescimento, embora não se observem sinais de deficiência nutricional ou infestação por parasitas, o que indica certa tolerância às condições existentes. Dentre as atividades de manutenção, seria recomendável realizar só coroamento e capina seletiva ao invés do corte total do mato que não permite o desenvolvimento de sub-bosque, nem dá oportunidade para o estabelecimento de plantas emergentes. Na revegetação com nove anos, apesar de ter sido semeada só com gramíneas, vem ocorrendo uma regeneração natural significativa refletindo uma alta densidade de plantas. A maior presença de plantas arbóreas emergentes com porte pequeno é um indicador da melhoria das condições na superfície, assim sendo, a tendência da população é de incrementar-se com o tempo.

Como a diversidade de espécies nativas é baixa, em ambas as áreas avaliadas desta mineração é necessário realizar um enriquecimento de espécies, escolhendo as mais resistentes às condições do solo. Na revegetação com cinco anos o replantio deve considerar a substituição das mudas mortas por espécies pioneiras, de maneira a proporcionar melhores condições às espécies não pioneiras já estabelecidas. Na revegetação com nove anos o enriquecimento, também com pioneiras, deve ser localizado nas clareiras existentes. As espécies de plantas pioneiras usadas podem ser escolhidas observando as que apresentam melhor desenvolvimento às condições da solo. O preparo da cova pode ser melhorado, tanto em dimensão como em conteúdo de preenchimento, enriquecendo o solo com material orgânico. No manejo, outra atividade recomendada para bacias de decantação seria uma escarificação do material depositado, acrescida de uma mistura contendo solo proveniente do decapeamento e algum outro material que possa melhorar as condições físicas locais, tal como algum tipo de composto orgânico. Quando não houver muita

disponibilidade de solo orgânico, o melhor aproveitamento seria utilizá-lo apenas nas covas.

Na Mineração Cinco Lagos a prática de plantio em leiras resultou conveniente para favorecer as condições de drenagem do terreno, que se apresenta com risco de inundação na época de chuvas. Tal fato influenciou positivamente no bom desenvolvimento das mudas e na baixa mortalidade constatada. O distanciamento A (6mx1m) permitiu melhores condições para o crescimento da vegetação, devido à maior facilidade para realizar manutenção mecanizada nos primeiros anos de plantio, e posteriormente facilitou o crescimento de plantas emergentes. Sabe-se que uma escarificação ou revolvimento da superfície foi conduzida antes da reposição com o solo argiloso e orgânico. Esta operação demonstrou bons resultados pois melhorou as condições de drenagem e facilitou o desenvolvimento de raízes, tal como se constatou em áreas revegetadas mais recentes. Como o fator de degradação está controlado e uma primeira fase de plantio já foi concretizada com a implantação de pioneiras, é fundamental incentivar os mecanismos de regeneração natural, facilitando a emergência de novas espécies vegetais dentro da área. A aplicação dos indicadores de desempenho utilizados neste estudo podem servir para realizar avaliações futuras de desempenho.

Tendo-se em conta os parâmetros estabelecidos para implantação de vegetação nativa da Resolução 42/96, tidos como valores de referência para este estudo, comenta-se que:

- Na Mineração Viterbo, a revegetação com cinco anos apresenta densidade e altura média menor do que preconiza a citada referência. As espécies presentes não são apenas nativas e seu número é inferior ao estipulado. A área também apresenta sombreamento muito restrito. A revegetação com nove anos, atinge a exigência de densidade, mas não de altura média. A presença de clareiras tem como consequência sombreamento apenas localizado. O número de espécies nativas identificadas é menor do que o disposto na Resolução. Como as áreas com idades distintas de plantio são contíguas, fica a possibilidade de totalizar-se o número de espécies presentes em ambas, com o qual se atingiria a diversidade

especificada, embora o número das espécies não pioneiras continuem sendo minoria.

- Na Mineração Cinco Lagos, a densidade de plantas, em ambos os distanciamentos praticados, ultrapassam o exigido, o mesmo acontece com a altura média, contudo ainda não foi atingida a condição de sombreamento total. Quanto ao número de espécies nativas plantadas, o total das espécies identificadas é superior às dezenove espécies exigidas porém, a maioria delas é pioneira. O número de espécies não pioneiras é mínimo, sendo que a Resolução estabelece quinze espécies não pioneiras. Considerando as espécies emergentes identificadas, o número de espécies nativas quase dobra, mas a presença de espécies não pioneiras continua sendo restrita.
- Com base nas referências estabelecidas na Resolução 42/96 da SMA, as áreas revegetadas, não atingem condições para que sejam consideradas como satisfatoriamente recuperadas, segundo os critérios desta resolução. É importante lembrar que estes critérios foram propostos para a implantação de mata nativa no Vale do Paraíba, e portanto não abrangem a Mineração Viterbo que inovou na sua iniciativa de implantar espécies nativas em áreas de disposição de rejeitos. Complementarmente, outra resolução mais recente, a Resolução SMA 21/2001 estabeleceu maior rigor na atividade de revegetação, considerando que o número de espécies a implantar deve aumentar de dezenove para cinquenta espécies no caso da revegetação de mata ciliar avaliada (Cinco Lagos). No caso de bacias de rejeito faz-se necessário o estabelecimento de outras referências mais compatíveis com as condicionantes do solo, que por sua vez carece de aperfeiçoamento nas técnicas de manejo.
- Comparando-se as revegetações implantadas nas duas minerações, na Mineração Cinco Lagos os resultados obtidos são melhores em densidade, altura média e aspecto visual da revegetação. A taxa de sombreamento é maior com presença de sub-bosque, dossel mais contínuo e melhor regeneração natural. As metas de recuperação são similares nas revegetações avaliadas, entretanto, as práticas para alcançar essas metas e o contexto ambiental no qual acontece a recuperação varia consideravelmente. Certamente a implantação de vegetação em bacias de

decantação é mais difícil, pois o rejeito ali depositado descaracteriza totalmente o substrato que as plantas precisam para seu desenvolvimento satisfatório, exigindo mais atenção e cuidado com as mudas, e técnicas de manejo mais aprimoradas. A revegetação com espécies nativas pode resultar um processo lento, e cujo sucesso irá depender da implementação de ações e procedimentos para a melhoria da situação existente.

Há, ainda, outros aspectos relevantes a serem destacados, a partir dos estudos realizados.

- A reutilização de solo orgânico é uma das ações que vem sendo implementada com sucesso, contudo há espaço para melhorar seu manejo. O procedimento da retirada mecanizada com orientação apenas visual, pode comprometer o sucesso da operação. Em muitos casos, o solo orgânico mistura-se com grande quantidade da camada argilosa existente abaixo, o que acarreta perda da sua fertilidade e alterações das propriedades físicas. Quanto à estocagem, a altura das leiras deve ser respeitada, e também a proteção com plantio temporário de espécies, preferencialmente leguminosas, quando não há previsão do tempo de estocagem. A prática de escarificação da superfície, antes da reposição do solo deveria ser rotineiramente incorporada no manejo de modo a potencializar as vantagens do meio para suportar o crescimento das plantas. Ressalta-se que o presente estudo utilizou apenas indicadores sobre o estado de revegetação. Novas pesquisas poderiam incluir indicadores do estado do substrato que permitam, de alguma forma, quantificar suas características físicas relacionadas à capacidade de sustentação das plantas. Parâmetros de porosidade, índice de vazios, compactidade, distribuição granulométrica, e outros de caráter complementar, são importantes na condução de estudos desta natureza.
- Apesar da constatação de progressos, dentre as áreas utilizadas pela mineração, são as bacias de decantação as que mais exigem incremento nas ações e estratégias, especialmente nos procedimentos de manejo envolvendo o preparo da superfície a ser revegetada. Destacam-se numa primeira análise: uma escarificação da superfície antes da reposição de solo; reposição preferencialmente de duas camadas, sendo uma intermediária, seguida pela

camada de solo orgânico incluindo, se possível, a adição de algum outro material rico em matéria orgânica e a utilização de espécies resistentes ou tolerantes às condições da bacia. A melhoria no manejo do solo, o uso de espécies apropriadas e uma manutenção adequada, certamente permitirão que a revegetação tenha condições mais apropriadas de fortalecimento e se sustente de maneira mais sólida. A adição de composto orgânico em valas é uma prática conduzida na Mineração Itaquareia. Este procedimento poderia ser adaptado para usá-lo nas bacias de decantação, como estratégia de melhoria das propriedades das camadas de rejeito submetidas ao plantio.

- O número de espécies vegetais utilizadas é restrito, e destas, a grande maioria são pioneiras. As espécies não pioneiras deveriam estar presentes em maior número, e sua ausência pode comprometer o processo de sucessão vegetal para a formação de mata.
- A disposição das mudas no terreno não obedece aos hábitos e exigências das espécies plantadas. Espécies pioneiras e não pioneiras, quando presentes, têm as mesmas condições para se desenvolver, sendo que estas precisam de maior sombreamento. O presente estudo não avaliou, especificamente, o comportamento das espécies não pioneiras nesta forma de plantio, sendo interessante uma pesquisa futura neste sentido.
- Ambas as minerações possuem viveiros, mas nem todas as mudas foram produzidas localmente, assim como suas sementes são compradas e não coletadas em zonas próximas de mata. Dificuldades com a obtenção, a colheita, e a germinação das sementes, somadas ao desconhecimento das características das espécies, são alguns dos motivos citados para não se utilizarem sementes de matas próximas. Na época em que foram realizados os plantios, também havia menor disponibilidade de espécies ofertadas no mercado, provavelmente, sendo este o principal motivo pela pouca variedade de espécies utilizadas.
- A utilização de espécies tolerantes ou resistentes às condições de cada ambiente é condição obrigatória para se obter bons resultados. Em zonas alagadiças, como a região da bacia do Paraíba, é preciso usar espécies adaptadas ao encharcamento

temporário. Já nas bacias de decantação, as espécies utilizadas devem ser resistentes ou tolerantes às condições mais adversas do solo.

- O plantio em leiras resultou uma forma mais proveitosa e conveniente do que o plantio em covas, melhorando as condições de drenagem, evitando a morte de mudas, e outros problemas por encharcamento.
- A proximidade de maciços florestais está sendo fundamental no processo de regeneração natural, mesmo tratando-se das áreas de bacias de decantação onde se pensava que somente poderiam se desenvolver espécies herbáceas. A evidência deste fato é que as espécies emergentes identificadas são, na sua maioria diferentes das espécies plantadas, o que significa que as plântulas ou sementes procedem de outros locais, confirmando a dispersão zoocórica (por animais) ou anemocórica (por vento).
- A revegetação destas áreas propiciou uma melhoria das condições ambientais e a resiliência foi reestabelecida, mas sempre deverá estar resguardada contra outros eventuais fatores de degradação como vandalismo, fogo, e exploração não planejada.
- Um fator comum em todas as minerações visitadas, é que seus proprietários se mostram entusiasmados para a realização da revegetação, tanto que, em quatro casos foram eles próprios os encarregados de conduzi-las. Constatou-se uma preocupação comum com a melhoria dos métodos e procedimentos empregados. Uma prova é o aperfeiçoamento nos procedimentos e técnicas aplicados ao longo do tempo desde que se iniciaram as atividades de recuperação. No caso da Mineração Viterbo, por exemplo, a empresa é pioneira em procedimentos de RAD. O PRAD (1991) previa que todas as áreas de bacias de decantação seriam recuperadas apenas com revegetação herbácea, mas os conceitos evoluíram de tal maneira que atualmente há implantação de espécies nativas e as áreas das bacias apresentam espécies arbóreas.

8 CONCLUSÕES

Os resultados apontados constituem apenas um passo inicial na contribuição para a melhoria das práticas atuais de revegetação em áreas mineradas de areia. As diferentes recomendações, podem servir como referência para aplicação geral, tendo-se sempre em conta a necessidade de se observar as particularidades inerentes a cada mineração. Avanços importantes vêm sendo colocados em prática nas minerações estudadas, contudo há que se refletir sobre aspectos deficientes que precisam ser melhorados, avanços observados, e possibilidades de novos estudos que possam contribuir na melhoria das deficiências atuais. Nas empresas visitadas todas apresentam uma postura pró-ativa quanto a recuperação das áreas mineradas, buscando aprimorar seus procedimentos mais específicos da revegetação. Pelos resultados apresentados neste estudo, certamente há inúmeras práticas que precisam ser melhoradas.

Os procedimentos de controle hídrico e topográfico são conduzidos como parte do plano de lavra. O controle da erosão e a estabilização de taludes são colocados em prática de maneira sistemática, e a revegetação complementa estas ações como parte essencial na melhoria das condições ambientais das áreas mineradas. Sua aplicação se dá na forma de cortinas vegetais, nos taludes, nas bacias de decantação, e especialmente na implantação de mata ciliar, onde a resiliência é novamente estabelecida. Avanços importantes na prática atual dizem respeito à reutilização do solo orgânico, com a ressalva de que é preciso ainda aperfeiçoar as técnicas de manejo. Particularmente, nas áreas de disposição de rejeitos submetidas à revegetação, é preciso incorporar novas estratégias de manejo capazes de criar condições mais favoráveis ao desenvolvimento das plantas.

As características adaptativas e biológicas das espécies são fatores fundamentais a serem considerados. A revegetação deve ser feita com espécies adequadas às condições existentes no local, principalmente luz, água e solo, sendo recomendável a utilização de espécies nativas de ocorrência nas formações vegetais o mais próximo possível do local. Já para as etapas mais avançadas de regeneração, as espécies utilizadas devem ser provenientes de matrizes diversas garantindo-se a manutenção de variabilidade genética no plantio.

Na implantação de matas nativas, o número de espécies utilizadas mostrou-se muito limitado, e a grande maioria são pioneiras. As espécies não pioneiras estão presentes em número muito restrito, sendo necessária sua diversificação seja por enriquecimento de espécies ou por regeneração natural, de maneira a garantir o processo de sucessão vegetal para a formação de mata. O processo de regeneração natural vem sendo fundamental para a formação de mata nativa, inclusive nas áreas de bacias de decantação cuja concepção inicial era de que somente plantas herbáceas poderiam se desenvolver. Remanescentes de mata nativa são protagonistas importantes neste processo.

A revegetação deve cumprir as finalidades a que se destina no ambiente em que foi inserida. Não há consenso sobre a durabilidade dos plantios e formação efetiva de uma comunidade visando a composição de um ecossistema onde estejam em equilíbrio os meios físico e biológico. A auto-sustentabilidade da revegetação requer garantia nos processos ecológicos, bem como sua perpetuação. Um caminho possível é a aplicação de um número maior de espécies não pioneiras, que poderá ser complementada por uma segunda etapa de implantação com espécies não pioneiras, efetivando acelerar o processo de sucessão vegetal no plantio. Outro ponto fundamental é o fomento da regeneração natural que estimule o surgimento de espécies emergentes por meio do corte seletivo de espécies herbáceas, inclusão de espécies atrativas para facilitar a dispersão zoocórica de sementes, e também melhorando as condições do solo e de drenagem da superfície plantada, de maneira a fornecer condições para que as plantas possam alcançar o vigor reprodutivo.

A otimização destes procedimentos pressupõe algum tipo de planejamento, quando se busca esclarecer com mais exatidão qual é o propósito da revegetação. Destacam-se as funções ambientais que ela vai exercer e sua contribuição para o sistema ecológico da região quando feita em APP, ou ainda, da diversidade dos usos potenciais que ela poderá desempenhar na reabilitação da propriedade para novas funções. Neste sentido, os proprietários da área revegetada devem estar atentos às idéias e concepções sobre o uso que pode ser dado às áreas recuperadas envolvendo revegetações.

Durante o desenvolvimento do processo de recuperação ambiental, o monitoramento é essencial para uma avaliação mais criteriosa do desempenho da

revegetação, tendo que ser realizado periódica e sistematicamente. Os indicadores aplicados neste estudo revelaram-se eficazes para a avaliação pretendida, uma vez que podem ser aplicados com procedimentos de baixo custo, não demandam conhecimento especializado, e representam satisfatoriamente o estado da área revegetada. Não há um único indicador que seja capaz de refletir o estado da revegetação. A avaliação somente pode ser feita mediante a escolha de um conjunto de indicadores e a consideração das características específicas de cada área. Dados recolhidos com maior frequência, em intervalos regulares de tempo, refletiriam de maneira mais conclusiva o estado da revegetação e do seu desenvolvimento.

A disposição do minerador frente à recuperação é fator fundamental para o sucesso da revegetação. Quando a mineração apenas cumpre com as exigências ambientais por obrigação, certamente o resultado do plantio será pouco eficiente. O sucesso depende da análise dos problemas, da observação dos procedimentos básicos necessários, da implementação das ações mais convenientes para cada caso, e sobretudo, de persistência aliada à boa vontade até se atingir um grau satisfatório de resiliência. Podem ocorrer casos em que os mineradores não têm incentivo para implementar uma revegetação mais eficiente, pois não são os proprietários do terreno minerado e limitam-se apenas a cumprir o mínimo exigido. Por outro lado, o dono da terra, seja por despreparo ou por falta de interesse, pode simplesmente aceitar a área que foi revegetada de maneira deficiente. Nestes casos é comum a ausência de qualquer utilidade futura, determinando assim, um estado de abandono. A mudança de mentalidade destes agentes pode alterar esta situação, que ainda é encontrada com bastante frequência. O implemento de revegetações mais eficientes certamente é um ponto imprescindível para reversão deste quadro.

Uma reflexão sobre as alternativas de avanço das pesquisas delineia alguns enfoques possíveis.

Um ponto a destacar é o aprimoramento no manejo dos substratos que dão sustento ao plantio. Os estudos potenciais neste campo devem ser direcionados para a implementação de novos procedimentos nas técnicas atuais, avaliando-se também a viabilidade econômica. Alguma sofisticação adicional introduzida no manejo pode significar um aumento nos custos de revegetação; a questão é avaliar a significância deste acréscimo no contexto geral dos custos operacionais de produção. Por outro

lado, a introdução de aperfeiçoamentos no manejo constituiriam um diferencial quanto ao sucesso da revegetação, especialmente em áreas problemáticas como as bacias de disposição de rejeitos.

Outra abordagem importante é o levantamento dos parâmetros sobre o estado do solo, em situações correspondentes às práticas atuais e com a introdução dos novos procedimentos de manejo. A questão da maturidade produtiva associada ao vigor das plantas, bem como o aprofundamento dos estudos quanto aos aspectos ecológicos vinculados ao comportamento das espécies presentes na revegetação, podem ser apontados como questões relevantes para definir, com maior clareza, quais as espécies são mais convenientes, e quais os melhores arranjos dentro dos grupos de sucessão vegetal. Uma metodologia possível de abordagem para novos estudos, pode desenvolver experimentos e análises comparativas entre áreas revegetadas com baixo desempenho e outras que estejam apresentando sucesso nos resultados obtidos, incluindo ainda parâmetros de referência levantados em locais com mata nativa. Existe também um potencial de aplicação de estudos desse tipo voltados à reabilitação das áreas mineradas para uso agrícola.

Acredita-se que esta dissertação possa contribuir efetivamente para o aperfeiçoamento da prática de revegetação em minerações de areia, contudo, reconhecendo-se que há oportunidade para o aprofundamento dos estudos, deixando em aberto outras possibilidades de avanço técnico e científico neste campo de pesquisa.

ANEXO A

RESOLUÇÃO SMA 42, DE 16.09.96

O Secretário do Meio Ambiente, considerando que o Consema, em sua 42ª Reunião Plenária Extraordinária, através da Deliberação 24/96, aprovou “Minuta” de Resolução que disciplina o Licenciamento Ambiental dos Empreendimentos de Extração de Areia na Bacia Hidrográfica no Rio Paraíba do Sul, resolve:

Artigo 1º - O licenciamento ambiental das atividades minerárias de extração de areia na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul ficará condicionado à prévia definição das áreas aptas para essas atividades nessa bacia.

Parágrafo único – O licenciamento de que trata este artigo só poderá ser outorgado nas áreas que vierem a ser definidas como aptas para extração de areia.

Artigo 2º - Excetuam-se do disposto no artigo 1º as atividades de extração de areia objeto de pedido de licença protocolado na Cetesb, ou na SMA, em data anterior a 02/09/96, desde que obedecidas todas as demais disposições desta Resolução.

Parágrafo 1º - Em casos de infração a qualquer dessas disposições, as atividades de que trata este artigo deverão ser intimadas a paralisar suas operações, sob as penas da lei.

Parágrafo 2º - A obediência às disposições desta Resolução não dará ao minerador direito à licença, que poderá ser outorgada ou negada ao fim do processo regular.

Artigo 3º - O zoneamento minerário para fins de definição das zonas aptas para a extração de areia será concluído pela SMA no prazo de quatro meses, contados a partir da data da publicação desta Resolução.

Parágrafo único - Decorrido o prazo definido neste artigo, as solicitações de licença serão acolhidas na forma da lei, conforme o que estabelecem, tanto esta como as Resoluções SMA 20/93 e 66/95.

Artigo 4º - As atividades referidas no artigo 2º deverão adotar procedimentos operacionais que objetivem mitigar os impactos por elas provocados como, também medidas para recuperação da área degradada, a saber:

I. Demarcação, em campo, com marcos resistentes e de fácil visualização, do “pit” final para as cavas e da área de dragagem para os casos de leito. Estes marcos deverão ser acompanhados de memorial descritivo que permita sua amarração com a cartografia oficial.

II. Cercamento do empreendimento.

III. Retirada das instalações e dos acessos existentes em Área de Preservação Permanente, com exceção daqueles previstos no item VI do art. 6º para extração em leito de rio e do que for avaliado pelos órgãos de controle como tecnicamente inviável.

IV. Revegetação da Área de Preservação Permanente exclusivamente com espécies nativas.

V. Umectação das vias de acesso (particulares e/ou municipais) duas vezes ao dia nos períodos de estiagem.

VI. Apresentação dos seguintes documentos:

a) atos constitutivos da pessoa jurídica responsável pelo empreendimento.

b) Registro definitivo de empresa mineradora no CREA e indicação de um profissional habilitado que seja responsável pela operação e desativação do empreendimento, como também pela recuperação da área degradada.

c) Contrato de arrendamento e termo de compromisso de aceite do proprietário do solo com a recuperação proposta, prevendo-se que o minerador será responsável pela área até que se consolide a recuperação prevista, e que, a partir desta etapa, o proprietário se responsabilizará pela sua preservação.

d) Protocolo, na Secretaria de Segurança e Saúde do Trabalho, do Programa de Prevenção de Riscos Ambientais, de acordo com o estabelecido pela Portaria nº 25, de 29/12/94.

e) Termo de Ajustamento de Conduta da empresa mineradora e do(s) responsável(is) técnico(s), obrigando-se a adotar procedimentos para minimização dos impactos ambientais nas fases de execução do projeto de lavra, de recuperação da área degradada e de desativação do empreendimento.

f) Termo de Fiança dos titulares de empresa mineradora, responsabilizando-se, solidariamente, pela recuperação da área degradada.

Artigo 5º - Além do cumprimento das exigências estabelecidas no artigo anterior, a extração de areia em cava submersa deverá também atender as seguintes determinações:

I. Obedecer ao estabelecido pela Norma Cetesb D 7.010/90.

II. Não realizar dragagem em Área de Preservação Permanente e, nas situações de invasão dessa área, executar o aterro com finos na base e capeamento argiloso.

III. Executar os taludes de cava com altura máxima de 10m. Deverão ser feitas bermas subdividindo essa amplitude nas cavas finais com profundidade superior a 10m.

IV. Deverão os primeiros 5m horizontais dos taludes emersos e submersos, a partir do nível mínimo da água, e voltados para o interior das cavas obedecer a uma inclinação máxima de 17º ou 30%.

V. Para os taludes estáveis (com vegetação de gramíneas ou de maior porte, e sem sulcos erosivos, abatimentos ou outros indícios de ruptura) localizados junto a frentes que não mais serão lavradas, não há necessidade de obediência aos itens III e IV deste artigo.

VI. Deverá o funcionamento ser feito em circuito fechado e a água de retorno das pilhas ou classificadores/silos deverá ser direcionada para a cava.

VII. Não será permitido desmatamento e uma distância mínima de segurança de 10 metros deverá ser mantida entre a borda da cava a ser lavrada e a área de mata.

VIII. Deverá executar-se, concomitantemente às operações de lavra, o decapeamento, e o material removido (solo orgânico ou argiloso) deverá ser estocado para fins de revegetação.

IX. Deverá ser de 50m a distância mínima entre cavas de até 20ha, respeitadas as distâncias mínimas de 25m entre elas e o limite da propriedade arrendada.

Artigo 6º - Além das exigências estabelecidas no artigo 4º, a extração de areia em leito de rio deverá também cumprir as seguintes exigências:

I. Adequar as atividades e a disposição das instalações operacionais ao disposto na Norma Cetesb D 7.010/90.

II. Não realizar dragagem de ilhas.

III. Identificar o trecho licenciado através de marcos de concreto e bandeiras, ou outro sistema de fácil reconhecimento e de difícil remoção ou transferência.

IV. Realizar a extração somente no pacote de areia de assoreamento, sem alterar as margens ou o leito fluvial do curso d'água. Implantar obras e/ou medidas de proteção das margens no local de atracação das barcaças.

V. Não deverão ser formadas baías de atracação, exceto para guarda da draga em área definida pelo órgão licenciador, com o compromisso de recuperação.

VI. Redução da área de pátio de manobras/operação para, no máximo, 4.500m², quando situado em Área de Preservação Permanente. Nesses casos, deverão distar, no mínimo, 50 metros da margem do rio e não ter mais de 90 metros de largura, em paralelo com o rio. Cada empreendimento poderá ter apenas um pátio, sendo permitido um acesso de 10 metros de largura interligando-o ao rio. Nas demais Áreas de Preservação Permanente (faixa de 100 metros) no domínio do empreendimento, deverão ser plantadas espécies arbóreas nativas, obedecidos os critérios de sucessão ecológica.

VII. Deverá ser revegetada a área do pátio, ao término das operações de lavra e/ou da validade das licenças concedidas pela Cetesb.

VIII. Deverão as águas residuárias provenientes dos silos classificadores sofrer decantação dos finos, antes de retornarem ao corpo d'água, de forma a atender ao artigo 18 do Decreto Estadual nº 8.468/76.

Artigo 7º - Além das exigências estabelecidas no artigo 4º, a extração de areia por desmonte hidráulico deverá também adotar os seguintes procedimentos:

I. Aqueles estabelecidos pela Norma Cetesb D7.011/90.

II. Implantar bacias de decantação que permitam a adequada sedimentação dos resíduos sólidos e a clarificação da água.

III. Apresentar projeto das bacias de decantação de acordo com o disposto no “Manual de Pequenas Centrais Hidrelétricas”, item “Barragem de Terra”, elaborado pela Eletrobrás e pelo Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica – DNAEE, assim como da norma NBR – 13028/1993 e anexo da ABNT, intitulada “Elaboração e apresentação de projeto de disposição de rejeitos de beneficiamento em barramento em mineração”.

IV. Dispor de forma organizada os rejeitos, a partir do corpo de terra do dique ou barramento.

V. Executar a circulação da água no processo em circuito fechado.

VI. Levar em consideração, na implantação de vertedouros e desvios de drenagem, os dados contidos nos estudos hidrológicos e hidráulicos.

VII. Possuir o “pit” final da jazida taludes com amplitude máximas inferiores a 15 metros e suas inclinações deverão ter, como limite máximo, o ângulo de 45°. Nesses taludes deverão ser executadas bermas quando necessário.

VIII. Revegetar com gramíneas os taludes dos diques ou barragens.

IX. Conduzir as águas pluviais provenientes dos silos ou da área de armazenagem de areia a céu aberto às bacias de decantação e retorná-las, em seguida, ao circuito de mineração.

X. Implantar previamente bermas e sistemas de drenagem nos limites dos remanescentes de vegetação nativa.

Artigo 8º - Além das exigências estabelecidas nos artigos 4º, 5º, 6º e 7º, todas as atividades de extração de areia referidas no artigo 2º deverão adotar as seguintes medidas para a recuperação das áreas degradadas:

I. A camada superior do solo da área a ser minerada deverá ser imediatamente aproveitada ou estocada em depósitos previamente projetados e o prazo de estocagem não poderá ultrapassar dois anos.

II. A camada superficial do solo, com espessura de 20 a 30cm, deverá ser disposta por toda a área a ser revegetada. Caso não haja volume disponível, o solo deverá ser disposto, preferencialmente, nas covas.

III. Quanto à fertilidade, as medidas corretivas deverão incorporar matéria orgânica, catagem, adubação fosfatada ou verde, aplicação de fertilizantes potássicos e, sempre que necessário, adubação nitrogenada de cobertura.

IV. A revegetação das áreas degradadas deverá obedecer os seguintes critérios:

a) nas áreas marginais ao Rio Paraíba do Sul deverá ser feito um plantio misto constituído exclusivamente de espécies nativas da região e realizado em duas etapas:

1 - primeira etapa: plantio de espécies arbóreas pioneiras e secundárias iniciais, ou seja, com características mais agressivas e de rápido crescimento, em número mínimo de quatro espécies, sendo que nenhuma delas poderá exceder 25% do número total das espécies plantadas por hectare, com espaçamento mínimo de 3x2,5m (1330/ha), dispostas intercaladamente e colocadas em covas com dimensões mínimas de 0,60x0,60x0,60 metros preenchidas com terra vegetal e devidamente adubadas.

2 - segunda etapa: após o estabelecimento dos indivíduos plantados na primeira etapa, que poderá ser constatado pelo sombreamento total da área revegetada ou ao atingirem os indivíduos uma altura média mínima de 3 metros, deverão ser introduzidas espécies arbóreas secundárias tardias e climáticas, com o intuito de aumentar-se a biodiversidade local e reabilitarem-se as Áreas de Preservação Permanente, para que cumpram seu papel de abrigarem a flora e a fauna silvestres, protegerem o solo e os recursos hídricos, bem como propiciarem uma melhoria na paisagem.

3 - a etapa de que trata o item anterior deverá conter um número mínimo de quinze espécies e cada hectare, um número mínimo de dez indivíduos de cada espécie, dispostos intercaladamente, com espaçamento mínimo de 6x6 metros, e colocados em covas similares às descritas na primeira etapa.

4 - o empreendedor poderá também optar pela implantação de um modelo de revegetação que contemple, no ato do plantio, todos os estágios sucessionais simultaneamente, desde que sejam mantidos a diversidade e o adensamento estabelecidos para o plantio em duas etapas.

b) nas margens das cavas e nas áreas não consideradas pela legislação vigente como de preservação permanente, dependendo da intenção de usos futuros do solo, poderão ser utilizados plantios homogêneos de espécies exóticas e nativas, ou outras alternativas, mediante aprovação do projeto pela SMA e desde que cumpram a função de proteção do solo e dos recursos hídricos.

V. Nos taludes situados na Área de Preservação Permanente, ao longo do Rio Paraíba do Sul, onde as faixas remanescentes de solo entre cava e o rio são bastante estreitas sendo admitidas declividades mais acentuadas (até 1V:1,5H).

VI. Como medidas complementares à revegetação, dever-se-ão prever o cercamento das áreas, para impedirem-se o trânsito no local e o acesso de animais, e o plantio da cortina vegetal no entorno da propriedade, com o objetivo de barrar-se o vento, conter-se a poeira gerada pelo transporte da areia por veículos e minimizar-se o impacto visual, utilizando-se, para isto, espécies arbóreas de rápido crescimento, plantadas em duas fileiras, numa faixa de 3m de largura e uma distância de 1,5m entre indivíduos.

VII. Os empreendimentos que promoveram desmatamento e/ou degradação irregular deverão incluir áreas equivalentes às mencionadas para recuperação, numa proporção igual ou superior à área degradada, a critério da SMA.

VIII. Caberá aos mineradores dar início imediato à adoção das medidas de revegetação em Área de Preservação Permanente, obedecendo as diretrizes elencadas.

IX. A manutenção das áreas revegetadas, de extrema importância para o sucesso da recuperação, deverá envolver a limpeza (roçadas e coroamentos periódicos), a reposição de mudas mortas ou danificadas, o controle de pragas e doenças, a adubação e a irrigação periódicas, até que se alcance o sombreamento total da área de plantio, ou que os indivíduos atinjam uma altura mínima de 3 metros, principalmente em áreas onde não foi feito recapeamento com solo fértil.

X. Como forma de orientar o controle e o uso futuro das cavas, deverão ser adotadas as seguintes medidas:

a) monitoramento da qualidade da água de forma a orientar o uso futuro e/ou estabelecer medidas necessárias para a proteção da saúde dos trabalhadores bem como das populações circunvizinhas.

b) realizarem-se as análises, a princípio, semestralmente, em diferentes estações do ano (inverno e verão) e em laboratório idôneo.

XI. Somente serão considerados reabilitados os corpos d'água que atingirem, no mínimo, a Classe 2, de acordo com a classificação estabelecida na Resolução Conama nº 20/86.

Artigo 9º - A fiscalização das disposições desta Resolução como dos licenciamentos dela decorrentes deverá ser feita de forma integrada entre a Cetesb, o DAIA e o DEPRN.

Parágrafo único – A SMA deverá propor, através de consórcios, convênios ou outras formas juridicamente possíveis, a integração dos Municípios envolvidos, bem como da União e dos seus órgãos ambientais na realização da atividade de que trata este artigo.

Artigo 10 – A Licença de Instalação só será outorgada se constatado o cumprimento do disposto no inciso I e nas alíneas “a”, “c”, “e” e “f” do inciso VI, do artigo 4º e nos artigos 5º, 6º e 7º desta Resolução, e se:

I - comprovado o início da revegetação de que trata o inciso IV do artigo 4º.

II - protocolado o pedido de registro de que trata a alínea b do inciso VI do art. 4º.

III - assinado o Termo de Ajustamento de Conduta pelo qual o empreendedor se obriga a executar todas as medidas de recuperação propostas no processo de licenciamento e no plano de revegetação apresentado, e a cumprir todas as exigências técnicas determinadas no Laudo de Vistoria, bem como a pagar a multa diária prevista no artigo 11.

Artigo 11 – O não-cumprimento de quaisquer das obrigações principais e acessórias assumidas sujeitará o empreendedor à interdição do empreendimento, sem prejuízo da responsabilidade civil e criminal, bem como do pagamento de multa diária de 1.000 UFESP.

Artigo 12 – A Licença de Funcionamento só será outorgada após o cumprimento das disposições do artigo 4º e deverá ser reavaliada, no máximo, a cada dezoito (18) meses, facultando-se ao órgão competente sua cassação, no caso do não-cumprimento dos critérios estabelecidos na concessão da licença.

Artigo 13 – As atividades minerárias de que trata o artigo 2º deverão, no prazo máximo de noventa (90) dias, contados a partir da data de publicação desta Resolução, apresentar todos os documentos e comprovações exigidos por este instrumento legal para a obtenção da Licença de Instalação, sob pena de imediata interdição de suas atividades.

Parágrafo Único – a SMA se manifestará sobre o pedido de licença no prazo máximo de cento e vinte (120) dias, contados a partir da data do protocolo dos documentos.

Artigo 14 – Esta Resolução entrará em vigor na data de sua publicação.

ANEXO B

Lista de verificação (“check list”) para aplicação nas minerações de areia visitadas.

1. Identificação do empreendimento. Dados técnicos.
2. Demarcação da área lavrada (Pit final).
3. Método produtivo:
 - Desmonte hidráulico
 - Cava submersa
4. Implantação de sistemas de drenagem.
5. Verificação de processos ativos de dinâmica de superfície nas frentes de lavra e bota-fora (erosão/instabilização).
6. Uso da água. Funcionamento em circuito fechado.
7. Implantação de cortinas vegetais nos limites do empreendimento.
8. Utilização de APPs.
9. Revegetação nas APPs utilizadas. Área revegetada.
 - Modelo de plantio
 - Espécies utilizadas
 - Data de plantio
10. Revegetação nas frentes de lavra abandonadas. Área revegetada.
 - Modelo de plantio
 - Espécies utilizadas
 - Data de plantio
11. Revegetação em bacias de decantação. Área revegetada.
 - Modelo de plantio
 - Espécies utilizadas
 - Data de plantio
12. Estado da revegetação:
 - sombreamento total
 - sombreamento parcial
 - idade das plantas
 - altura média das plantas

13. Manejo do solo. Procedimentos.

- Armazenamento
- Tempo de estocagem
- Uso de cobertura
- Análise de solo

14. Adição de corretivos e/ou fertilizantes

- Adubos orgânicos
- Calagem
- outros

15. Cuidados na superfície antes da recolocação de solo

- Escarificação
- Uso de subsolador

16. Procedimentos de plantio

17. Cuidados posteriores ao plantio das mudas

18. Produção de mudas/viveiros próprios? Origem das sementes.

19. Responsável pelas atividades de recuperação/revegetação.

20. Frequência de visitas do técnico ou encarregado pela recuperação.

21. Existência de algum tipo de monitoramento da mata (plantas, solo, fauna...)

22. Existência de PRAD.

23. Visitas dos órgãos fiscalizadores.

ANEXO C

Gráficos dos Dados Obtidos nas Parcelas Avaliadas

Gráficos da Mineração Viterbo

Parcela 1

Parcela 2

Parcela 3

Parcela 4

Parcela 5

Parcela 6

Gráficos da Mineração Cinco Lago

Parcela 1

Parcela 2

Diagrama C3 – Distribuição de plantas por classe de altura nas parcelas 1 e 2. Mineração Cinco Lagos

Diagrama C4 – Distribuição de plantas por classe de altura nas parcelas 3 e 4. Mineração Cinco Lagos.

Diagrama C5- Distribuição de plantas por classe de altura na parcela 5. Mineração 5 Lagos

Tabelas de resultados obtidos

Tabela C1- Resultados de **Altura Média** e **Número Total de Plantas** das parcelas avaliadas (Mineração Viterbo Machado).

Idade de Plantio (IP)	Parcela	Número de plantas	Altura média
IP1	1	36	2,19
	2	108	2,83
Média		72	2,51
IP2	3	19	1,97
	4	30	1,63
	5	22	2,31
	6	18	2,22
Média		22,25	2,03
IP1 – 2.000 plantas/ha e 2,51 m/planta			
IP2 – 618 plantas/ha e 2,03 m/planta			

IP1: nove anos

IP2: cinco anos

Tabela C2: Mortalidade de espécies plantadas nas parcelas avaliadas

Mineração	Parcela	(%)Mortalidade
Viterbo	IP1*	
	1	-----
	IP2	
	2	-----
	3	52,5
	4	25
	5	24
	6	49
Média para IP2		38
Cinco Lagos	d1	
	1	9,76
	2	6,1
Média para d1		7,93
	d2	
	3	0
	4	2,170
	5	9,3
Média para d2		3,82

* Nas parcelas 1 e 2 (IP1: nove anos) da Mineração Viterbo não há espécies arbóreas plantadas

IP2:cinco anos

d1: distanciamento 6x1m

d2: distanciamento 3,5x2,5m

Tabela C3- Resultados de **Altura Média e Número Total de Plantas** das parcelas avaliadas (Mineração Cinco Lagos).

Distanciamento do plantio	Parcela	Altura média (PM)	Altura média (PNM)	Altura média (m)	Número de PM	Número de PNM	Número total de plantas
d1	1	7,63	2,19	4,91	38	29	67
d1	2	7,60	2,72	5,16	39	51	90
Média para d1		7,62	2,45	5,03			
d2	3	6,34	2,30	4,32	51	5	56
d2	4	6,74	2,37	4,55	46	23	69
d2	5	7,31	6,67	6,99	43	24	67
Média para d2		6,80	3,78	5,29			

Média do Número de Plantas					PM	PNM	Média total
d1					38,5	40	78,5
d2					46,7	17,3	64

d1 – 2.181 planta/ha e 5,03 m/planta

d2 – 1.777,8 plantas/ha e 5,29 m/planta

d1: distanciamento 6x1m

d2: distanciamento 3,5x2,5m

9 REFERÊNCIAS

AMARAL, S. *et al.* Comportamento espectral de mudas de *Eucalyptus grandis* (Hill) em diferentes percentagens de cobertura. *In*: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., Campos de Jordão, 1990. **Anais**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1990. p. 61-66.

AOKI, Mineração. **Memorial de caracterização do empreendimento**. Tremembé, São Paulo: AGRA S. A., 1993. 19p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Degradação do solo, terminologia - NBR 10703**. Rio de Janeiro, 1989. 45 p.

BALENSIEFER, L. Estado da arte em recuperação e manejo de áreas frágeis e/ou degradadas *In*: WORKSHOP DE RECUPERAÇÃO E MANEJO DE ÁREAS DEGRADADAS, Campinas, outubro de 1997 **Memórias**. Jaguariúna: EMBRAPA – MEIO AMBIENTE, 1998. p. 15-18.

BARBOSA, L. Considerações gerais e modelos de recuperação de formações ciliares. *In*: RODRIGUES, R. E.; LEITÃO FILHO, H. (Ed.) **Matas ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: EDUSP – FAPESP, 2000. p. 300-310.

BARTH, R. Avaliação de áreas mineradas no Brasil.. **Brasil Mineral**, São Paulo, n. 71, p. 60-72, out. 1989.

BERTONI, J.; LOMBARDI, F. **Conservação do solo**. Piracicaba: Livroceres, 1985. Capítulos 7 e 8. p. 94-192

BITAR, Y. O. **Mineração e sustentabilidade ambiental na Região Metropolitana de São Paulo**. São Paulo. Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1998. 29 p.

BROWN JR., K. Insetos indicadores da história, composição, diversidade e integridade de matas ciliares tropicais. *In*: RODRIGUES, R. E.; LEITÃO FILHO, H. (Ed.) **Matas ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: EDUSP – FAPESP, 2000. p. 223-232.

CAMPELLO, E. Sucessão vegetal na recuperação de áreas degradadas. *In*: DIAS, L.; MELLO, J. (Ed.) **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa/ SOBRADE, 1998.

CAMPELLO, E.; FRANCO, A.; DIAS, L. Monitoramento ambiental. **Ação Ambiental**, Viçosa, Minas Gerais n. 10, p. 22-25, 2000.

CINCO LAGOS, Mineração. **Memorial de caracterização do empreendimento**. Tremembé, São Paulo: AGRA S. A., 1992. 21p.

CUCHIERATO, G. **Caracterização tecnológica de resíduos de mineração de agregados da RMSP, visando seu aproveitamento econômico.** 2000. 201p. Tese (Mestrado)- Universidade de São Paulo, São Paulo.

DIAS, E. G. C. S. **Avaliação do impacto ambiental de projetos de mineração no Estado de São Paulo: a etapa de acompanhamento.** 2001. 283 p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

DIAS, L. Caracterização de substratos para fins de recuperação de áreas degradadas. *In*: DIAS, L.; MELLO, J. (Ed.) **Recuperação de áreas degradadas.** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa/ SOBRADE, 1998. p.27-44

DURIGAN, G.; DIAS, H. Abundância e diversidade da regeneração natural sob mata ciliar implantada. *In*: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., Campos de Jordão, 1990. **Anais.** São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1990. p. 308-311.

FLORESTAR ESTATÍSTICO. São Paulo: Fundação Florestar, Fundo Florestar, nov. 1993-fev. 1994 - quadrimestral.

FONTES, M. Estudo pedológico reduz impactos da mineração. **Ambiente**, São Paulo, v. 5, n. 1, p. 58-62, 1991.

FOWLER, H. Provas de melhoria ambiental. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 24, n.142 p. 69-71, set. 1998.

FRANCHI, J. G. **Aplicação de turfa na recuperação de solos degradados pela mineração de areia.** 2000. 105 p. Tese (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

FRIGHETTO, R.; VALARINI, P. (Ed.). **Indicadores biológicos e bioquímicos da qualidade de solo:** manual técnico. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. 198 p.

FUNDAÇÃO FLORESTAL DE ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE. **Conceitos básicos de meio ambiente.** Rio de Janeiro: Serviço de Comunicação Social da Petrobras. 1990. 246 p.

GRIFFITH, J. Introdução a prática de recuperação ambiental. *In*: WORKSHOP INTERNACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE RECURSOS NATURAIS DEGRADADOS PELA MINERAÇÃO, Poços de Caldas, Minas Gerais, novembro de 1993. **Anais.** Brasília: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 1995. p. 19-24.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação.** Brasília: 1990. 96 p.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS S. A. **Avaliação preliminar dos problemas causados pela mineração no meio ambiente do Estado de São Paulo.** São Paulo, 1980. p. 3-13. (Relatório IPT, 14684).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS S. A. **Mineração e município:** manual para planejamento e gestão da atividade de mineração. São Paulo, 2001. p. 39-46, 67-138. (Relatório IPT, 55.955).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS S. A. **Estudo preliminar para avaliação do empolamento e da compactação nas operações de lavra e estocagem de argila nos municípios de Panorama e Paulicéia.** São Paulo, 1995. p. 40-42. (Relatório IPT, 33.036).

JACOMINE, T.; KLINGER, P. Solos sob matas ciliares. *In*: RODRIGUES, R. E; LEITÃO FILHO, H. (Ed.). **Matas ciliares:** conservação e recuperação. São Paulo: EDUSP – FAPESP, 2000. p. 27-31.

KAGEYAMA, P. *et al.* Implantação de matas ciliares: estratégias para auxiliar a sucessão secundária. *In*: SIMPÓSIO SOBRE MATA CILIAR, São Paulo, 1989. **Anais.** Campinas: Fundação Cargill, 1989. p. 130-140.

KAGEYAMA, P. ; GANDARA, F. Recuperação em áreas ciliares. *In*: RODRIGUES, R. E; LEITÃO FILHO, H. (Ed.). **Matas ciliares:** conservação e recuperação. São Paulo: EDUSP – FAPESP, 2000. p. 249-267.

LAL, R. **Métodos para avaliação do uso sustentável dos recursos solo e água nos trópicos** . Trad. e adaptação de Claudia Conti e José Dynia. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 1999. 97p.

LIMA, W. **Impacto ambiental do eucalipto.** 2. ed. São Paulo: EDUSP, 1993. p. 58-66.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras:** manual de identificação de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa, São Paulo: Editora Plantarum, 1992. p. 100-150.

LORENZI, H. **Plantas daninhas do Brasil:** terrestres, aquáticas, tóxicas e medicinais plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa, São Paulo: Editora Plantarum, 1991. 440 p.

LORENZO, J. **Regeneração natural de uma área minerada de bauxita em Poços de Caldas, Minas Gerais.** 151 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, 1991.

LYLE, E. **Surface mine reclamation manual.** New York: Elsevier. 1987. Cap. 7-9, p. 62-94.

MUNSHOWER, F. **Practical handbook of disturbed land revegetation.** Boca Raton: Lewis Publishers, 1994. 265 p. cap. 3 e 4. p. 57-138.

MORAES DE JESUS, R. Revegetação: da teoria a prática, técnicas de implantação. *In*: SIMPÓSIO SUL-AMERICANO, 1.; SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2., Foz de Iguaçu, 1994. **Anais.** :Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 1994. p. 123-131.

NETO, P. O. C. **Estatística.** São Paulo: Edgard Blücher, 1977. 262 p.

PAIVA, H. **Preparo de solo para a implantação florestal.** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1995. p. 26-29.

PARAÍBA DO SUL, Mineração. **Estudo de impacto ambiental.** Taubaté, São Paulo: AGRA. S.A., 1990. 127 p.

PRIMAVESI, A. **O manejo ecológico do solo:** agricultura em regiões tropicais. São Paulo: Nobel, 1981. 541 p.

RODRIGUES, R. Análise estrutural de formações florestais ripárias. *In*: BARBOSA, L. (Coord.) **Simpósio sobre matas ciliares.** Mogi-Guaçu, São Paulo, 1989. 99-116.

RODRIGUES, R., *et al.* Recuperação de fragmentos florestais degradados. **Ação Ambiental**, n.10, p. 21-23, 2000.

RODRIGUES, R. ; GANDOLFI, S. Restauração de florestas tropicais: subsídios para uma definição metodológica e indicadores de avaliação e monitoramento. *In*: DIAS, L.; MELLO, J. (Ed.) **Recuperação de áreas degradadas.** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa/ SOBRADE, 1998. p. 203-215.

RODRIGUES R. ; GANDOLFI, S. Conceitos, tendências e ações para a recuperação de florestas ciliares. *In*: RODRIGUES, R. E.; LEITÃO FILHO, H. (Ed.). **Matas ciliares:** conservação e recuperação. São Paulo: EDUSP – FAPESP, 2000. p. 235-247.

SÁNCHEZ, L. E. Land reclamation in Brazil: current situation and future trends. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENVIRONMENTAL ISSUES AND MANAGEMENT OF WASTE IN ENERGY AND MINERALS PRODUCTION, 2., Calgary, 1992. **Environmental issues and management in energy and minerals production:** proceedings. Rotterdam: Balkema, 1992. p. 129-135.

SÁNCHEZ, L. E. **Recuperação de áreas degradadas na mineração.** São Paulo: EPUSP, 2000. / Notas de Aula, na Disciplina Recuperação de Áreas Degradadas - PMI-5704/

SANTARELLI, E. Produção de mudas de espécies nativas para florestas ciliares. *In*: RODRIGUES, R. E.; LEITÃO FILHO, H. (Ed.). **Matas ciliares:** conservação e recuperação. São Paulo: EDUSP – FAPESP, 2000. p. 313-317.

SANTO, E. **Determinação de indicadores de impactos ambientais cumulativos decorrentes da mineração de areia no Vale de Paraíba através de geoprocessamento.** 2000. 156 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

SANTO, E.; SÁNCHEZ, L. GIS applied to determine environmental impact indicators made by sand mining in a floodplain in southeastern, Brazil. **Environmental Geology**, 41: p.628-637, 2002.

SAUTTER, K. Meso (*acarí e colembola*) e macrofauna (*oligochaeta*) na recuperação de solos degradados. In: RODRIGUES, R.; LEITÃO FILHO, H. (Ed.) **Matas ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: EDUSP – FAPESP, 2000. p. 198-201.

SILVA, R. **A importância dos condicionantes geológico-técnicos na RAD por lavra de minas a céu aberto**. 2000. 194 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

SILVEIRA, R. *et al.* **Adubação e nutrição de espécies nativas: viveiro e campo**. Apostila do 1º Curso de Recuperação de Matas Ciliares. Piracicaba, São Paulo: RR Agraforestal, 2002. 50 p.

SOUZA, J. **Avaliação das estratégias de recuperação de áreas degradadas pela mineração de bauxita em Poços de Caldas (MG)**. 1997. 97 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

TOY, T. Topographic reconstruction: the foundation of reclamation. In: DIAS, L.; MELLO, J. (Ed.) **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa/ SOBRADE, 1998. 107-115.

TOY, T. *et al.* Planejamento a longo prazo da revegetação para o fechamento de minas a céu aberto no Brasil. **Sociedade de Investigações Florestais**. Viçosa, MG. v.25, n.4, p. 487-499, 2001.

VALE do Paraíba: maior região produtora de areia do país. **Areia e Brita**, São Paulo, n. 10, p. 5-19, abr/ jun. 2000.

VASCONCELOS, M. **Diagnóstico da degradação do meio físico e proposição de medidas de recuperação em áreas de mineração abandonadas na Bacia de Guarapiranga, RMSP**. 2000. 234 p. Tese (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2000.

VARGAS, M. **Introdução à mecânica de solos**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil/EDUSP, 1977. p. 4-11.

VITERBO MACHADO, Mineração. **Plano de recuperação de áreas degradadas**. São Paulo: Prominer, 1990. 96 p.

WHITAKER, W. **Técnicas de preparação de areia para uso na construção civil**. 2001,. 202p. Tese (Mestrado) – Escola Politécnica Universidade de São Paulo, São Paulo.

WILLIAMS, D. A revegetação de áreas degradadas pela mineração. **Minérios: Extração e Processamento**, São Paulo, n. 43, p. 43-47, 1991.

10 BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ASTI VERA, A. **Metodologia da pesquisa científica** – Porto Alegre: Globo, 1980. 215p.

BITAR, O. **Avaliação da recuperação de áreas degradadas por mineração na Região metropolitana de São Paulo**. 1997. 185p. São Paulo, Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

CAIRNS JR. J. Restoration, reclamation and regeneration of degraded or destroyed ecosystems. In: SOULÉ, M.E.(Org.) **Conservation Biology**. Sunderland: Sinauer, 1986 p. 465-484.

CAVALCANTI, R. **A mineração e o desenvolvimento sustentável: casos da Companhia Vale do Rio Doce**. 1996. 432p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

COUTINHO, L. **Botânica- São Paulo: Editora Cultrix**, 1983. V.1. 307p.

DIAS, E. G. C. S. O desafio ambiental na mineração. **Areia e Brita**, São Paulo, n. 1, p. 10-12, maio 1997.

INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA. **Manual de restauración de terrenos e evaluación de impactos ambientales en minería** - España: Instituto Tecnológico GeoMinero de España, 1989. 321p.

FORNASARI FILHO *et al.* Experimentos de revegetação destinados ao controle de erosão em corpos de bota-fora da Mina de Cana Brava, GO. Goiânia, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34, **Anais**. SBG, v.1, p. 494-499.

GRIFFITH, J. J.; DIAS, L.; JUCKSCH, I. Recuperação de áreas degradadas usando vegetação nativa. **Saneamento ambiental**. São Paulo. v.7, n.37, p. 28-37, 1996.

GOLDSMITH, F. (Edit.) **Monitoring for conservation and ecology**.- London: Chapman and Hall, 1991. 275p.

GUERRA, A. **Diccionario Geológico-geomorfológico**. 4^a ed. Rio de Janeiro: Fundação IBGE Inst. Brasileiro de Geografia, 1972. 439p.

HERMANN, H. **Política de aproveitamento de areia no Estado de São Paulo: dos conflitos existentes às compatibilizações possíveis**.- Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1992. 186p.

KOEPEF, H. *et al.* **Agricultura biodinâmica**. São Paulo: Nobel. 316p.

MILLS, C. Achieving a final land use for three mining projects. In: CURTIN UNIVERSITY TECHNOLOGY. **The third international conference on enviromental issues and waste management in energy and mineral production**. Australia: Curtin University, 1994. p. 233-248.

NASCIMENTO, A. **Recuperação ambiental de áreas mineradas no Brasil: ocorrência de planejamento a longo prazo**. 2001. 80p. Tese (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais.

NAVE, A. **Implantação de viveiros de viveiros de essências florestais nativas**. Apostila do 1º Curso de Recuperação de Matas Ciliares. Piracicaba, São Paulo: RR Agroflorestal, 2002. 22p.

NAVE, A.; GANDOLFI, S.; RODRIGUES, R. **Adequação ambiental de propriedades rurais e recuperação de áreas degradadas**. Apostila do 1º Curso de Recuperação de Matas Ciliares. Piracicaba, São Paulo: RR Agroflorestal, 2002. 75p.

OZORIO, T. **Potencial de uso de serrapilheira na recuperação de áreas degradadas por mineração de ferro, Mariana-MG**. 2000. 62 p. Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal de Viçosa. Viçosa.

PARISI, V. **Biología y ecología del suelo**. España: Blume, 1979. 169p.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental. Situação atual e perspectivas**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo 1991.165p.

SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE MINERAÇÃO EM ÁREAS URBANAS. São Paulo, 1989. **Mineração em áreas urbanas**. São Paulo: Secretaria da Ciência, Tecnologia e Desenvolvimento Econômico do Estado de São Paulo

SENDLEIN, L. *et al.* (Edit.) **Surface mining environmental monitoring and reclamation handbook**. New York: Elsevier, 1983. 599p.

SILVA, L.; NETO, E. **Revegetação nos empreendimentos minerários do Vale do Paraíba**

TOLEDO, A.; CERVENKA, C.; GONÇALVES, J. **Recuperação de áreas degradadas**. São Paulo: CESP, 1990. 13p.

VALVERDE, F. (Coord.) **Bases para o planejamento da mineração de areia na Região metropolitana de São Paulo**. São Paulo: CPRM, 1977. 133p.

VILLAS BOAS, R.; FELLOWS FILHO, L (Ed.) **Technological challenges posed by sustainable development: the mineral extraction industries**. Madrid: CYTED/IMAAC/UNIDO, 2000. 408p.

WEEISSBERG, I. 1995. **Estudo da reabilitação de solos em áreas bauxíticas mineradas em Poços de Caldas (MG); Uma abordagem ambiental e uma contribuição técnica para otimização**. 1995. 130p. Dissertação (Mestrado)- Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo.

WILLIAM, R.; GILPIN, M.; ADER, J. (Edit.) **Restoration ecology: a synthetic approach to ecological research**. USA: cambridge University, 1987. 342p.