

USP

Campus de São Carlos

**USO DO SIG COMO FERRAMENTA DE AUXÍLIO NA
RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS**

ROBERTO SIMÃO JÚNIOR

ORIENTADOR: PROF. DR. FAZAL HUSSAIN CHAUDHRY

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO



ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

Serviço de Pós-Graduação EESC/USP

EXEMPLAR REVISADO

Data de entrada no Serviço: 28 / 11 / 01

Ass.: Guilherme

Uso do SIG como Ferramenta de Auxílio na Recuperação de Áreas Degradadas.

Roberto Simão Júnior

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ciências da Engenharia Ambiental.

ORIENTADOR: Fazal Hussain Chaudhry

DEDALUS - Acervo - EESC



31100036814



São Carlos
2001

Class.	TESE - EESC
Cutt.	5684
Tombo	T0261/01

1213003

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

S588u Simão Júnior, Roberto
Uso do SIG como ferramenta de auxílio na
recuperação de áreas degradadas / Roberto Simão
Júnior. -- São Carlos, 2001.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de
São Carlos-Universidade de São Paulo, 2001.
Área: Ciências da Engenharia Ambiental.
Orientador: Prof. Dr. Fazal Hussain Chaudhry.

1. Recuperação de áreas degradadas. 2. SIG.
3. Mineração. 4. Paradigmas. 5. Sucessão ecológica.
I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro **ROBERTO SIMÃO JUNIOR**

Dissertação defendida e julgada em 19-06-2001 perante a Comissão Julgadora:



Prof. Tit. **FAZAL HUSSAIN CHAUDHRY (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

APROVADO



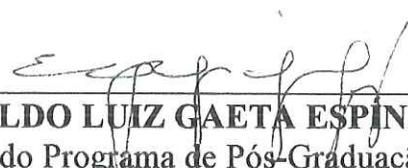
Prof. Assoc. **MARCELO PEREIRA DE SOUZA**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

Aprovado

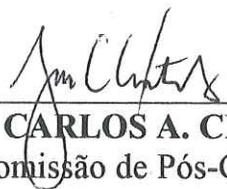


Prof. Dr. **DANIEL JOSÉ DA SILVA**
(Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC)

Aprovado



Prof. Doutor **EVALDO LUIZ GAETA ESPINDOLA**
Coordenador do Programa de Pós-Graduação
em Ciências da Engenharia Ambiental



JOSÉ CARLOS A. CINTRA
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC

AGRADECIMENTOS

Pessoalmente agradecimentos sempre me causaram calafrios.

Primeiro porque considero que todas as pessoas com quem convivi ao longo de toda minha vida, desde a concepção até o presente, tenham sido amigas ou inimigas, seja através da voz, da escrita, da eletrônica, ou qualquer outro meio de comunicação, contribuíram para minha formação como ser humano e assim conseqüentemente contribuíram, seja diretamente ou indiretamente, para este trabalho.

Segundo porque ao escolher os nomes que mais intensamente influenciaram um trabalho sempre existe a possibilidade de, no momento de fazê-lo, esquecermos de alguém.

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus e, ao fazê-lo, sei que agradeço a todos com quem convivi até hoje.

Em especial agradeço muito ao meu orientador, Prof. Fazal H. Chaudhry, por toda a sabedoria com que sempre procurou tratar as pessoas, sabedoria tão em falta no mundo de hoje, e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelas bolsas, auxílios e outros que auxiliaram este trabalho.

Agradeço muito também aos meus pais que sempre acreditaram em mim, mesmo quando não o compreendiam totalmente, afinal, como diz o velho ditado popular, mãe é mãe e pai é pai.

Agradeço também a meus irmãos Marcel, Juliano e Fabricio, e a todos os amigos com quem convivi durante este trabalho, em especial ao Marcos H. Lucena, grande amigo com quem compartilho idéias desde a graduação.

E, finalmente, a minha amada Lisangela Kati do Nascimento ou simplesmente Ka, por ter sido e estar sendo minha grande companheira nesta fascinante jornada chamada VIDA.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	ii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	iii
LISTA DE SÍMBOLOS	iv
RESUMO	v
ABSTRACT	vi
1. INTRODUÇÃO	01
2. HISTÓRICO	03
2.1 Crise ambiental ou crise do pensamento?	03
2.2 Breve histórico da degradação e da recuperação ambiental	05
2.2.1 O longo século XX	08
2.3 Breve histórico da degradação e da recuperação ambiental no Brasil	13
3. RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS	28
3.1 A RAD no século XX e a importância da mineração	28
3.2 (Re) Pensando a RAD	31
3.3 Elementos básicos para uma proposta de RAD	35
3.4 Sistema de Informação Geográfico (SIG)	37
3.5 A necessidade de um planejamento integrado para o desenvolvimento sustentável da mineração	39
4. MATERIAIS E MÉTODOS	41
4.1 A empresa Samarco Mineração S.A.	41

4.2	Características gerais da área de trabalho	42
4.2.1	Localização da área de estudo	42
4.2.2	Processo de produção utilizado na mineração	43
4.3	Características ambientais	46
4.3.1	Meio abiótico	48
4.3.2	Meio biótico	55
4.4	Metodologia	57
4.4.1	Introdução	57
4.4.2	Estudo de uma metodologia para a drenagem superficial das áreas mineradas	59
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	64
5.1	Resultados da análise da drenagem na área de estudo	64
6.	CONCLUSÕES	81
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83

Lista de Figuras

FIGURA 01 - Mapa de localização simplificado das unidades da empresa	42
FIGURA 02 - Equipamentos utilizados na lavra	44
FIGURA 03 - Exemplo de pilha de estéril	47
FIGURA 04 - Gráfico da média mensal de precipitação na área de mineração (1985-1998)	49
FIGURA 05 - Face sul da Serra do Caraça tomada de Alegria	53
FIGURA 06 - Cristas com ravinas	53
FIGURA 07 - Vista Geral de Alegria E (8 e 9) ao centro	54
FIGURA 08 - Mata densa acompanhando o canal de drenagem	56
FIGURA 09 - Área de estudo com curvas de nível, hidrografia e bacia de influência	65
FIGURA 10 - Área selecionada (Alegria 9) para análise de drenagem	66
FIGURA 11 - Perfil longitudinal do Rio Piracicaba	67
FIGURA 12 - Perfil longitudinal do Córrego dos Macacos	67
FIGURA 13 - MDT da área de estudo	68
FIGURA 14 - Plano Diretor digitalizado demonstrando a cobertura do solo	68
FIGURA 15 - Cobertura do solo da área de estudo	69
FIGURA 16 - Declividade reclassificada em 4 classes	70
FIGURA 17 - Valores de C (Coeficiente de Deflúvio) após reclassificação	71
FIGURA 18 - Modelo hipsométrico com a hidrografia e as microbacias delimitadas	72
FIGURA 19 - Valores médios de C para cada microbacia	74

Lista de Tabelas

TABELA 01 - Principais exportações brasileiras (%)	20
TABELA 02 - Estimativas da População no Brasil de 1550 a 1900	23
TABELA 03 - Evolução da população urbano/rural nas últimas décadas	24
TABELA 04 - Coeficiente de Deflúvio	61
TABELA 05 - Valores médios de precipitação máxima para a mina de Alegria, Ouro Preto (MG)	62
TABELA 06 - Valores do coeficiente de deflúvio para as condições da área de estudo (adaptada de Lyle, 1987)	63
TABELA 07 - Resultados tabulares obtidos pelo módulo de análise hidrográfica do ArcView	73
TABELA 08 - Vazões máximas (m^3/s) nas micro-bacias, com TR = 10 anos	75
TABELA 09 - Vazões máximas (m^3/s) nas micro-bacias, com TR = 100 anos	76
TABELA 10 - Vazões máximas (m^3/s) nas micro-bacias, com TR = 500 anos	77
TABELA 11 - Volumes Totais (m^3) nas micro-bacias, com TR = 500 anos	78
TABELA 12 - Micro-bacias com maiores potencialidades de apresentarem problemas à drenagem superficial (sentido decrescente da esquerda para a direita)	78
TABELA 13 - Micro-bacias com menores potencialidades de apresentarem problemas à drenagem superficial (sentido decrescente da esquerda para a direita)	79
TABELA 14 - Vulnerabilidade das micro-bacias em relação à drenagem superficial	80

Lista de Abreviaturas e Siglas

ABNT	– Associação Brasileira de Normas Técnicas.
a.C.	– antes de Cristo.
AMLC	– American Memory Library of Congress.
CFC	– Clorofluorcarboneto.
CONAMA	– Conselho Nacional do Meio Ambiente.
DDD	– Discagem Direta a Distância.
DLD	– Department of Land Development.
DNPM	– Departamento Nacional de Pesquisa Mineral.
ESALQ	– Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz.
EUA	– Estados Unidos da América.
FAO	– Food and Agriculture Organization.
GEO	– Global Environmental Outlook.
hp	– horse power.
IBAMA	– Instituto Brasileiro do Meio Ambiente.
IBRAM	– Instituto Brasileiro de Mineração.
ISO	– International Standard Organization.
LAPAG	– Laboratório de Pesquisas Antárticas e Glaciológicas.
MDE	– Modelo Digital de Elevação.
MNT	– Modelo Numérico de Terreno.
NBR	– Norma Brasileira de Referência.
OCDE	– Organização Econômica dos Países Desenvolvidos.
ONU	– Organização das Nações Unidas.
OMS	– Organização Mundial da Saúde.
PNUMA	– Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente.
RAD	– Recuperação de Áreas Degradadas.
SIG	– Sistema de Informações Geográficas.
SINRAD	– Simpósio Nacional de Recuperação de Áreas Degradadas.
SOBRADE	– Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas.

- TIN – Triangulated Irregular Network.
- UFOP – Universidade Federal de Ouro Preto.
- UICN – União Internacional para Conservação da Natureza.
- UNESCO – United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
- USP – Universidade de São Paulo.

Lista de Símbolos

Q	–	Vazão
C	–	Coefficiente de Deflúvio
i	–	intensidade
A	–	Área
TR	–	Tempo de Retorno

RESUMO

SIMÃO JR., R. *Uso do SIS como Ferramenta de Auxílio na Recuperação de Áreas Degradadas*. São Carlos, 2001. 92p. Dissertação (Mestrado) – Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Pesquisou-se o uso do Sistema de Informação Geográfica (SIG) como ferramenta de auxílio na Recuperação de Áreas Degradadas (RAD), dentro de uma proposta de um paradigma mais adequado ao tema. Como estudo de caso, utilizou-se o SIG no desenvolvimento de elementos para o planejamento da drenagem superficial de áreas mineradas pela empresa Samarco Mineração SA, Ouro Preto/MG, através da identificação de micro-bacias vulneráveis à drenagem. A falta da abordagem holística e a excessiva fragmentação do saber, tem feito os profissionais confundirem os efeitos como causas, obtendo-se pseudo-soluções, aparentemente eficientes no curto prazo, mas falhas no médio e longo prazo, como demonstrado por alguns projetos de RAD no passado, a exemplo do paradigma do 'Tapete Verde' nas décadas de 70 e 80. Sugere-se um novo paradigma para a RAD visando-se propiciar nichos distribuídos em pontos diversos dentro das áreas degradadas. Propõe-se, para tal, a divisão das águas de drenagem com vistas ao desencadeamento da sucessão ecológica, promovendo a retenção da umidade, matéria orgânica, nutrientes e propágulos. Espera-se que os conceitos aqui aventados permitam uma recuperação de áreas degradadas mais eficaz do que se tem obtido e melhor sincronizado com as exigências do controle ambiental.

Palavras-Chaves: Recuperação de Áreas Degradadas, Sistema de Informação Geográfica, Drenagem de Áreas Mineradas, Paradigmas, Sucessão Ecológica.

ABSTRACT

SIMÃO JR., R. *Use of GIS as Management Tool on Restoration of Damaged Areas*. São Carlos, 2001. 92p. Master Degree Dissertation – Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada, São Carlos School of Engineering, University of São Paulo, São Carlos-SP, Brazil.

This study presents an investigation of Restoration of Damaged Areas (RDA) using a Geographical Information System (GIS), within the context of an adequate paradigm for this purpose. As a case study, a GIS was employed to develop information for planning of surface drainage in areas mined by Samarco Mineração SA, Ouro Preto-MG, Brazil, identifying micro-basins vulnerable to deleterious effects of excessive drainage. A review of literature on RDA shows that there is a lack of treatments based on holistic principles emphasizing only compartmentalized knowledge. This promotes confusion as regards the causes and the effects leading to pseudo-solutions, although apparently efficient in the short run, are prejudicial in the long run, as demonstrated by some of the past RDA projects. One can mention the paradigm of “Green Carpet” used in 70’s and 80’s which limited itself to covering the damaged areas with some kind of vegetation to improve the visual aspect of such areas. A new paradigm is proposed for RDA that requires a division of the drainage flow in order to initiate ecological succession promoting retention of moisture, organic matter, nutrients and propagules. It is hoped that the concepts alluded to in this study help to obtain more efficient RDAs than those attained in the past and better attuned to the demands of modern environmental control.

Keywords: Restoration of Damaged Areas, Geographical Information Systems, Drainage of Mined Areas, Paradigms, Ecological Succession.

CAPÍTULO 01 - INTRODUÇÃO

Os avanços científicos e tecnológicos do século XX não possuem precedentes na história humana, no entanto o século se conclui com um saldo negativo em termos sócio-ambientais. Vários pensadores do mundo todo têm discutido o que vem causando tal desequilíbrio. Os debates parecem convergir e uma palavra vem sendo cada vez mais utilizada: paradigmas.

A visão que se tem da realidade parece não mais ser suficiente. Se de um lado a ciência tem proporcionado tecnologias nunca antes imaginadas, por outro os problemas sócio-ambientais se avolumam cada vez mais. Contesta-se até mesmo os modelos de desenvolvimento adotados.

Hoje, já se tem consciência de que a maneira como se percebe a realidade e consequentemente age-se para com ela, têm resultado em sérias conseqüências, algumas vezes no presente outras vezes relegando-as para as gerações futuras.

Apesar da degradação ambiental estar presente ao longo de toda a história humana, foi somente a partir da década de 1960 e 1970 que ela passou a ser assunto comentado com regularidade. Isto porque a degradação ambiental tem aumentado consideravelmente, tomando um escopo global, provocando uma ampla reação negativa na sociedade.

A própria ciência está sendo chamada para desenvolver técnicas e ferramentas procurando remediações para tal degradação, fazendo surgir os primeiros estudos sistematizados sobre Recuperação de Áreas Degradadas (RAD) ou, reabilitação de ecossistemas que, como se verá, possuem suas raízes ligadas à mineração.

Paralelamente a esta realidade, novos conhecimentos e novas ferramentas surgiram. Dentre estas, os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) passaram a ter destaque no cenário mundial. Inicialmente voltado à pesquisa e atualmente também ao planejamento, gerenciamento e monitoramento das atividades de exploração de recursos naturais, os SIG,

devido a sua arquitetura, são uma das poucas ferramentas que permitem uma integração de dados espaciais de qualquer procedência, característica fundamental para a grande maioria dos estudos ambientais e necessária à crescente demanda por pesquisas inter e transdisciplinares.

Nos últimos anos vem-se percebendo um esforço em praticamente todo o planeta procurando acelerar as transformações necessárias no paradigma civilizacional mas os resultados obtidos demonstram que estas transformações tem-se dado lenta e gradualmente.

Surge então um impasse, se esta transição é necessária, mas lenta e gradual, como garantir uma qualidade ambiental mínima se o modelo de paradigma atual que degradou várias áreas continua degradando outras novas numa velocidade muito maior do que se tem conseguido recuperar?

Durante esta transição a RAD, como uma medida corretiva, será de extrema importância para que as atividades humanas possam manter a utilização dos recursos naturais sem ultrapassar a capacidade de suporte do planeta, mantendo uma qualidade ambiental mínima para a conservação da vida, ou biodiversidade, na Terra.

A ciência tem papel fundamental nas pesquisas de RAD pois "a grande responsabilidade está antes de tudo nas mãos dos que lidam com tecnologias e nas dos que as utilizam, isto é, a ciência de um lado e as organizações empresarias do outro" (Weil, 1993), surgindo assim a proposta deste trabalho que tem como objetivo o uso da ferramenta SIG nas pesquisas de Recuperação de Áreas Degradadas, tendo-se como estudo de caso as áreas mineradas pela empresa Samarco Mineração S.A., no município de Ouro Preto, M.G.

CAPÍTULO 02 - HISTÓRICO

2.1 – CRISE AMBIENTAL OU CRISE DO PENSAMENTO?

Torna-se cada vez mais claro que já não basta apenas corrigir os problemas que vêm sendo gerados, tendo em vista que a correção tem sido bem mais lenta do que sua geração, mas sim compreender a gênese de tais problemas para que medidas preventivas possam ser tomadas.

O crescente debate acerca da temática ambiental surgido nas últimas décadas, na qual se insere a RAD, representa uma crise muito mais profunda pela qual a humanidade vem passando. Esta crise, como muito bem captada por Capra (1982), “é uma crise complexa e multidimensional, cujas facetas afetam todos os aspectos de nossa vida – a saúde e o modo de vida, a qualidade do meio ambiente e das relações sociais, da economia, tecnologia e política. É uma crise de dimensões intelectuais, morais e espirituais; uma crise de escala e premência sem precedentes em toda a história da humanidade. Pela primeira vez, temos que nos defrontar com a real ameaça de extinção da raça humana e de toda a vida no planeta”.

Assim, a crise ambiental, assim como a social, a econômica, a moral ou qualquer outra, representa uma das dimensões de uma mesma crise, uma crise do pensamento humano, a qual envolve “valores que estiveram associados a várias correntes da cultura ocidental, entre elas a Revolução Científica, o Iluminismo e a Revolução Industrial. Incluem a crença de que o método científico é a única abordagem válida; a concepção do universo como um sistema mecânico composto de unidades materiais elementares; a concepção da vida em sociedade como uma luta competitiva; e a crença do progresso material ilimitado, a ser alcançado através do crescimento econômico e tecnológico” (Capra, op cit).

Mas, para compreender porque se chegou a um nível de degradação ambiental tão grande, tem que se recuar um pouco no tempo, voltando até a Revolução Científica, na

Europa do século XVII. Ela se faz básica para a compreensão da realidade presente, pois é a base da construção do paradigma da sociedade moderna.

A ciência moderna começou a se esboçar no século XVI com a Renascença. Neste momento o homem passava a tomar seu lugar no mundo e a ocupar um espaço bem no seu centro, era o antropocentrismo (Crouzet, 1993; Aquino et al, 1999). Logo a seguir, no século XVII, com o cartesianismo, postula-se que conhecendo os mecanismos de funcionamento da natureza, *"poderíamos empregá-los da mesma maneira em todos os usos para os quais são próprios, e assim tornar-nos como que senhores e possuidores da natureza"* (Descartes, 1973).

Surgindo como que uma compensação à era medieval, e dando seqüência ao Renascimento, o Iluminismo no século XVIII estabelece a razão como o dom supremo humano iniciando a instrumentalização da natureza através de uma racionalidade técnica, quando surge a idéia burguesa de progresso e de desenvolvimento (Almeida, 1997; Crema, 1989; Pelizzoli, 1999). Assim, inicia-se a separação homem-natureza e *"o mundo como natureza exterior torna-se espaço de domínio humano"* (Almeida, op cit).

Mas, ao mesmo tempo em que tudo isto acontecia, a Europa estava em processo de expansão comercial, o mercantilismo, com o descobrimento de novas rotas marítimas para o oriente através da África e com a descoberta do Novo Mundo, o continente Americano. Com isto, uma *"maneira de ver o mundo"*, um paradigma, baseada em um modelo europeu começa a se expandir para todo o globo de tal maneira que hoje, após alguns séculos, se tornou hegemônica.

No século XVI tinha-se uma Europa que acabava de descobrir que o mundo era na verdade, além de redondo, muito maior do que imaginava-se e, além disto, quase concomitantemente a estas descobertas se dá a Revolução Científica, através da qual os europeus passam a compreender cada vez melhor sua realidade, ou pelo menos parte dela, desmistificando as explicações divinas utilizadas na era medieval, libertando o indivíduo. Com isto novas descobertas são feitas e instrumentos cada vez mais eficientes são elaborados até culminar, no século XVIII, na Revolução Industrial.

Agora junte todos estes "ingrediente": um mundo muito maior do que se imaginava e conseqüentemente com possibilidades de recursos naturais até então impensáveis; uma Revolução Científica que coloca o Homem como centro do universo, o dono da razão, a era do antropocêntrismo; uma Revolução Industrial que vai gradualmente criando um poder humano nunca antes imaginado, consolidando definitivamente a sociedade capitalista; e, para completar, a população neste período era pequena estando entre 0,5 a 1 bilhão de pessoas em todo o planeta.

Desta maneira, apesar de, ao longo de toda a história humana, existirem relatos de degradações ambientais como será melhor comentado no próximo item, foi a partir da Revolução Científica que a história da degradação ambiental inicia um processo de expansão até atingir, no século XX, uma escala global, fazendo surgir os primeiros sinais de colapso nos ciclos biogeoquímicos da biosfera.

2.2 - BREVE HISTÓRICO DA DEGRADAÇÃO E DA RECUPERAÇÃO AMBIENTAL

Nos últimos anos as discussões em torno da temática ambiental tiveram um aumento de tal magnitude que, hoje, parece ter "contagiado" toda a civilização humana. Este crescimento vertiginoso sobre a temática ambiental, quando olhado superficialmente, nos leva a vê-lo como exclusivo da sociedade moderna que, diante de suas próprias ações e respectivas conseqüências, viu-se obrigada a repensar sua postura para com si mesma e com o planeta.

Mas a verdade é que o ser humano e seu meio ambiente nunca andaram separados e, quando se olha para a história, percebe-se que a preocupação ambiental sempre existiu, mas hoje talvez pela primeira vez, ela assumiu uma escala planetária. Os historiadores percebem que o meio ambiente na antiguidade desempenhou um papel muito maior do que se imaginava, influenciando diretamente a ascensão ou o desaparecimento de povos inteiros durante a milenar história humana, nos oferecendo verdadeiras lições.

Pesquisas recentes tanto na Antártida como na Groelândia tem servido como provas das alterações ambientais provocadas pelas atividades humanas ao longo de sua história. As geleiras destas regiões se revelam funcionar como um arquivo natural da história ambiental do planeta, aonde pode-se analisar testemunhos de gelo extraídos de grandes profundidades e inferir as mudanças climáticas ocorridas nos últimos milênios (LAPAG, 2000). Desta maneira, devido às baixas temperaturas, as geleiras conservam os componentes químicos que constituíam a atmosfera em cada período histórico, registrando as alterações ambientais, tanto naturais, como as erupções vulcânicas, quanto antrópicas, como a alta concentração de chumbo no apogeu do Império Romano e a acentuada elevação dos níveis de dióxido de carbono e de metano a partir da Revolução Industrial. (LAPAG, op cit)

Talvez, a primeira lição seja a de que, embora as antigas civilizações não tivessem que lutar com problemas ambientais tipicamente modernos, devido ao seu estágio de desenvolvimento tecnológico, mesmo assim já tinham problemas ambientais diversos como

a disposição de esgotos e demais resíduos das atividades humanas, desmatamentos indevidos, erosão dos solos, captação e armazenamento de água, problemas de saúde pública, entre outros (Salum, 1995; Liebmann, 1979).

Em outras palavras, os problemas ambientais causados por alterações inconsequentes nos ecossistemas não é exclusivo da dita sociedade moderna do século XX mas sim vem nos acompanhando desde os primeiros agrupamentos humanos a pelo menos 10 mil anos (McNeilly, 1996; Salum, op cit; Liebmann, op cit).

O primeiro recurso natural degradado pelas atividades humanas que se fez perceber foi a água, exatamente por ser o recurso mais importante para o ser humano, superado apenas pelo ar. Como exemplo tem-se uma inscrição datada de 2300 a.C. na região da antiga Mesopotâmia com os seguintes dizeres: "Ur-Namu foi quem ordenou que se realizassem as obras dos canais; mas ele cede aos deuses a honra de fornecer a dádiva que é a água, abençoada, que dá fertilidade às terras" (Liebmann, op cit).

Parece ser lógico que, à medida que os seres humanos iam-se agrupando em cidades, provocando seu crescimento, começassem a surgir problemas de abastecimento de alimentos e água, que estão correlacionados, pois a água se faz necessária tanto para consumo humano quanto para a agricultura. Surgem daí os primeiros documentos escritos, datados de muitos anos antes da era Cristã, códigos que regulavam o uso da água, com instruções sobre a irrigação das lavouras.

O Império Romano, por exemplo, contava com aquedutos que provinham água em abundância nas instalações públicas. Caso algum cidadão desejasse usar essa água para fins particulares deveria pagar pela mesma e seu consumo era controlado. Iam além disto, esta água utilizada particularmente para o banho não era lançada diretamente nos esgotos e sim usada novamente na descarga dos mictórios públicos (Salum, op cit).

Mas se esta consciência sobre a água existia, não pode-se afirmar o mesmo dos demais recursos naturais e, principalmente, da compreensão do interrelacionamento entre eles, como é o caso da relação entre as florestas e o ciclo da água. Mesmo com um crescimento lento das cidades este se dava muitas vezes por séculos e como a madeira era necessária às várias atividades humanas, seu desaparecimento era uma questão de tempo. A diminuição das florestas fez diminuir a água que, junto com o lento, mas progressivo aumento populacional, acabou gerando conflitos originando, por exemplo, em 960 d.C. o Tribunal das Águas de Valência na Espanha.

Outros problemas advindos dos impactos ambientais começam a aparecer pontualmente. Em Londres, por exemplo, em 1306 Edward I proíbe a queima de carvão durante as sessões do parlamento inglês (Kovarik, 2000). A partir do século XVII, com a

Revolução Científica na Europa e logo a seguir a Revolução Industrial no século XVIII, dava-se início a uma grande aceleração da degradação ambiental. É neste período que tem início a história da mineração moderna.

A partir do século XVIII, com a Revolução Industrial, a mineração começa a se tornar cada vez mais importante para os países ditos modernos. Até então, apesar do ser humano usar alguns minerais como o cobre a mais de 8.000 anos, este uso se dava em pequena escala. Com o desenvolvimento da ciência começava-se a compreender melhor as propriedades dos minerais e conseqüentemente os processos necessários à sua utilização, e com a Revolução Industrial novas máquinas para extração, transporte e processamento começam a surgir.

A mineração vai assim, década após década, tornando-se a base das sociedades industrializadas tanto economicamente (ouro, prata e bronze), quanto em bases materiais, representada pelos minerais metálicos (ferro, cobre, estanho, etc.), e pelos minerais não metálicos (materiais de construção, matérias primas de fertilizantes e minerais industriais), além de ser a base energética, primeiro com o carvão e logo a seguir com o petróleo e gás natural (Scliar, 1996).

Como a atual degradação ambiental possui suas raízes ligadas diretamente a Revolução Científica e a Revolução Industrial e, uma vez que estes se iniciaram nos países europeus, é de se esperar que, surgissem aí, os primeiros problemas ambientais típicos da sociedade moderna.

Na Inglaterra, por exemplo, que foi o berço da Revolução Industrial, em Londres em 1661, já havia problemas de poluição atmosférica e em 1739 John Evelyn escreve um livro ("Fumifugium, or the Inconvenience of the Air and Smoake of London Dissipated") propondo remediações para estes problemas (Kovarik, 2000).

Nos EUA, apesar de sua recente colonização e vasto território, em 1739 começam a surgir os primeiros sinais de descontentamento para com as degradações ambientais, quando Benjamin Franklin, considerado um dos pioneiros do ambientalismo naquele país, elabora uma petição à assembléia da Pensilvânia citando os problemas de poluição e especulação imobiliária causados pelas indústrias que contra-atacam alegando violação de seus direitos (Kovarik, op cit).

Em 1775 o cientista inglês Percival Pott descobre que o carvão está correlacionado com os altos índices de câncer em trabalhadores limpadores de chaminé e em 1819 um comitê do parlamento inglês relata que as máquinas a vapor e as fornalhas "poderiam funcionar de uma maneira menos prejudicial à saúde pública". Apesar de alternativas terem sido encontradas nada foi feito (Kovarik, op cit).

Já em 1823 James Fenimore Cooper escreve "The Pioneers", em qual debate a idéia de que o ser humano deveria "governar os recursos naturais através de certos princípios de maneira a conservá-los" mas a industrialização das grandes cidades européias segue a toda velocidade e logo seus impactos começam a provocar reações das mais diferentes camadas da sociedade. A poluição do ar gerada pela indústria química inglesa em 1863 faz surgir o "Alkali Act", uma lei que permitia aos agentes governamentais questionar e sugerir melhoras na indústria, mas mesmo assim, em 1873 mais de 1.150 pessoas morrem em Londres devido à poluição atmosférica e eventos similares ocorrem em 1880, 1882, 1891 e 1892 (Kovarik, op cit).

Nesta mesma época nos EUA, em 1863, George Perkins Marsh lança o livro "*Man and Nature: The Earth as Modified by Human Action*", dando ênfase na preservação florestal e conservação do solo e da água e, em 1876 surge a "British River Pollution Control Act" que torna ilegal o despejo de esgoto em rios e nos EUA, em 1871, devido à grande queda nas populações de peixes de sua costa marinha, é criado o U.S. Fish Commission. As degradações continuam e as pressões também e em 1872 o presidente norte americano cria o primeiro parque natural do mundo, o Yellowstone (AMLC, 1998).

Apesar de seu uso não ser recente, os Sumérios já o usavam em 3.800 AC na forma bruta como aglutinante e impermeabilizante de tijolos, o petróleo teve seu uso moderno a partir do século XIX, quando nos EUA, em 1859, o Coronel Drake perfurou deliberadamente um poço para extrair petróleo e teve êxito, mas é a partir do início do século XX, com o surgimento da indústria automobilística neste mesmo país, que a indústria petrolífera encontrou as condições para se expandir. Estas duas atividades econômicas, a indústria petrolífera e a indústria automobilística juntas, modificariam radicalmente nosso modo de vida e a economia mundial, trazendo grandes impactos tanto positivos quanto negativos.

Durante os dois primeiros séculos da Revolução Industrial, os problemas ambientais se encontram, em sua grande maioria, ligados diretamente ao projeto de expansão Europeu, seja em seu próprio continente seja em suas colônias. Já neste período as mineradoras e as fábricas na Europa e EUA são as responsáveis pelos impactos ambientais mais evidentes, mas este cenário se modificaria totalmente no decorrer do século XX.

2.2.1. O LONGO SÉCULO XX

No início do século XX, observa-se que, não só a degradação ambiental continuava se repetindo, como iniciava uma vertiginosa aceleração. Já em 1908, o químico Suíço Svante

Arrhenius argumentava que o efeito estufa advindo do uso do carvão e do petróleo estava aumentando a temperatura média do planeta.

Em 1909 Charles Van Hise escreve o livro "The Conservation of Natural Resources" e é fundado, nos EUA, o "Bureau of Mines", visando a segurança e saúde dos mineradores e, logo a seguir, em 1912, este mesmo órgão do governo norte-americano inicia o primeiro estudo sobre controle da poluição atmosférica (Kovarik, op cit), já demonstrando a direta interdependência das pesquisas ambientais para com a atividade mineraria.

Em 1920 a Sociedade Americana de Ecologia, nos EUA, inicia a publicação do jornal Ecologia e em 1923, exatamente entre as duas grandes guerras, acontece o I Congresso Internacional para a Proteção da Natureza, "*abrindo um novo período na história da proteção da natureza: a luta pela instalação de uma instituição internacional permanente a qual foi interrompida durante a Segunda Guerra Mundial*" (Acot, 1990).

Em 1934 surge, nos EUA, o que pode ser muito provavelmente a primeira pesquisa científica em bases modernas sobre a RAD, com a liderança de Aldo Leopold e John Curtis, ambos figuras importantíssimas para o movimento ambientalista norte-americano das décadas seguintes. Numa área de centenas de hectares, denominada Arboreto da Universidade de Wisconsin-Madison, cuja maioria havia sido seriamente degradada por cultivo, extração de madeira e outros empreendimentos esporádicos durante o século passado, iniciou-se um programa de recuperação que se mantém até hoje (Jordan III, 1997).

A temática ambiental é obscurecida pela 2ª Guerra Mundial, mas finda a mesma, já em 1946, acontece a II Conferência para a Proteção Internacional da Natureza e, logo em seguida, em 1948, uma outra conferência, sob a tutela da UNESCO e do governo francês, para criar a União Internacional para a Conservação da Natureza e dos Recursos (UICN), que desenvolve rapidamente uma atividade intensa, publicando em 1951 o "Estado da proteção da natureza no mundo em 1950", contendo 70 relatórios sobre diversos países (Acot, op cit) e, ainda nos anos cinquenta, surgem as primeiras tentativas no sentido de lutar contra a poluição do mar com a Convenção de Londres de 1954. (Kiss, 1996)

Mesmo assim a dimensão político-econômica se sobrepõem aos alertas das conferências, mesmo porque os impactos ainda não haviam atingido escalas globais perceptíveis a sociedade, ao mesmo tempo em que, apesar dos avanços das telecomunicações e dos transportes, o intercâmbio de pessoas e informações ainda é lenta (somente em 1962 é lançado um satélite internacional de comunicações, o Telstar 1, e somente em 1970 se realiza o primeiro DDD de Londres para Nova York).

É importante notar que, nos anos que se seguiram à II Guerra, os EUA e alguns outros países experimentaram um período explosivo de industrialização, acompanhado pelo

rápido aumento do uso do petróleo e da produção e uso de produtos sintéticos. Este desenvolvimento econômico de base industrial, impulsionado por importantes invenções (TV, eletrodomésticos, computadores, medicamentos, etc.), criou oportunidades para o aumento de investimentos e conseqüentemente dos empregos (Hobsbawm, 1995).

Este vertiginoso aumento da capacidade produtiva provocou a acumulação de estoques e uma capacidade excedente nas indústrias da época. A saída encontrada foi de estimular o consumo colocando-se a aquisição material como sinônimo de qualidade de vida e de progresso. Surgia então o “American way of life” gerando-se uma sociedade do Ter no lugar do Ser (Debord, 1997; Fromm, 1987).

A toda esta política norte-americana de desenvolvimento chamou-se “Welfare State” e, à medida que este modelo de desenvolvimento começava a aumentar o poderio político-econômico dos EUA e, pelo menos no curto prazo, promovia uma grande melhora na qualidade de vida de seus habitantes, principalmente no tocante a bens materiais, este modelo passou a ser visto como o bilhete de entrada para a modernidade, situação ainda mais acentuada após o advento dos meios de comunicação em massa e intercontinental.

O paradigma do desenvolvimento ilimitado passa então a seduzir todos os países do globo e, conseqüentemente, a salvação para os problemas da humanidade passa a ser a produção de bens materiais, bens de consumo, fornecidos pela indústria. Assim, iludido e seduzido, o ser humano passa a degradar os ecossistemas de todo o planeta, fazendo crescer a intensidade e a escala espacial de seus impactos ambientais e, conseqüentemente, tornando a degradação cada vez mais evidente.

Conseqüentemente, os problemas ambientais, antes basicamente restritos a Europa e EUA, agora passam a alastrar-se por todo o planeta e continuam se agravando ano após ano, os quais, com o avanço das telecomunicações, tornam-se cada vez mais evidentes principalmente a partir da década de 60. É neste momento de turbulências sociais, políticas, econômicas e ambientais que surge o movimento da contra-cultura (hippies, ambientalistas, negros, mulheres, etc.), que começa a criticar não só o modo de produção, mas fundamentalmente o modo de vida (Gonçalves, 1998).

Vários foram os motivos para os questionamentos trazidos à tona pelo movimento da contra-cultura que ganhavam força a cada ano seja na academia, na política ou na sociedade mas, com certeza, os acidentes ambientais cada vez mais frequentes como derramamentos de petróleo, vazamentos nucleares, contaminações químicas, entre outros, principalmente a partir da década de 60, desencadearam grandes impactos ambientais gerando amplo debate.

Em 1962 surge o livro *Primavera Silenciosa* de Rachel Carson, que se tornaria a “bíblia” do movimento ambientalista nas décadas de 60 e 70. Em 1965 a poluição

atmosférica, agravada por uma inversão térmica mata mais de 80 pessoas em Nova Iorque, EUA e em 1968 Paul Erlich publica o livro "A Bomba Populacional" alertando para a problemática do crescimento demográfico desenfreado. (Kovacic, 2000)

Ainda em 1968 tem-se três importantíssimos acontecimentos. Primeiro com uma das iniciativas pioneiras para a regulamentação internacional dentro da temática ambiental quando o Conselho da Europa elabora duas declarações, uma sobre os princípios da luta contra a poluição do ar e a outra sobre a preservação dos recursos em águas doces, a Carta Européia da Água.

Segundo, quando os problemas ambientais são apresentados pela primeira vez na ONU durante a Conferencia intergovernamental de peritos sobre as bases científicas da utilização racional e da conservação dos recursos da biosfera, organizado em Paris pela Unesco com a colaboração da FAO, da OMS, da UICN e do Conselho Internacional das Uniões Científicas, sendo utilizada pela primeira vez a expressão "Nave Espacial TERRA" denotando o início da análise sistêmica.

E em terceiro quando a Assembléia Geral da ONU decide convocar uma conferência mundial sobre a temática ambiental (Resolução 2398[XXIII], de 3 de Dezembro de 1968) que ficaria conhecida como Conferência de Estocolmo, realizada em 1972 onde se criou o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento (PNUMA). Também em 1972 é publicado, pelo Clube de Roma, o relatório "Limites do Crescimento". O relatório do Clube de Roma reconhece que:

"As conclusões que seguem emergiram do trabalho que empreendemos até agora. Não somos, de forma alguma, o primeiro grupo a formulá-las. Nestes últimos decênios, pessoas que olharam para o mundo com uma perspectiva global e a longo prazo, chegaram a conclusões semelhantes." (Meadows, 1972 apud Brüseke, 1996)

As teses e conclusões básicas deste relatório, segundo Meadows (1972 apud Brüseke, op cit), foram:

1. Se as atuais tendências de crescimento da população mundial - industrialização, poluição, produção de alimentos e diminuição de recursos naturais - continuarem imutáveis, os limites de crescimento neste planeta serão alcançados algum dia dentro dos próximos cem anos. O resultado mais provável será um declínio súbito e incontrolável, tanto da população quanto da capacidade industrial;
2. É possível modificar estas tendências de crescimento e formar uma condição de estabilidade ecológica e econômica que se possa manter até um futuro remoto. O

estado de equilíbrio global poderá ser planejado de tal modo que as necessidades materiais básicas de cada pessoa na Terra sejam satisfeitas, e que cada pessoa tenha igual oportunidade de realizar seu potencial humano individual;

3. Se a população do mundo decidir empenhar-se em obter este segundo resultado, em vez de lutar pelo primeiro, quanto mais cedo ela começar a trabalhar para alcançá-lo, maiores serão suas possibilidades de êxito.

O ano de 1973 também foi fundamental, apesar de não ser muito lembrado. Foi quando o canadense Maurice Strong usou pela primeira vez o conceito de ecodesenvolvimento para caracterizar uma concepção alternativa de política de desenvolvimento (Brüseke, op cit), conceito este que teria seus princípios básicos formulados mais tarde por Ignacy Sachs.

Em 1976 um relatório da Academia Nacional de Ciências dos EUA alerta para a destruição da camada de Ozônio pelos gases CFC e em 1980 é criado nos EUA um superfundo visando a remediação de várias pilhas tóxicas abandonadas ao mesmo tempo em que é lançado, no mesmo país, o "Global 2000 Report" que conclamava a cooperação internacional para a resolução dos problemas ambientais (Kovacic, op cit).

Mesmo com todos os avanços científicos, durante a década de 80 vários grandes acidentes chocam a opinião pública mundial. O desastre em Bhopal na Índia, onde um vazamento de cianureto de uma indústria de fertilizantes mata mais de 8.000 pessoas, a explosão do reator atômico de Chernobil na Ucrânia, os diversos problemas de Cubatão no Brasil e o vazamento do navio petroleiro Exxon Valdez, são apenas alguns dos exemplos.

Com isto os anos 70 e 80 acabaram suscitando encontros e alianças sem precedentes históricos (Dansereau, 1998), preparando terreno para a segunda conferência do PNUMA, a Rio'92 ou Eco'92 que se realizou 20 anos depois da primeira, sendo formulado neste período o conceito de Desenvolvimento Sustentável e elaborada a Agenda 21 Global.

A década de 90 já começa a dar sinais de, embora pequenas e pontuais, concretas mudanças. Em 1991 é firmado um acordo internacional, intermediado pela ONU, proibindo a mineração, limitando a poluição e protegendo as espécies animais da Antártida. Em 1997, após longa resistência Norte-Americana, é assinado por este e mais 121 países o Protocolo de Kyoto para a redução das emissões de CO₂ na atmosfera. Mesmo assim, diante da pressão da indústria norte-americana que afirma que ocorrerá um "desastre" se a redução das emissões de CO₂ forem forçadas, o congresso deste país não ratifica o protocolo.

E, finalmente, não se pode deixar de relatar a emergência e crescente importância, durante a década de 90, dada à questão da biodiversidade, exemplificada quando em 1999 o

Worldwatch Institute realiza uma pesquisa nos EUA relatando que 7 de cada 10 de seus cientistas acreditam que se esta vivendo a maior extinção em massa de espécies da história do planeta Terra.

Hoje, finalmente a humanidade começa a compreender que o desenvolvimento econômico por si só, além de não ser capaz de promover um verdadeiro desenvolvimento humano é também, quando planejado isoladamente, o maior degradador da natureza.

Para constatar isto, basta observar que as emissões globais de CO₂ atingiram um novo recorde (23.900 milhões de toneladas) em 1996 ao mesmo tempo em que pela primeira vez na história as atividades humanas passaram a contribuir para as reservas mundiais de nitrogênio fixado mais do que os processos naturais (GEO, 2000) e, como resultado deste 'crescimento econômico', tem-se cerca de 25% de um total aproximado de 4.630 espécies de mamíferos e 11% de um total de 9.675 espécies de pássaros em risco de total extinção (GEO, op cit) enquanto as estimativas globais das perdas devido a esta degradação dos ecossistemas chegam a 75 bilhões de toneladas de solos anuais, equivalentes a cerca de US\$ 400 bilhões por ano ou cerca de US\$ 70,00 por habitante por ano (DLD, 1999).

2.3 - BREVE HISTÓRICO DA DEGRADAÇÃO E RECUPERAÇÃO AMBIENTAL NO BRASIL

"Ai, outras civilizações chegaram!, com fome de sangue, de ouro, de terra e todas as suas riquezas, trazendo em uma mão a cruz e na outra a espada. Sem conhecer ou querer aprender os costumes de nossos povos, nos classificaram abaixo dos animais. Roubaram nossas terras e nos levaram para longe delas, transformando em escravos os 'filhos do sol'." Declaração Solene dos Povos Indígenas do Mundo. Conselho Mundial dos Povos Indígenas - Port Alberni, 1975.

A descoberta, não só do Brasil, como de toda a América pela Europa se insere na grande empresa comercial, o mercantilismo, de expandir o comércio com o Oriente através dos mares e de implantar colônias que servissem como entrepostos de mercadorias, o que já vinha acontecendo na costa Africana, onde os portugueses compravam ouro diretamente dos nativos (Seliar, 1996).

Quando os Portugueses chegaram ao Brasil em 1500, seguiam um paradigma civilizatório que era totalmente diferente dos povos nativos brasileiros que já possuíam uma história de interações com os ecossistemas tropicais de pelo menos dez mil anos (Ab'Sáber, 2000). Os povos nativos não possuíam a escrita o que, aliado a um genocídio causado pelos "descobridores" em todo o continente e a conseqüente perda de uma enorme fonte de etno-

conhecimento, acabou tornando difícil uma visão mais realista da situação dos ecossistemas naturais quando da "descoberta" do país.

Contando com registros escritos somente a partir de 1500 e com a perda quase total do etno-conhecimento dos povos nativos, uma visualização dos ecossistemas brasileiros antes da chegada dos portugueses se torna muito difícil, não passando de conjecturas que, possivelmente, nunca deixarão de sê-lo, as quais tentam responder, como mencionado por Dean (op cit), as perguntas: Qual intensidade de alterações ambientais foi necessária para manter estes seres humanos que aqui chegaram a mais de dez mil anos? Os ecossistemas brasileiros, quando da chegada dos portugueses em 1500, eram exatamente como seriam se tivessem chegado a uma região inabitada, ou já estavam alterados pelos primeiros humanos que aqui chegaram? E, finalmente, será que alguma vez algum grupo humano alcançou o equilíbrio com os ecossistemas tropicais?

Apesar de alguns fatos levantados pelas pesquisas científicas - como o desaparecimento da megafauna nativa, os sambaquis, entre outros - ainda não contarem com uma resposta definitiva, tudo nos leva a acreditar que, se estes povos nativos não estavam em equilíbrio perfeito com o meio ambiente no mínimo formavam uma sociedade muito mais sustentável do que nossa atual.

Posey (1983, 1984) estudando os índios Kayapó no sul do Pará demonstrou que o conhecimento do meio ambiente destes povos é extremamente variado e eficaz, advindo de milênios de acumulação e aperfeiçoamento, conhecimento que permitiu a coexistência de grandes nações indígenas com os ecossistemas locais. O autor observou, por exemplo, que a agricultura praticada pelos Kayapó parece imitar a natureza, assim, ao plantar, eles utilizam uma grande variedade de espécies, como no caso da aldeia pesquisada, onde cerca de 58 espécies eram utilizadas, incluindo 17 variedades de mandioca e macaxeira e cerca de 33 variedades de batata-doce, inhame e taioba, sempre de acordo com pequenas variações microclimáticas.

Além disto, um ponto muito importante é que eles também alteram a estrutura das roças ao longo do tempo, imitando a sucessão ecológica, ou seja, não trabalham apenas a dimensão espacial, como se faz nos dias de hoje, mas trabalham também a dimensão temporal. Assim, pode-se dizer, os Kayapó "ao invés de virtualmente eliminarem a heterogeneidade própria do meio - como o faz a agricultura intensiva hoje praticada, que destrói a flora nativa -, na realidade a incrementam" (Posey, 1987), uma verdadeira lição de uso sustentável da biodiversidade.

E, ainda mais importante, as pesquisas de Posey levam a conclusão de que "muitos dos ecossistemas tropicais até agora considerados naturais podem ter sido, de fato,

profundamente moldados por populações indígenas" (Posey, op cit). A verdade é que as pesquisas antropológicas nos direcionam a acreditar que em 1500 os grupos indígenas brasileiros, pelo menos a família Tupi, se encontravam em processo de expansão e ainda não haviam alcançado a capacidade de suporte de seu habitat (Dean, op cit).

A partir do "descobrimento", em 1500, tudo se modificaria, e, daí em diante, praticamente a mesma história se repetiria ao longo dos séculos mas, com uma intensidade sempre crescente. A colonização que se deu no país deixou uma marca que é predominante até hoje, a exploração, o lucro imediato sem maiores compromissos com o país (Pádua et al, 2000). Como disse Sérgio Buarque de Holanda em seu Raízes do Brasil (1936) os colonos querem "colher o fruto sem plantar a árvore", pensamento que, até hoje, nos domina quase que completamente.

A degradação ambiental segue o ritmo de nossa ganância. Segundo Pádua et al. (op cit) mais de 92% da Mata Atlântica já foi destruída, o Cerrado, só nos últimos 50 anos, já perdeu cerca de 40% de sua área natural e a Floresta Amazônica já não possui 15% de sua floresta original. A cada ciclo econômico que atravessa a história brasileira, uma parte do ecossistema natural deixa de existir.

Os ciclos econômicos brasileiros não foram constantes, apresentando, de maneira geral, um período de ascensão e logo em seguida uma queda, com conseqüências drásticas para o meio ambiente. O primeiro dos ciclos econômicos, que se iniciou praticamente junto com o descobrimento, foi o da extração do pau-brasil ao longo dos domínios da Mata Atlântica. O segundo ciclo econômico, o da cana-de-açúcar, se deu logo nas décadas seguintes estando presente até hoje, também ocorrendo nos domínios da Mata Atlântica. Quase concomitante a este aparece o terceiro ciclo, o da bovinocultura, iniciando a marcha para o interior, para o oeste, acabando por auxiliar o surgimento do quarto ciclo econômico quando da descoberta de ouro e diamantes em alguns estados do interior do país. Em seguida ao declínio do ciclo da mineração de ouro e diamante surge, no século XIX, o ciclo do café, o qual propiciou o surgimento da industrialização de São Paulo a partir do final deste século e início do século XX quando, a partir desta industrialização, a economia começa a se tornar tão diversificada que já não se pode identificar ciclos hegemônicos (Machado e Figueiroa, 1999).

Assim, a partir de 1500, o Brasil passaria a ser colônia de Portugal. Nesta época o espírito mercantilista dominava a Europa, ou seja, os reis estavam ávidos por ouro e prata. Portugal concentrava seus esforços na Ásia, que demonstrava grandes possibilidades de acumulação de riqueza, uma vez que, no Brasil de 1500, não foram encontrados metais preciosos, não apresentando nenhuma riqueza evidente a ser explorada. Ao longo de toda a

história brasileira a procura por metais e pedras preciosas seria uma das principais molas movimentadoras do país. É a mineração nas raízes históricas brasileiras. Mas enquanto esta descoberta não acontecia, vários outros ciclos econômicos se sucederiam.

Em 1501 é "descoberto" o pau-brasil que é automaticamente declarado monopólio da Coroa Portuguesa dando início ao primeiro destes ciclos econômicos e suas conseqüentes degradações ambientais. Dean (1996) calcula que só no primeiro século da colonização foram derrubadas pelo menos dois milhões de árvores de pau-brasil, uma espécie arbórea nativa da Mata Atlântica, resultando em algo ao redor de 6 mil quilômetros quadrados de floresta destruída. Além dos portugueses, a exploração do Brasil contava com o tráfego por franceses e holandeses, todos ávidos por lucros.

Num único navio francês capturado pelos portugueses em 1532 em um porto na Espanha, foram encontradas 15 mil toras de pau-brasil, 3 mil peles de onça, 600 papagaios, 300 macacos e 1,8 toneladas de algodão, além de óleos medicinais, pimenta, sementes de algodão e amostras minerais (Bueno, 1999 e Dean, 1996). Fica até mesmo difícil imaginar o impacto ambiental na estrutura e nos processos de regulação das cadeias alimentares dos ecossistemas, quando da retirada destes representantes da fauna brasileira.

Os papagaios, por exemplo, eram muito requisitados pelos europeus, pois era uma novidade para os mesmos. Existem relatos de espécies que já não existem, ou seja, a colonização, no mínimo, provocou a extinção de algumas espécies da fauna brasileira (Dean, op cit).

Diante das ameaças dos "invasores", principalmente franceses e holandeses, a Coroa portuguesa se vê obrigada a colonizar o Brasil e em 1532 Martin Afonso funda São Vicente, a primeira vila brasileira, e logo a seguir planta cana-de-açúcar na baixada santista, obtendo bons resultados e culminando, em 1533, na construção do primeiro engenho do Brasil (Bueno, op cit). Dava-se início o segundo ciclo econômico: a cana-de-açúcar.

Já como resultado das conseqüências do ciclo da cana-de-açúcar, um dos primeiros relatos de que se tem notícia sobre os erros cometidos por não se compreender os ecossistemas tropicais e/ou não respeitá-los, está relacionado ao maremoto ocorrido em 1542 que submergiu boa parte da vila de São Vicente. Apesar de ser um desastre natural, a tragédia foi em muito acentuada "pela imprevidência dos colonizadores que haviam destruído o mangue e desmatado os morros vizinhos para plantar cana, fazendo a vila perder todas as suas proteções naturais" (Bueno, op cit). Também como conseqüência, logo mais tarde, o porto da vila ficou assoreado e, segundo o historiador Francisco Varnhagen (? apud Bueno, 1999): "Esse fenômeno se repetiria em muitos outros de nossos rios e baías, à medida que suas vertentes foram sendo devastadas e cultivadas".

Assim, mesmo não conhecendo a existência de documentos que o comprovem, podemos supor, com uma certa convicção, que pelo menos algumas medidas de proteção e recuperação ambiental, mesmo sem muito conhecimento científico, foram executadas, ao menos no porto de São Vicente, uma vez que o mesmo foi utilizado ao longo de toda a história, o que significa o dessassoreamento de sua baía. A Recuperação Ambiental do Porto de São Vicente, no século XVI, foi muito provavelmente a primeira no Brasil pós-colonização portuguesa.

É neste ponto da história que surgem as raízes de um dos maiores, senão o maior, problemas brasileiros: a concentração de terras, os latifúndios, e a conseqüente concentração de renda. Nesta época a coroa portuguesa não dispunha de recursos financeiros para colonizar a imensidão de terras do Brasil o que levou o rei a optar pela adoção das capitânicas hereditárias diante dos bons resultados apresentados por este sistema nas ilhas atlânticas portuguesas as quais, ao contrário do Brasil, eram pequenas e próximas a Europa (Bueno, op cit).

Como acabaria se tornando mais tarde uma cultura em nosso país, devido a sua imensidão e abundância de recursos naturais somada a cultura dos colonizadores, a quantidade se revelaria mais interessante do que a qualidade pois, uma vez proprietário de áreas gigantescas, muitas vezes maiores do que países inteiros, ficaria impossível sua exploração em uma única vez, diminuindo, de uma maneira inversamente proporcional ao tamanho da propriedade, a importância da adoção de técnicas adequadas ao manuseio de nossos ecossistemas, ou seja, diminuindo a importância da compreensão destes ecossistemas tropicais, que só passariam a ser estudados a partir do século XIX.

A abundância de recursos naturais no país faria surgir a noção, até hoje dominante, de infinitude dos mesmos, a qual pode-se perceber em uma espécie de manual elaborado em Portugal no século XVIII, visando a orientação dos senhores de engenho quanto ao cultivo da cana-de-açúcar no Brasil, onde pode-se notar a percepção que tinham os colonizadores para com as florestas, especificamente naquela época a Mata Atlântica, em duas passagens de ANTONIL (1982):

“(...) Antes de passar da moenda para as fomalhas e casa das caldeiras, parece-me necessário dar notícia dos paus e madeiras de que se faz a moenda e todo o mais madeiramento do engenho, que no Brasil se pode fazer com escolha, por não haver outra parte do Mundo tão rica de paus selectos e fortes, não se admitindo nesta fábrica pau que não seja de lei, porque a experiência tem mostrado ser assim necessário.”

“(…) O alimento do fogo é a lenha e só o Brasil, com a imensidade dos matos que tem, podia fartar, como fartou por tantos anos e fartará nos tempos vindouros, a tantas fornalhas quantas são as que se contam nos engenhos da Baía, Pernambuco e Rio de Janeiro, que comumente moem, de dia e de noite, seis, sete, oito e nove meses do ano. E para que se veja quão abundantes são estes matos, só os de Jaguaripe bastam para dar lenha a quantos engenhos há à beira-mar no Recôncavo da Baía e de facto quase todos desta parte só se provêm.”

Dos doze donatários, ou proprietários, do gigante Brasil em meados do século XVI, apenas dois obtiveram sucesso nas capitanias de Pernambuco e de São Vicente, ambas economias baseadas na monocultura da cana-de-açúcar. Na verdade, apesar do açúcar brasileiro ter iniciado sua exportação para Portugal, de forma sistemática, na segunda metade do século XVI, somente no século XVII é que o ciclo da cana-de-açúcar alcançaria seu apogeu, transformando o Brasil no maior produtor de açúcar do mundo (Alves Filho, 1999), quando então os primeiros competidores iniciam suas plantações na América Central e Caribe, o que resultaria, já na segunda metade do século XVII, no início do declínio deste que foi o 2º ciclo econômico brasileiro.

Mesmo tendo sido o maior produtor de açúcar do mundo no século XVII, esta cultura não chegou a ocupar áreas tão grandes do país em termos percentuais além de grande parte das áreas ocupadas com a cana terem sido abandonadas, devido ao fracasso econômico, permitindo a regeneração da vegetação nativa (Dean, 1996).

O 3º ciclo foi o do gado, que se deu mais ou menos concomitante ao ciclo da cana de açúcar, e que tinha como objetivo principal o abastecimento alimentar da população interna, possibilitando o início da marcha para o interior ou, o oeste brasileiro. Dean (op cit) calcula que até 1700 menos de dois mil Km² da Mata Atlântica tenham sido destruídas devido a cana-de-açúcar, mas que a degradação da Mata atlântica no país como um todo devido à somatória de todas as atividades dos colonizadores tenha alcançado algo ao redor de 65 mil Km², além de uma quantidade parecida com esta de degradação do cerrado, principalmente o nordestino, devido a bovinocultura.

O 4º ciclo econômico se inicia com a "descoberta" de ouro e diamantes no final do século XVII. Com a falência do sistema de capitanias hereditárias, a colônia se viu obrigada a instalar o Governo Geral na tentativa de centralizar a administração e recuperar as capitanias pois agora elas possuíam ricos depósitos de minerais preciosos. Assim, aos poucos, as capitanias foram sendo confiscadas por abandono ou tendo seus direitos

comprados dos herdeiros quando em 1759, no auge na produção aurífera, o ministro do rei, Marques de Pombal, extingue este sistema. Entre os séculos XVII e XVIII Pinto (1991 apud Machado e Figueirôa, 1999) considera que o Brasil foi o responsável por cerca de 50 % da produção mundial de ouro e diamantes, o que ostentou grande parte da riqueza da Coroa Portuguesa neste período.

A princípio a extração de ouro era feita pelos escravos através da lavagem na bateia, técnica ensinada aos portugueses pelos próprios escravos. Esta técnica foi logo substituída pela dragagem dos riachos maiores e do desvio dos menores (Machado e Figueirôa, op cit). A degradação ambiental provocada pela mineração, assim como hoje, era intensa mas local, acabando por deteriorar, intensamente, apenas os locais onde se encontravam os depósitos sendo que Dean (1996) calcula que, até o século XVIII, cerca de 4 mil Km² da região tenham sido degradados.

Como mencionado, no auge do ciclo da mineração, o Brasil chegou a produzir cerca de 50% do ouro e diamante que chegava à Europa e com isto surge uma elite colonial brasileira e é esta elite que irá influenciar fortemente a história do país. Com o surgimento de famílias poderosas no Brasil colônia, vários de seus filhos eram mandados para estudar na Europa, principalmente em Portugal (Pádua, 1998), uma vez que até então a coroa não havia permitido quaisquer instituições de ensino superior na colônia além dos seminários (Dean, op cit). Além disto, não haviam bibliotecas e as gráficas eram proibidas.

Mas o que não podemos nos esquecer é que a Europa nesta época, século XVIII, passava por profundas transformações, a burguesia começava a questionar a monarquia, surgia o iluminismo e as idéias de liberdade e progresso (Aquino et al, 1999), palco que se montava para as Revoluções Liberais e a consolidação do sistema capitalista nos séculos seguintes. Estes ideais estavam entrelaçados com as propostas científicas e Portugal não era exceção. Desta maneira, os jovens da elite brasileira também sofreram estas influências e não é difícil imaginar as conseqüências destes pensamentos em suas mentes (Pádua, op cit).

Mas é com o esgotamento dos depósitos aluvionares em finais do século XVIII, quando o ciclo da mineração entra em decadência e a elite que havia se formado se sente ameaçada, que surgem pressões para a modernização da mineração no Brasil, quando então um acontecimento iria influenciar toda a história, não só da mineração, como a do país, dando início às primeiras críticas sistemáticas que questionavam o modelo de desenvolvimento adotado no Brasil.

Neste período, final do século XVIII, três estudantes da elite brasileira, graduados na Universidade de Coimbra, foram enviados para visitar os principais centros científicos e de mineração da Europa com o intuito de adquirir "o mais perfeito conhecimento de

mineralogia e demais partes das filosofias naturais" (Pádua, 1998; Machado e Figueiroa, 1999).

Estas tentativas para se "salvar" a mineração foram em vão e a mineração só voltaria a expressar importância econômica para o país muitas décadas depois, em meados do século XIX e, principalmente, no século XX, mas, destes três estudantes, dois eram os brasileiros José Bonifácio de Andrada e Silva (1763-1838) e Manoel Ferreira da Câmara de Bittencourt e Sá (1762-1835) que iriam influenciar totalmente a história brasileira.

Segundo Pádua (op cit), além de José Bonifácio e Bittencourt, outros jovens da elite brasileira também foram estudar na Europa no final do século XVIII e acabaram se transformando, quando de retorno ao Brasil, nos principais críticos da exploração colonial dando início à formação, entre 1786 e 1888, de uma tradição de debates políticos sobre o problema da destruição do meio ambiente e dos recursos naturais no Brasil, debates estes, interpretados por Pádua (op cit), como sendo uma manifestação de ecologia política, uma vez que a crítica ambiental nestes debates se desenvolve com referência à sobrevivência e destino da sociedade nacional.

Desta maneira, com o declínio do ciclo da mineração de ouro e diamante no final do século XVIII, mais uma vez surge uma lacuna na economia que "passaria a depender, novamente, das exportações agrícolas, com o algodão e arroz complementando o tabaco e o açúcar, quando, poucas décadas depois, o café se tornaria cultura de exportação, tornando-se o 5º e último ciclo econômico brasileiro" (Skidmore, 1998).

TABELA 1 - Principais exportações brasileiras (%)

Ano	açúcar	Café	Algodão	Minerais
1650	95	-	-	5,0
1750	47	-	-	53,0
1800	31	-	6,0	63,0
1841-50	26,7	41,4	7,5	25,4
1891-1900	6,0	64,5	2,7	26,8
1921-1930	1,4	69,6	2,4	26,6
1945-1949	1,2	41,8	13,3	43,7
1950	4,9	35,8	6,0	53,3

Fonte: Thomas W. Merrich e Douglas H. Graham, Population and Economic Development, Baltimore, 1979. p.12. (apud Skidmore, 1998)

O café já era conhecido na Europa desde o século XVI, chegando ao Brasil, em Belém, em 1727 (Alves Filho, 1999) sendo que, já em 1732, uma Carta Régia demonstra o interesse da Coroa que ordenava expressamente a sua difusão na Colônia (Alves Filho, op cit). Ao que tudo indica a cultura não teve êxitos na Amazônia, que não apresentava

condições ecológicas adequadas, sendo introduzido no Rio de Janeiro entre 1760 e 1762. Foi então, nos domínios da Mata Atlântica, que o café encontraria as condições ecológicas ideais, expandindo-se dali para o Vale do Paraíba e em seguida para o oeste paulista, tornando-se o principal item de exportação a partir de 1830 (Tabela abaixo).

Neste mesmo período, em idos do século XIX, um acontecimento influenciaria toda a história brasileira, a transferência da corte portuguesa para Brasil em 1808, transformando a Colônia em Reino Unido, o que, mais tarde, desencadearia uma série de acontecimentos. Mas, mesmo agora sendo promovido a Império, o passado de colônia não nos deixaria e o Ciclo do Café seguiria os mesmos moldes adotados pela coroa Portuguesa para o ciclo da cana-de-açúcar.

Enquanto nos EUA se estimulava a pequena propriedade, no Brasil se concentrava mais através da instalação das Sesmarias (Skidmore, 1998), mais uma vez um sistema que privilegiava a elite e automaticamente os latifúndios, uma lógica muito bem retratada, segundo Neves e Machado (2000), por Saint-Hilaire, um dos naturalistas que passou pelo Brasil entre 1816 a 1822.

Em sua viagem pelo Vale do Paraíba, localizado entre o Rio de Janeiro e São Paulo, que naquela época iniciava a "expansão" do café em uma região onde praticamente só haviam florestas, já mencionava:

"Nada se equipara à injustiça e à inépcia, graças às quais foi até agora feita a distribuição de terras Era preciso que se distribuisse gratuitamente, e por pequenos lotes, esta imensa extensão de terras vizinhas à capital e que ainda estava por se conceder quando chegou o Rei. Que se fez, pelo contrário, retalhou-se o solo pelo sistema de sesmarias, concessões que só se podiam obter depois de muitas formalidades e a propósito dos quais era necessária pagar o título expedido."

No século XIX a cidade de Rio de Janeiro enfrentaria um sério problema de falta d'água para o abastecimento urbano devido a duas principais causas. Uma delas foi a transferência da corte portuguesa para o Brasil, praticamente duplicando a população da cidade da noite para o dia, e a outra foi exatamente a expansão do Café.

Na verdade, desde o séc. XVII as autoridades coloniais estabelecidas no Rio de Janeiro já tomavam medidas eventuais para proteger a qualidade e a abundância das águas protegendo as nascentes e cursos dos rios, mas foi o príncipe regente Dom João quem editou em 1817 as principais normas legais conservacionistas, lançando os princípios que

orientariam as políticas de defesa dos mananciais durante mais de um século no Brasil (Franco, 2000).

E foi exatamente nesta época que se deu um dos mais belos projetos de Recuperação Ambiental do país, que resultaria na Floresta da Tijuca, a maior floresta urbana do mundo, a qual possui sua história ligada diretamente ao café e à princesa Leopoldina. Isto porque, no início de século XIX, a Tijuca já era a região onde haviam as maiores plantações de café do Brasil, uma região de Mata atlântica que quase chegou a desaparecer. Acontece que nela se localizava grande parte das nascentes que abasteciam a cidade do Rio de Janeiro. Com isto, e principalmente devido às influências da Imperatriz Dona Leopoldina, o Rei Dom João VI veio a desapropriar e erradicar as antigas fazendas de café que haviam dizimado a floresta, estabelecendo um projeto para sua recuperação e, logo a seguir, ainda sob a influência da Imperatriz mas agora sob seu marido D. Pedro I, deu-se continuidade ao programa de recuperação, resultando na atual Floresta da Tijuca (Silva, 2000).

Vale destacar a importância que teve a vinda da Imperatriz Leopoldina ao Brasil. Não só o interesse pela conservação ambiental no país, como também o início dos estudos mais sistematizados sobre os ecossistemas brasileiros, se deve, em grande parte, a influência exercida pela presença de sábios e naturalistas que visitaram o país no início do século XIX, integrantes da comitiva da então Arquiduquesa da Áustria, Dona Leopoldina, noiva de Dom Pedro e futura Imperatriz do Brasil (Franco, 2000), valendo destacar Emmanuel Pohl, Spix e Martius, entre vários outros, sendo que este último produziu mais de 40 volumes sobre a flora brasileira (Franco, op cit).

Todos estes grandes nomes, e outros, que passaram pelo Brasil ficaram maravilhados com a riqueza dos ecossistemas mas, mesmo assim, a formação econômica na colônia e no Império deu pouco valor à biodiversidade brasileira. A grande lavoura baseou-se na introdução de espécies exóticas dos trópicos orientais, como a cana-de-açúcar e o café, mesmo porque mal se conhecia as espécies nativas que eram e são pouco valorizadas.

A Mata Atlântica, região onde se desenvolveram estes dois ciclos econômicos, era vista simplesmente como biomassa a ser queimada. Mas, principalmente devido ao surgimento de uma elite brasileira ligada diretamente à mineração, que tinha seus estudos acadêmicos realizados na Europa (a ciência no Brasil só teria início a partir de meados do século XIX) e por isto era influenciada pelos "novos" ideais, esta idéia de colônia para exploração com um comportamento destrutivo e uma total falta de cuidado com o meio ambiente já começava a ser sistematicamente questionado, como já comentado, por um grupo de "ecologistas precursores", que defendiam o desenvolvimento autônomo para o país, os quais, juntamente com os diversos acontecimentos do século XIX, acabariam

influenciando a independência em 1822, a abolição da escravidão em 1888 e a proclamação da república em 1889, vindo surgir, no século XX, a burguesia e a indústria brasileira.

Na virada do século XIX para o século XX o Brasil teve problemas com seus ganhos com exportações de café e borracha, ambos devido a excedentes no mercado, enquanto uma política de imigrações recebia, só entre 1870-1910, mais de 1 milhão de imigrantes.

Mesmo entrando em decadência, o ciclo econômico do café, influenciado pela onda de imigrações, propiciou o surgimento da industrialização de São Paulo quando, a partir de então, a economia começa a se tornar tão diversificada que já não se pode identificar ciclos hegemônicos (Machado e Figueiroa, 1999).

Na verdade, uma indústria de pequena escala já vinha se criando desde o início do século XIX, principalmente após a vinda da família real em 1808, mas é somente após a independência que um projeto de desenvolvimento para o país passa a ser pensado. Em 1910, por exemplo, São Paulo já estava no caminho que o levaria a maior parque industrial do mundo em desenvolvimento (Skidmore, 1998).

TABELA 2 - Estimativas da População no Brasil de 1550 a 1900.

Ano	População
1550	15.000
1600	100.000
1700	300.000
1800	3.250.000
1872	9.930.478
1890	14.333.915
1900	17.438.434

Fonte: IBGE - Dados Históricos dos Censos

Esta industrialização ocorreu sem ajuda do governo até 1930, quando então Getúlio Vargas inicia uma tentativa de transformar o Brasil em um país “moderno”, tal qual os países “desenvolvidos”, o qual só poderia ser possível através do progresso, ou seja, a industrialização.

Começa-se a sedimentar, no imaginário brasileiro, a idéia da cidade como associada a progresso, desenvolvimento e modernidade, significando, ao mesmo tempo, qualidade de vida e oportunidade para as pessoas, e é a partir daí que se intensifica o processo de urbanização (Tabela 03) paralelamente a uma interiorização da população, principalmente através da abertura de novas fronteiras agrícolas que visavam suprir de alimentos o exponencial crescimento populacional, principalmente nos “modernos” centros urbanos.

Na década de 60, a população urbana ultrapassa a rural (Tabela 03) que praticamente se estabiliza, passando a decair lentamente nas décadas que viriam, enquanto a população

urbana continuaria a aumentar exponencialmente, fenômeno que acabou concentrando espacialmente as atividades econômicas no país com suas conseqüências positivas e negativas, principalmente na região sudeste.

TABELA 3 – Evolução da população urbano/rural nas últimas décadas.

Anos	Rural*	Urbana*	Total**
1940	28.356.133 (69%)	12.880.182 (31%)	41.236.315 (-)
1950	33.161.506 (64%)	18.782.891 (36%)	51.944.397 (26%)
1960	38.767.423 (55%)	31.303.034 (45%)	70.070.457 (35%)
1970	41.054.053 (44%)	52.084.984 (46%)	93.139.037 (33%)
1980	38.566.297 (32%)	80.436.409 (68%)	119.002.706 (28%)
1991	35.834.485 (24%)	110.990.990 (76%)	146.825.475 (23%)
2000	31.847.004 (19%)	137.697.439 (81%)	169.544.523 (16%)

Fonte: IBGE

* entre parênteses as porcentagens em relação à população total.

** entre parênteses as porcentagens de crescimento apresentadas entre as décadas.

No Brasil, com a queda verificada na taxa de crescimento a partir da década de 70 (Tabela 03), a distribuição da população no espaço passa a afetar mais diretamente as degradações ambientais do que o crescimento populacional em si próprio (Martine, 1993b).

Isto por que "a redistribuição da população obedece à evolução da localização e da reestruturação da atividade econômica" que, por sua vez, são "induzidas pelas transformações no cenário econômico nacional e internacional, determinam onde e como a população afetará o meio ambiente e será afetada por ele" (Martine, op cit.)

Em termos industriais, até 1970 o segmento predominante, em termos relativos, era o de indústrias tradicionais (madeira, mobiliário, couro e peles, têxteis, vestuário, alimentícia, bebidas, fumo, editorial e gráfica e diversas) e em termos dinâmicos a indústria tecnológica (mecânica, elétrica e comunicações, transporte, farmacêutica e higiene pessoal e plástico), resultado das metas de "modernização" do país, principalmente a partir de 1930 (Torres, 1993).

Entretanto, nas décadas seguintes de 70 e 80, o perfil setorial da indústria brasileira se modificaria significativamente, transformando o segmento de indústrias intermediárias (minerais não-metálicos, metalurgia, química e papel e celulose) no setor predominante, tanto em termos relativos quanto dinâmicos (Torres, op cit.).

Isto veio a intensificar ainda mais as degradações ambientais, uma vez que, dos três segmentos industriais, o das indústrias intermediárias é que causa maiores impactos. As indústrias intermediárias são intensivas em recursos naturais de origem mineral e vegetal e também intensivas em energia, além de serem altamente poluidoras.

Cubatão exemplifica muito bem a trajetória do modelo de desenvolvimento "escolhido", ou melhor dizendo, copiado pelo Brasil. Transformada em cidade em 1949, teve a "sorte" de ser escolhida para a implantação de uma refinaria de petróleo no início da década de 50 e a siderurgia no início dos anos 60.

Em torno destas duas indústrias estatais, surgiram mais de vinte outras nas décadas seguintes, transformando Cubatão num dos maiores pólos petroquímicos do mundo. Como resultado, a cidade era responsável, durante a década de 80, por cerca de 2% do PIB nacional que, seguindo a média do país, pode-se prever como foram distribuídos, enquanto a conta de seus impactos ambientais - chuva ácida, efeitos congênitos, desflorestamento e poluição da água, ar e solo e todas as suas conseqüências - seria paga pela sociedade. Para se ter uma noção do tamanho desta conta, que foi proporcional ao lucro obtido, a cidade foi eleita, também nesta época, a mais poluída do mundo (Hogan, 1993).

Ao mesmo tempo é interessante notar o que a degradação ambiental de Cubatão representa para a população mais pobre, diretamente afetada pelos seus efeitos. Hogan (op cit.) ao ouvir a população da região percebeu que o dilema da escolha entre emprego/renda e qualidade ambiental tem reflexos claros e inesperados na ideologia de seus habitantes ao constatar que, por maior que fosse a degradação ambiental, a sustentação econômica encontrada em Cubatão representava nitidamente um avanço para eles.

Conseqüentemente, apesar de sofrer pesadamente as conseqüências da poluição, chegavam a negar sua existência, fazendo-se confundir a defesa da fonte de emprego com os interesses das indústrias para retardar a formulação de respostas adequadas à degradação ambiental por elas produzidas.

É assim que, nas décadas de 70 e 80, resultaram vários impactos ambientais mas, seja a industrialização ou a agricultura, ambas por si só não podem ser consideradas responsáveis pelas grandes degradações ambientais no Brasil do século XX, mas sim, e mais importante, a maneira como ela se deu, a qual foi influenciada fortemente pelas políticas governamentais.

Segundo Sawyer (1993), o interesse generalizado pela temática ambiental no Brasil surge somente na década de 80, quando o desmatamento da Floresta Amazônica ganhou uma repercussão internacional - quem não se lembra de Chico Mendes, com os seringueiros, e do cantor inglês Sting, com os índios - despertando um interesse mais generalizado da população brasileira, influenciando tanto o meio político quanto o meio científico embora, como demonstrado, houvesse atores sociais que já debatiam o tema desde pelo menos o século XIX.

Com relação à legislação ambiental brasileira, o Estado, por um lado, edita leis de proteção ambiental e, por outro, executa políticas públicas que desrespeitam ou negligenciam esta legislação, repetindo o paradoxal estigma do país.

As leis ambientais brasileiras não são exclusivas deste século, como já mencionado em alguns exemplos anteriores, no entanto, o descaso total predominou por muito tempo. A concepção quase que sagrada do direito absoluto da propriedade privada era a prática, que sem atentar para a sua função social, tornou-se um obstáculo à atuação estatal.

Com a República surgem algumas normas que atentam para a questão pública mas foi somente após 1930 que algumas regras de maior impacto começaram a vigorar, mas sem uma sistematização entre os diferentes diplomas legais, o que só ocorreria em 1973, com o Dec. 73.030, através da Secretaria Especial do Meio Ambiente - SEMA, “orientada para a conservação do meio ambiente e o uso racional dos recursos naturais”, que na verdade era uma medida que tentava contornar as conseqüências negativas, no plano internacional, da postura assumida pelo Brasil na Conferência de Estocolmo em 1972.

O Código Florestal Brasileiro (Lei 4771) de 1965 foi atualizado pela Lei 7803 de 1989, assim como a Lei 5197 de 1967, que dispõe sobre a proteção à fauna pela 7653 de 1988. A Lei 6938/81, alterada por diversas leis posteriores (n^{os} 7804/89 e 8028/90), foi de fundamental importância para a proteção ambiental. Ela criou a Política Nacional do Meio Ambiente, revolucionando toda a estrutura até então vigente.

Com ela, criou-se o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente - IBAMA, Órgão Executor das diretrizes e políticas governamentais adotadas para o meio ambiente e o CONAMA, como Órgão Consultivo e Deliberativo, fixando normas e padrões compatíveis com o meio ambiente ecologicamente equilibrado e essencial à sadia qualidade de vida. Os Decretos n^{os} 99.274/90 e 97.632/89 regulamentam a matéria e, mais recentemente, a Lei 9433/97, conhecida como Lei dos Recursos Hídricos e a Lei 9605/98 - Lei de Crimes Ambientais.

Hoje o país conta com uma maior disciplina jurídica das questões ecológicas, principalmente após a Constituição Federal de 1988, constituindo um marco histórico na proteção ao meio ambiente, onde tem-se um capítulo especificamente dedicado ao meio ambiente levando-o à categoria de Direito Constitucional, sendo classificado como um direito difuso (interesse de todos, sem ser uma mera soma dos mesmos), pluri-individual, um direito de terceira geração, pertencente a todos indiscriminadamente.

No aspecto jurídico, a obrigação da Recuperação de Áreas Degradadas (RAD) encontra-se no inciso VIII do artigo 2º da Lei no. 6.938/81, nos parágrafos 2º e 3º do artigo

225 da Constituição Federal e no Decreto no. 97.632/89, o qual esclarece os conceitos de “recuperação” e “degradação” no artigo 2º, inciso VII (Castro, 1998):

“são considerados como degradação os processos resultantes dos danos ao meio ambiente, pelos quais se perdem ou se reduzem algumas de suas propriedades, tais como a qualidade ou a capacidade produtiva dos recursos ambientais e que a recuperação deverá ter por objetivo o retorno do sítio degradado a uma forma de utilização de acordo com um plano preestabelecido para o uso do solo, visando a uma estabilidade do meio ambiente”.

Diante de toda esta realidade pode-se compreender o porque de depoimentos como o de Buarque (1990):

"Ao longo de sua história, o Brasil nunca deixou de ter uma relação com o mundo; mas uma relação de descendência e não de ascendência, de dependência e submissão e não de autonomia. Formado da visão greco-romana, influenciada pelo messianismo judaico, imposta à população local e à africana; descoberto graças ao mercantilismo europeu; industrializado pela influência da Revolução Inglesa, o Brasil entra no século XXI desejando imitar o desenvolvimento científico e tecnológico e um determinado padrão civilizatório em crise. Ao mesmo tempo, entra nesta fase com o poder de uma das últimas reservas naturais do mundo, de dispor de uma população integrada em termos lingüísticos e culturais, com uma razoável infra-estrutura econômica. E também com uma das mais divididas e frágeis economias do mundo, baseada na concentração de renda, viciada na destruição da natureza, descrente de seu futuro, sem base política hegemônica para iniciar um projeto alternativo."

CAPÍTULO 3 – Recuperação de Áreas Degradadas

3.1 - A RAD NO SÉCULO XX E A IMPORTÂNCIA DA MINERAÇÃO

As pesquisas sobre RAD são muito recentes e possuem suas raízes ligadas à mineração e a ecologia. A ecologia somente a partir do século XX veio a se tornar um ramo independente da ciência moderna (Odum, 1983 e Acot, 1990) e é por isto que só se ve surgir as primeiras pesquisas sobre RAD em meados do século XX, em grande parte ligadas a mineração e/ou dentro de pesquisas sobre a ecologia.

Também pode-se compreender o recente interesse pela RAD ao notar que, tendo como objeto de estudo a recuperação da degradação ambiental, a história da RAD como ramo de pesquisas da ciência se confunde com a própria história da degradação ambiental causada pelo Homem, a qual vem atingindo escalas globais a partir das últimas décadas, chegando ao ponto de colocar em risco a própria existência da humanidade e até mesmo a vida como um todo no planeta, o que vem fazendo emergir na sociedade uma crescente consciência ambiental.

Esta situação - uma crescente destruição ambiental paralelamente a crescente tomada de consciência pela sociedade e uma compreensão dos mecanismos de funcionamento dos ecossistemas revelados pelas pesquisas em ecologia a partir do início do século XX - vêm aflorar as pesquisas voltadas a RAD. Assim, verifica-se que, muito mais do que um interesse recente, a RAD é uma necessidade urgente frente a visão curta da sociedade em lidar com seus próprios problemas.

Uma das primeiras experiências científicas sobre a RAD foi aquela já comentada, a restauração no Arboreto da Universidade de Wisconsin-Mandison nos EUA, onde, desde 1934, sob a liderança de Aldo Leopold e John Curtis. Fez-se pesquisa sobre a recuperação dos ecossistemas naturais daquela localidade (Jordan III, 1997). Os pesquisadores puderam

concluir que a recuperação de alguns ecossistemas nativos pode ser tecnicamente viável sob certas condições e que a qualidade da restauração varia mas pode ser incrementada em condições apropriadas.

Na Europa, em 1951, enquanto procurava um tema para sua tese na Universidade Humboldt na Berlim Oriental, Wilhelm Knabe (1992), que mais tarde se tornaria o fundador do partido verde alemão, acabou parando em uma paisagem totalmente devastada, num distrito da localidade. Era uma paisagem lunar resultante da mineração de carvão. Procurando referências na literatura sobre a recuperação de minas a céu aberto e não tendo encontrado nada, concluiu então que este seria o tema de sua tese.

Pesquisando de 1951 a 1959, com o apoio dos engenheiros de minas, demonstrou na prática como e quanto poderia ser recuperado, com planejamento e atuação preventiva, tendo exigido, entre outras coisas, que "a melhor terra por cima", ou seja, demonstrava-se a importância da preservação e posterior utilização do horizonte orgânico – o 'Top Soil', como é conhecido na mineração - nos projetos de recuperação, técnica esta que mais tarde viraria prática em projetos de RAD, já começando a demonstrar a importância da mineração nas pesquisas de RAD.

Um outro pioneiro exemplo de RAD é o da Bacia de Cobre em Copperhill, Tennessee nos EUA onde os vapores de ácido sulfúrico, provenientes da fundição do cobre, exterminaram toda a vegetação numa área enorme. O solo foi erodido criando um grande deserto fazendo surgir uma paisagem mais parecida com Marte do que com a Terra. Na ocasião, conforme relataram Cobb e Dyer (1979, apud Odum, 1988), uma batalha política, entre os estados da Georgia e do Tennessee, na tentativa de controlar a degradação ambiental durou quase um século (de 1903 a 1975).

O Georgia, que era a maior prejudicada ambientalmente, logo cedo pressionou pela proteção ambiental enquanto o Tennessee, que gerava a degradação mas também colhia a maior parte dos benefícios econômicos, resistia a qualquer mudança no *status quo*, só modernizando suas operações após a ação da Corte Suprema dos EUA. A recuperação, através do reflorestamento artificial, empregando adubação maciça ou lodo de esgoto teve algum sucesso, mas em sua grande maioria somente as plântulas de pinheiro, inoculadas com fungos simbióticos, conseguiram sobreviver sem ajuda externa (Odum, 1988).

É neste panorama que as pesquisas sobre a RAD começam a entrar na maturidade, iniciando a publicação das primeiras obras voltadas especificamente para o tema, quando, por exemplo, Cairns et al. (1977 apud Odum 1988), nos EUA, editam um dos primeiros simpósios sobre "Recuperação e Restauração de Ecossistemas Degradados" (do original: Recovery and Restoration of Damaged Ecosystems) e, logo em seguida, surgem outros como

Holdgate e Woodman em 1978 (apud Odum 1988) (*The Breakdown and Restoration of Ecosystems*) e novamente Cairns em 1980 (apud Odum 1988) com "*The Recovery Process in Damaged Ecosystems*".

No Brasil as pesquisas sobre a RAD também só viriam a aparecer nas últimas décadas do século XX. Segundo Balensiefer (1998), no que diz respeito à evolução das pesquisas no Brasil, tomando-se como referência o número de publicações do assunto na literatura nacional, constata-se que no período de 1977 a 1981 cerca de dez publicações referiam-se ao tema, enquanto que só no ano de 1991 já existiam 21.

Na década de 90, os Simpósios Nacionais de Recuperação de Áreas Degradadas (SINRAD) viriam a exercer grande influência no intercâmbio de informações entre pesquisadores e conseqüentemente no avanço das pesquisas de RAD. O primeiro SINRAD aconteceu em 1992 e o último, o IV SINRAD, em 2000. Com os simpósios, em 1996 é fundada a Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas (SOBRADE).

É interessante notar que a mineração sempre ocupou posição de destaque nas pesquisas de RAD pois, apesar de ser responsável percentualmente, em termos de área, por uma pequena degradação ambiental quando se analisa o país como um todo, suas degradações são sempre muito intensas no local e proximidades das atividades, provocando um impacto muito grande sobre a opinião pública, o que tem causado um efeito muito negativo na imagem da mineradores quando a atividade é exposta ao meios de comunicação, principalmente a televisão e a mídia impressa.

Com isto as mineradoras sempre se viram obrigadas a minimizar os impactos negativos de suas atividades sobre o meio ambiente, e para isto, muitas vezes se antecipando à legislação, vêm desenvolvendo estudos em conjunto com universidades e centros de pesquisa. Como comentado por Balensiefer (op cit), destacadamente a área de mineração está muito a frente nas pesquisas de RAD com relação às demais atividades, o que pode ser confirmado quando o mesmo autor relata que, das atividades degradantes, a que mais contribui com tecnologia é a mineração (31%), seguida da agricultura (17%), urbanização (13%), barragens (7%) e outros (30%).

Como exemplo da importância da mineração para as pesquisas de RAD no Brasil, pode-se citar o caso da Alcoa Alumínio S.A. que, em 1978, "ciente de suas obrigações para com a comunidade" de maneira a amenizar os efeitos de suas minerações a céu aberto, firmou um convênio de pesquisas com a Universidade Federal de Viçosa, donde resultou um relatório de recomendações para a recuperação das áreas mineradas (Dias, 1985). Ainda durante a década de 70 um outro exemplo foi o convênio firmado entre a Petrobrás e o Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais da ESALQ/USP (Zamberla e Viana, 1985).

O I Congresso Brasileiro de Mineração, ocorrido em 1985 em Brasília, já dedicava, mesmo antes da obrigação legal da RAD imposta pela Constituição de 1988, uma parte voltada exclusivamente para o Meio Ambiente onde foram apresentados 14 trabalhos sobre a temática ambiental e, dentre estes, 5 versavam exclusivamente sobre a Recuperação Ambiental de áreas degradadas pelas atividades minerárias (IBRAM, 1985).

Finalmente, nesta virada de milênio, parece-nos que se começa a equacionar uma razoável resposta a uma pergunta que Odum (1988) fez, relativa às degradações ambientais, décadas atrás: “Quanto custará, a nós, pagadores de impostos, para reabilitar tal área, e quanto da degradação foi desnecessária e poderia ter sido prevenida?”

Na prática, nos primeiros anos desta pergunta, a resposta parecia ser a de que talvez fosse mais fácil deixar estas preocupações para as gerações futuras, nos esquecendo da ética e da própria vida.

3.2 – (RE)PENSANDO A RAD

O paradigma dominante na ciência tem levado à contínua divisão do conhecimento em disciplinas e destas em subdisciplinas. Esta crescente especialização do conhecimento, feita de uma maneira desequilibrada, como vem sendo realizada, acaba fazendo com que estes especialistas percam a visão do todo, a visão holística do mundo (do grego *holos* que significa todo, integral).

Desta maneira, a ciência deveria se preocupar em buscar um mecanismo de apoio para o crescimento das especialidades sem no entanto perder a unidade do todo, a visão holística.

No tocante aos problemas ambientais resultantes das atividades minerárias, eles “possuem várias interfaces e exigem soluções integradas com contribuição dos vários campos do conhecimento” e a ciência ambiental “caminha no sentido da integração e tem, no mínimo na interdisciplinaridade um de seus principais fundamentos básicos” (Kopezinski, 1998).

Primeiro deve-se deixar claro o conceito que aqui será utilizado para o termo RAD. Usar-se-a a definição dada pela ABNT na NBR 13030 (“Elaboração e Apresentação de Projetos de Reabilitação de Áreas Degradadas pela Mineração”) que define a Recuperação como:

“Conjunto de procedimentos através do qual é feita a recomposição da área degradada para o estabelecimento da função original do ecossistema.” (ABNT, 1998)

Desta maneira, se o objetivo da RAD é o restabelecimento da função original do ecossistema tendo, além disto, como obrigação legal o retorno de sua estabilidade natural, fica claro que a RAD deve então se basear na observação, estudo e compreensão da complexidade dos sistemas naturais que vem se desenvolvendo a bilhões de anos.

Através dos recentes conhecimentos acumulados sobre a ecologia de ecossistemas tropicais, tem-se demonstrado que a estabilidade do ambiente, exigida na lei, deve ser uma das metas principais (Campello, 1998) e, para tal, os trabalhos de RAD direcionados para padrões semelhantes aos da sucessão ecológica são os mais, se não únicos, viáveis.

Conclui-se então que a base para o desenvolvimento de técnicas de RAD se encontra na sucessão ecológica, como demonstrado em vários trabalhos como Kageyama (1992), Griffith et al (1994), Seitz (1994), Gandolfi e Rodrigues (1996), Ferreira et al (1997), Jesus (1994), Alegre (1994) e muitos outros.

Esta percepção não é nova. McIntosh (1980 apud Odum, 1988) já décadas atrás mencionava que: “Para se predizer e gerenciar a recuperação após uma perturbação, tal como a mineração a céu aberto, deve-se conhecer em detalhes o padrão de sucessão e o potencial de recuperação do ecossistema em questão, a fim de que os esforços feitos no sentido de se regenerar o sistema possam ajudar e não atrapalhar os processos naturais de recuperação”.

Neste ponto, ter a sucessão ecológica como base dos projetos de RAD, também ocorrem equívocos de interpretação devido a falta de visão holística. Quando se diz que a RAD deve se basear na sucessão ecológica, pode-se incorrer no erro de imaginar a sucessão em si, isoladamente. Isto não basta. Se a sucessão é a base da RAD, então devem existir condições mínimas para que ela se desencadeie numa velocidade compatível com as diversas exigências, ou seja, deve-se ao mesmo tempo em que se pesquisa o processo sucessional em si, saber se o local tem condições microclimáticas, pedológicas e topográficas (relevo/geomorfologia) para que a mesma ocorra.

Fica cada vez mais evidente que, para captar-se a complexidade dos ecossistemas, necessita-se de uma interação entre as diversas disciplinas da ciência - as pesquisas interdisciplinares. Mas ao mesmo tempo, deve-se reconhecer também que esta interação é um fenômeno muito recente. Por exemplo, a primeira proposta de trabalho interdisciplinar só foi sistematizada em 1961 por Gusdorf e só em 1970 a OCDE, organização econômica dos países desenvolvidos, promove em Nice (França) um seminário internacional sobre o tema (Silva, 1999), enquanto no Brasil o marco inicial é o trabalho de Japiassu de 1976. Já com relação à transdisciplinaridade, só começa-se a falar a respeito, no Brasil, a partir da década de 90.

Com a crescente conscientização ambiental da sociedade nas últimas décadas e a obrigação legal surgida na década de 80, as pesquisas sobre a RAD tiveram um rápido crescimento e, com isto, ela passa a atrair uma série de diferentes profissionais que, no princípio, pouco se articulam, mesmo porque, como já comentado, esta articulação também é uma novidade para a ciência moderna.

Como resultado disto, tivemos o aparecimento de uma ampla gama de métodos (Gandolfi e Rodrigues, 1996; Jordan II et al, 1992) que variam de acordo com o enfoque dado por cada área do conhecimento que a aborda. Na verdade a RAD exige estes diferentes enfoques, mas eles precisam ser articulados para que se possa compreender melhor a complexidade do sistema natural em estudo. Desta maneira, diferentes profissionais passam a focar suas pesquisas para a RAD e, aos poucos, a percepção de que estas visões são complementares e não antagônicas começa a ocorrer, principalmente devido a crescente troca destas diferentes visões proporcionada pelos Simpósios Nacionais de RAD que se iniciaram em 1992.

E é neste ponto que se apresenta a ecologia, a qual, por necessidade, é uma das disciplinas que mais tem procurado integrar os vários conhecimentos visando compreender melhor seu objeto de estudo, o ecossistema, e com isto ela vem tanto se utilizando das novas teorias como contribuindo para as mesmas. O desenvolvimento da ecologia moderna está diretamente associado a duas novas teorias deste século, a Teoria Geral dos Sistemas e a Cibernética e, mais recentemente, a diversas outras como a Ciência do Caos e da Complexidade, Auto-organização, Autopoiética, etc.

A ecologia possui como objeto de estudo as relações entre os seres vivos e o meio ou ambiente em que vivem, bem como as suas recíprocas influências, e a abordagem reducionista sozinha não é capaz de explicar seu funcionamento devido a uma de suas principais características, as 'propriedades emergentes', uma consequência da organização hierárquica que nos diz que na medida em que os componentes ou subconjuntos de um sistema se combinam para formar um sistema maior, novas propriedades emergem, as quais não se encontram presentes nas partes isoladamente (Odum, 1988).

Com o surgimento da Teoria Geral dos Sistemas, consolidou-se definitivamente a idéia de que os seres vivos e seu ambiente na verdade formavam um sistema maior, o ecossistema. Desta maneira não basta apenas conhecer as partes dos ecossistemas, como o faz a abordagem reducionista, mas é necessário também compreender as relações entre estas partes, das quais emergem novas propriedades.

A cibernética também foi fundamental para se compreender o funcionamento dos ecossistemas. É através dela que se começou a compreender que os mecanismos de

regulação dos ecossistemas se utilizam de um complexo fluxo de informações para se manterem equilibrados. Utilizando-se deste fluxo de informações que percorre todo o ecossistema, mecanismos de controle dinâmico via retroalimentação (feed-back) são capazes de manter o sistema num 'estado contínuo' (steady-state) de equilíbrio dinâmico, ou seja, a idéia de um equilíbrio dinâmico auto-ajustador capaz de manter o sistema próximo de um valor ótimo através de pequenas flutuações ao redor deste, via um complexo fluxo de informações que permeia todo o ecossistema (Odum, 1988; Capra, 1996).

Foi diante deste cenário - novas teorias surgindo tentando melhor compreender a complexidade da vida, a pressão da sociedade e da legislação em relação à RAD e um conhecimento ainda não consolidado dos ecossistemas tropicais – que iniciou-se os primeiros trabalhos de RAD na década de 70 no Brasil via mineradoras.

No início imaginava-se que recuperar uma área degradada fosse deixá-la novamente da 'cor verde', como ela era antes da degradação. Foi assim que os primeiros projetos de RAD tinham a idéia de que bastaria revegetar a área degradada com uma espécie vegetal qualquer, preferencialmente espécies já conhecidas, de fácil aquisição no mercado (o que significa, no Brasil, em sua grande maioria espécies exóticas), com rápido recobrimento da superfície, que já se estaria 'recuperando' a natureza.

Como mencionam Griffith et al (1994), as mineradoras, por ser a atividade pioneira na RAD, foram influenciadas pela padronização da produção mineral e acreditaram que poderiam utilizar receitas também uniformes, encarando o problema como se fosse possível desenrolar um 'Tapete Verde' sobre os locais degradados.

Assim, surgiram propostas as mais variadas indo desde o simples recobrimento das áreas degradadas com gramíneas à formação de maciços puros de eucalipto, pinus ou leucena (Gandolfi e Rodrigues, 1996), sem compreender as complicações de tais propostas no médio e longo prazo.

Ainda, como comentado por Griffith et al (op cit), o não conhecimento de aspectos fundamentais da ecologia dos ecossistemas, como os conceitos comentados anteriormente de propriedades emergentes e mecanismos de retroalimentação, os quais ao mesmo tempo são influenciados e influenciam diretamente a biodiversidade e a sustentabilidade do ecossistema, acabou fazendo com que estes primeiros experimentos em RAD gerassem situações tais como a necessidade de frequentes fertilizações, a suscetibilidade dos monocultivos à destruição por pragas e fogo, à erosão devido a falhas frequentes no 'tapete verde', o empobrecimento visual a médio e longo prazo, entre outros, não cumprindo a legislação no tocante ao retorno da estabilidade do ecossistema e, conseqüentemente,

demonstrando ter custos totais muito maiores do que se imaginava frente às frequentes intervenções necessárias.

Nos últimos anos uma visão mais real da complexidade dos processos envolvidos na RAD começa a se consolidar devido tanto à integração cada vez maior entre os pesquisadores quanto à crescente compreensão dos ecossistemas tropicais.

3.3 – ELEMENTOS BÁSICOS PARA UMA PROPOSTA DE RAD

Primeiro deve-se ter clareza de que se está lidando com um ‘sistema dinâmico complexo auto-organizador’, o ecossistema, que deve ser entendido como uma totalidade que é criada pela integração de um grande conjunto estruturado de partes componentes, cujas inter-relações estruturais e funcionais criam uma inteireza que não se encontra implicada por aquelas partes componentes quando desagregadas (Haigh, 1985 apud Christofolletti, 1999), ou seja, a abordagem reducionista é necessária para que possamos compreender os componentes do sistema, mas não é suficiente para entender o ecossistema como um todo.

Quanto à complexidade do ecossistema, esta se exprime por haver uma quantidade muito grande de componentes ou variáveis interatuantes, que intercambiam informações (cibernética) tanto internamente entre os componentes como com seu entorno condicionante, o que lhe dá a capacidade de adaptar sua estrutura como consequência destas interações, ou seja, o ecossistema é um sistema complexo auto-organizador capaz de se manter em um equilíbrio dinâmico (Christofolletti, 1999; Capra, 1996). Esta complexidade do ecossistema esta correlacionada com sua resiliência e estas duas com sua biodiversidade de uma maneira ainda não totalmente entendida pela ciência.

Assim, como primeiro ponto, deve-se identificar em qual ecossistema a área degradada se encontra conhecendo suas características básicas como (adaptado de Engel e Parrotta, 1999):

- histórico do ecossistema, incluindo suas perturbações – compreensão da sucessão primária (biogeografia da região);
- situação atual do ecossistema e da paisagem – fatores edáficos (pedologia, geologia e geomorfologia); fatores climáticos (regime das precipitações, da radiação solar e dos ventos); fatores de estresse (erosão, fogo, etc.);
- identificação dos fatores cruciais para o funcionamento do ecossistema – processos ecológicos e fitossociologia (espécies e grupos chaves);
- sucessão secundária e

- meio antrópico – suas relações históricas e atuais com o meio ambiente local;

Neste ponto vale lembrar que muitas vezes os projetos de RAD, tanto em termos científicos quanto em termos legais, acabam se equivocando e tendo nas florestas, principalmente as tropicais, o objetivo dos trabalhos, mesmo que não se esteja lidando com biócoros de florestas, como é o caso do cerrado.

Isto devido ao conhecimento sobre os ecossistemas tropicais, dentre eles os brasileiros, ser muito recente, estando ainda em consolidação e, portanto, não tendo sido ainda bem assimilado pela sociedade como um todo. Um caso típico é a obrigatoriedade legal de formar matas ciliares em regiões de cerrado onde muitas vezes nunca existiram árvores ou qualquer outra vegetação lenhosa (Durigan, 1999).

Uma vez conhecidas as características gerais do ecossistema com o qual se irá trabalhar, deve-se identificar, dentre estas características levantadas, quais são as que mais influenciam o início e o desenvolvimento da sucessão ecológica no curto, médio e longo prazo, os chamados fatores ecológicos chaves da sucessão, ou seja, a estratégia da RAD deve começar pela identificação dos mecanismos de resposta ambiental que estarão aptos para uma resposta imediata (Campello, 1998).

O planejamento da RAD propriamente dito, salvo situações que exigem intervenções emergenciais, se inicia neste ponto, após o levantamento das informações básicas sobre o ecossistema e a seleção dos fatores chaves, sob os quais se definirão as ações no curto, médio e longo prazo.

Para facilitar a determinação dos fatores chaves da sucessão deve-se ter uma visão holística da RAD para, daí, se identificar as barreiras existentes para o desencadeamento da sucessão que, de uma maneira geral, podem ser agrupados em 3 grandes conjuntos (adaptado de Engel e Parrotta, 1999):

- ausência de propágulos – banco de sementes, plântulas, árvores jovens e meristemas em remanescente de raízes e troncos;
- falhas no estabelecimento dos propágulos – macro e microclima (excesso ou falta de: água, temperatura, insolação, etc.), predação dos propágulos (insetos e animais), competição intra e inter-específica, substrato (baixa fertilidade do solo, pedogênese insuficiente frente aos processos erosivos, contaminação natural ou antrópica do solo), etc;

- falhas no estabelecimento de interações essenciais para a manutenção da integridade do ecossistema – polinizadores, dispersores, decompositores, etc.

Quanto à sucessão, diversos modelos têm sido formulados desde que Clements em 1916 a propôs como ‘lei universal’ e assim vários autores como Budowski(1965), Denslow (1980 apud Jesus, 1997), Whitmore (1982), entre outros, tem tentado a separação das espécies em diferentes grupos de sucessão. Atualmente o modelo mais utilizado tem dividido as espécies em pioneiras (crescimento rápido), secundárias (intermediárias entre pioneiras e clímaxes) e clímaxes (crescimento mais lento).

Na sucessão natural as espécies pioneiras são eficientes em explorar substratos desnudos e em suportar condições de microclima desfavoráveis, melhorando as condições microclimáticas e o substrato, propiciando o local para o estabelecimento das não pioneiras (secundárias e clímaxes), que possuem vantagens competitivas nessas condições.

À medida em que as pesquisas sobre os ecossistemas tropicais evoluem, mais sua complexidade é revelada (Kageyama, 1999) e a falta de uma integração entre as abordagens reducionistas e sistêmicas, lembrando que atualmente tem sido predominante a abordagem reducionista, tem produzido uma série de falhos projetos de RAD.

3.4 - SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICO (SIG)

A necessidade crescente de uma melhor compreensão da complexidade da realidade exige, pelo menos, a interdisciplinaridade das pesquisas científicas o que, conseqüentemente, acaba gerando um grande volume de dados que necessitam ser integrados.

Dentre as tecnologias que vem possibilitando esta tarefa, os SIGs surgiram como uma das ferramentas de maior potencial (Camara e Medeiros, 1998; Burrough e McDonnell, 1998). Ele permite manipular uma grande quantidade de variáveis num mesmo sistema através do georeferenciamento destas variáveis, facilitando sobremaneira as pesquisas interdisciplinares. Assim ele vem se tornando uma ferramenta praticamente indispensável para a elaboração de projetos ambientais (Guerra e Cunha, 1995; Camara e Medeiros, op cit) sendo capaz, através de modelagem, de permitir a visualização, com simulações, de como irão ocorrer os fenômenos e prever soluções que levem à manutenção de um equilíbrio de estado contínuo. Além disto, com o processo de globalização as empresas tem sido “obrigadas” a serem cada vez mais eficientes, o que significa a necessidade de um eficiente gerenciamento de suas informações. Por estas e outras características o SIG tem tido um rápido crescimento no mundo todo.

A atividade minerária envolve um volume e uma quantidade de dados extremamente grande, praticamente impossibilitando sua manipulação em sistemas que não o SIG, o que tem provocado um rápido crescimento, principalmente por oferecer sofisticadas funcionalidades que podem ser usadas em muitos aspectos da indústria de mineração para visualizar, analisar e manipular dados espaciais e tabulares, como apresentado por Bonham-Carter (1994) ou Beswick e Steel (1997) e por Jarosz e Peeters (1996) utilizando o SIG Arc/Info e ArcView.

Nestes trabalhos é interessante notar outra possibilidade de aproveitamento do SIG. Normalmente nas minas existem vários sistemas especializados, cada qual com seu próprio banco de dados e o SIG pode juntá-los gerando uma grande sinergia. Um SIG pode trazer diferentes componentes do ambiente da mina juntos e então apresentá-los em qualquer combinação desejada. Como lembra Jarosz e Peeters (1996), em um SIG um mapa é uma ferramenta de consulta e não apenas um utensílio de apresentação de dados.

Os mesmos autores concluíram que em seus trabalhos as áreas de produção da mina estavam amplamente dispersas e o SIG proporcionou aos gerenciadores da mina uma revisão das diferentes áreas de uma maneira rápida e fácil.

Seu uso inicial nestas empresas tem sido associado a área de meio ambiente, mas vem se percebendo sua grande utilidade em integrar várias outras áreas, desde o planejamento de longo prazo até o gerenciamento da rotina. Na área de meio ambiente ele tem sido visto como um instrumento de programação das ações integradas, de controle e de gestão do meio ambiente.

Araújo e Ferreira (1997) percebem a importância do SIG para a mineração, apesar de não visualizarem todas as possibilidades oferecidas, quando citam que o SIG é capaz de proporcionar facilidade no processamento de imagens o que vem simplificar sobremaneira a atividade de engenheiros, arquitetos e outros profissionais envolvidos. Citam também que, através do SIG, pode-se, com relativa facilidade, montar verdadeiras maquetes eletrônicas, conhecidas como Modelos Digitais de Terreno (MDT), que descrevem adequadamente cada fase do projeto de mineração, e a partir destes MDT estudar as diversas formas de minimizar os impactos causados pelo empreendimento mineiro.

O MDT, conhecido também por Modelo Digital de Elevação (MDE) ou ainda, Modelo Numérico do Terreno (MNT), é a representação digital de um modelo numérico da superfície da Terra, obtido a partir de um conjunto de coordenadas (x, y, z) de pontos distribuídos no terreno (Christofolletti e Teixeira, 1997).

Existem dois tipos básicos de modelos de dados MDT: o modelo de redes irregulares de triângulos, mais conhecido como TIN (Triangulated Irregular Network) e o modelo de

grades, ou quadrículas, mais conhecido como “grid model”. Os MDTs são utilizados para uma variedade de aplicações, incluindo mapeamento topográfico, planejamento do uso da terra, obras de engenharia, meio ambiente e recursos naturais, etc. Trabalhos como o de (Costa et al., 1992) comprovam a importância do MDT como ferramenta de auxílio em projetos ligados ao meio ambiente, em especial a projetos na mineração.

3.5 – A NECESSIDADE DE UM PLANEJAMENTO INTEGRADO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DA MINERAÇÃO

Para que a mineração possa se direcionar para o desenvolvimento sustentável ela necessariamente deverá ter uma visão do todo, uma visão holística, abordando no planejamento da empresa as três dimensões existentes: a social, a ambiental e a econômica.

Enquanto a dimensão econômica é necessária à sobrevivência da empresa dentro do sistema capitalista, principalmente no curto prazo, a dimensão social e a ambiental possuem exigência legal e ética, sendo necessária à sobrevivência humana no médio e longo prazo e conseqüentemente à sobrevivência do próprio sistema econômico.

A sustentabilidade só poderá ser alcançada através de um planejamento que integre estas três dimensões e, como elas se dão, direta ou indiretamente no espaço, o SIG se torna uma excelente ferramenta para este fim.

Neste ponto a RAD, representando a dimensão ambiental, deverá ser vista como o eixo central dos planejamentos da empresa, donde se derivarão as outras duas dimensões, a econômica e a social. Isto porque, como diz Barth (1989), “a RAD não pode ser vista como um evento que ocorre isoladamente em uma determinada época, mas sim um processo que se inicia antes da mineração e termina muito depois desta ter-se completado”.

Ao mesmo tempo, como menciona Hadley e Toy (1987), “para se avaliar os impactos das atividades humanas na paisagem, e para desenvolver possíveis mitigações para uma vasta variedade de degradações, nós precisamos primeiro compreender a interrelação entre os processos geomorfológicos e hidrológicos que operam nas encostas, nos canais de drenagem, e na bacia hidrográfica”.

Sendo a geomorfologia o estudo das formas do relevo e dos processos que as originam então a drenagem é elemento fundamental em vista da sua relação direta com as formas do relevo, sendo uma de suas principais causas geradoras, via erosão. Dentro do espaço temporal humano, o relevo pode ser considerado estático, servindo de suporte físico para os processos bióticos dos ecossistemas. Assim, ao longo do tempo, o meio biótico vai se adaptando e transformando as condições abióticas, até atingir o clímax do ecossistema num

processo denominado sucessão ecológica. Como todo processo de sucessão ocorre junto ao relevo, o mesmo irá influenciar suas interações, agindo diretamente na disponibilidade do teor de umidade, da radiação solar e dos nutrientes.

Esta influência do relevo existe em qualquer escala, seja ela macro, como cadeias montanhosas, seja ela micro, como pequenas depressões. Quando se está atento a esta relatividade da escala espacial pode-se perceber diferentes nichos em qualquer escala. Assim, até mesmo em pequenos locais percebe-se estes micro-nichos, como, por exemplo, pequenas depressões no terreno, que, ao reter umidade, matéria orgânica e sementes, criam condições particulares.

A natureza utiliza estes nichos como “postos avançados” na recolonização de áreas degradadas, seja por eventos naturais ou antrópicos, além de poderem abrigar espécies de estágios mais avançados da sucessão numa área que, pelas condições gerais, não as comportaria.

No caso da mineração a céu aberto, objeto deste estudo, isto se torna ainda mais acentuado, pois a topografia local é grandemente alterada. Como esta atividade é legalmente obrigada a Recuperar as Áreas Degradadas, nada mais eficiente, tanto em termos da própria RAD em si quanto em termos econômicos, do que incluir a variável ambiental desde o primeiro momento, ou seja, incluir o tema RAD já nos primeiros planejamentos da empresa, tendo a geomorfologia e os processos hidrológicos como base.

Na empresa mineradora Samarco, um planejamento integrado, baseado em uma análise multidimensional, vem ocorrendo a alguns anos entre o planejamento de lavra, o plano de drenagem e o planejamento ambiental, onde a drenagem ao mesmo tempo em que mantém os pátios de mineração em condições de operação, assegura um nível aceitável de emissão de sedimentos nos corpos d'água. Resta agora, além do constante aprimoramento destes planejamentos, a integração da RAD a estes. Desta maneira o planejamento de lavra não deve objetivar apenas a produção necessária, mantendo a segurança e a operacionalidade da mina (dimensão econômica), como também assegurar as condições mínimas para que se possa reabilitar as áreas degradadas por suas próprias atividades (dimensão sócio-ambiental).

Nesta integração o plano de drenagem pode vir a influenciar significativamente os processos de RAD dentro das áreas mineradas.

CAPÍTULO 04 - MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 - A EMPRESA SAMARCO MINERAÇÃO S.A.

A SAMARCO, fundada em 1977, atua nas áreas de mineração, beneficiamento e concentração de Minério de Ferro, sempre se destacando no setor pelo pioneirismo e investimento em tecnologia de ponta.

Em outubro de 1998 tornou-se a primeira empresa produtora de minério de ferro do mundo a obter a ISO 14001 para todas as etapas do seu processo produtivo. No Brasil foi a primeira empresa a explorar o itabirito, um minério que era descartado como rejeito por possuir baixo teor de ferro. Também em 1998, pelo segundo ano consecutivo, foi incluída no guia das melhores empresas para se trabalhar no Brasil, publicado pela revista Exame. A empresa também lidera a lista das organizações que são referência em clima organizacional segundo a consultoria Hay do Brasil.

É a segunda maior exportadora de pelotas de minério de ferro do mundo, destinando sua produção para o exigente, e cada vez mais competitivo, mercado siderúrgico mundial. Seus produtos são exportados para clientes na Europa, Ásia, África, Oriente Médio e Américas.

O controle acionário da Samarco pertence à S. A. Mineração da Trindade – SAMITRI com 51% e à BHP Brasil com 49%. A Samarco mantém unidades industriais em dois estados brasileiros. Em Minas Gérias, nos municípios de Mariana e Ouro Preto, localiza-se a unidade de Germano. A unidade de Ponta Ubu está instalada em Anchieta, no Espírito Santo. Realizadas de forma integrada, as atividades da empresa são divididas em lavra, beneficiamento, transporte, pelotização e embarque.

4.2 – CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA DE TRABALHO

4.2.1 – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de exploração de minério de ferro da Samarco é composta atualmente por sete minas sendo elas: Alegria 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 9, formando o Complexo Alegria. Devido a grande área do complexo, optou-se por realizar o estudo na área de Alegria 9.

O Complexo Alegria situa-se entre as coordenadas 20°07'30" e 20°13'00" Sul e 43°30'00" e 43°31'30" Oeste. Ocupa a parte sudeste do Quadrilátero Ferrífero, em terreno dos municípios de Mariana e Ouro Preto, estado de Minas Gerais.

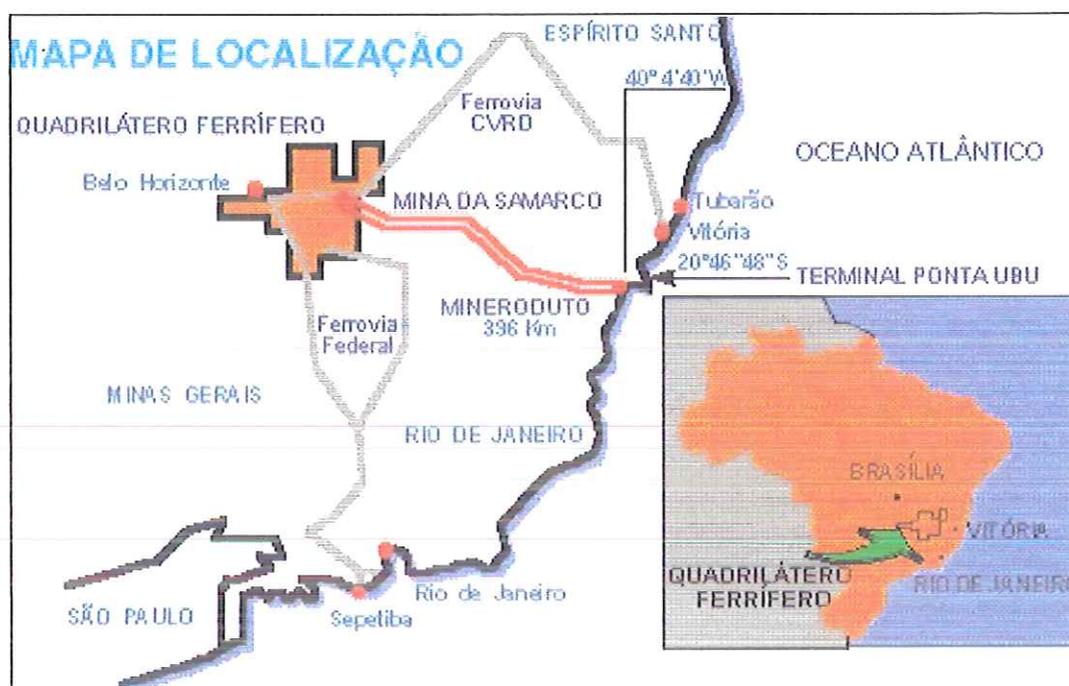


FIGURA 01 – Figura de Localização Simplificado das Unidades da Empresa.

O local é ligado por estrada de rodagem às cidades mais próximas: Mariana (32 Km) e Catas Altas (31 Km). Através da Rodovia dos Inconfidentes dista cerca 130 Km da capital Belo Horizonte.

A Mina de Alegria 9 está situada à margem esquerda do rio Piracicaba e à direita do córrego dos Macacos, como mostra a Figura 01.

4.2.2 – PROCESSO DE PRODUÇÃO UTILIZADO NA MINERAÇÃO

Compilado de: Brandt, 1997; Casquet, 1995 e Samarco, 1997.

A - LAVRA

O método de lavra utilizado é a céu aberto contando com uma capacidade instalada de produção anual de 13.000.000 toneladas, sendo 12.000.000 toneladas de pelotas.

A grande maioria do minério é altamente friável, resultando em um desmonte por tratores CAT-D8L e D11N. Nas porções mais resistentes, cerca de 10% do material, é utilizado explosivo.

A lavra é feita de três formas diferentes:

- Alimentação por carregadeiras frontais CAT - 992B em carregador simples de correias transportadoras móveis de bancadas;
- Transporte por caminhões CAT - 773B das frentes de lavra até carregadores duplos de correias transportadoras fixas;
- Alimentação de caminhões CAT-789B por carregadeiras frontais CAT-994 e posterior transporte até o pátio de estocagem, onde o minério é retomado por carregadeiras CAT-992B e CAT-994.

Todo minério lavrado é depositado em uma pilha pulmão de 114.000 toneladas e é retomado por alimentadores de placas e transferido para as instalações de britagem/concentração através de um sistema de correias transportadoras.

A remoção de estéril é feita por desmonte com explosivos e cortes de tratores CAT - D8L e CAT D11N, seguidos por carregamento e transporte com caminhões CAT - 773B e CAT 789B até a deposição controlada em pilhas de estéril.

A Mina de Alegria exige uma operação com flexibilidade para manter a qualidade do produto dentro dos limites especificados pelo cliente. Com isso, são lavradas diversas frentes simultaneamente, todas elas definidas previamente pelo planejamento de lavra.

A mina de Alegria garantirá o funcionamento do complexo SAMARCO pelo menos até o ano 2012, ao mesmo nível de produção atual, com reservas lavráveis da ordem de 160 milhões de toneladas.

O “run of mine” de Alegria é carregado por meio de carregadeiras frontais até os silos que alimentam os carregadores de minério. Quando a distância ultrapassa o limite de eficiência

do equipamento, o carregamento é feito com caminhões “fora de estrada” com capacidade de 32 toneladas.

Os carregadores móveis estão montados sobre um sistema móvel de transportadores de correia que direcionam o fluxo de minério para o sistema principal.

A disposição destes equipamentos é feita de modo a otimizar a produção, além de permitir a alimentação da usina com o minério dentro das características médias.

B - RELAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE LAVRA

Operação de Perfuração e Desmonte:

A frota atual em operação dispõe das seguintes unidades:

Desmonte Mecânico:

- 06 tratores de esteira (Caterpillar, modelo D8L) com 300 hp de potência.
- 02 tratores de esteira (Caterpillar, modelo D11N) com 770 hp de potência



FIGURA 02 – Equipamentos utilizados na lavra.

Carregamento de Minério:

- 03 carregadores móveis simples e 2 carregadores móveis duplos, com as mesmas características dos equipamentos de Germano;
- 06 transportadores de correia relocados da mina de Germano;
- 02 transportadores de correia de 42” para transferência;
- 09 pás carregadeiras frontais (Caterpillar, modelo 992 B) com capacidade de caçamba de 8,2 jc;
- 02 pás carregadeiras frontais(Caterpillar, modelo 994) com capacidade de caçamba de 18,9 jc;
- 11 caminhões fora-de-estrada(Caterpillar, modelo 773B) com capacidade de caçamba de 52,6 tmn;
- 04 caminhões fora-de-estrada (Caterpillar, modelo 789B) com capacidade de 177 tmn;
- transportadores de correia de 48”, coletoras com capacidade de 3.300 toneladas/hora, relocados da mina de Germano.

Operações Auxiliares:

Na manutenção de acessos no interior da Mina de Alegria e na operacionalização da disposição de pilhas de estéril são utilizados:

- 02 tratores de esteira(Caterpillar, modelo D6D/E) com 140 hp e 155 hp de potência respectivamente e
- 02 motoniveladoras(Caterpillar, modelo 140H e 16G) com 150 hp e 275 hp de potência respectivamente.

C - DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL DA MINA DE ALEGRIA

O estéril depositado controladamente é composto de itabiritos impuros e canga. Para a escavação do estéril, são utilizadas perfuratrizes e explosivos sempre que a rocha se mostrar mais consistente. Os equipamentos de carregamento e transporte são de frota própria, listado no item anterior.

A remoção do estéril de acordo com o plano de lavra, deverá resultar numa massa de 56×10^6 toneladas, distribuídas ao longo de 14 anos. A relação estéril/minério calculada para a reserva de 160 milhões de toneladas é de 0,35:1,0.

Foi determinado, no plano de lavra desenvolvido pela SAMARCO, a permanência de ocupação do vale do córrego do João Manuel como área destinada ao estéril das minas Alegria 1, 2, 3, 4, 5 e 6, área onde se dará parte do estudo relativo a morfologia da pilha de estéril.

A pilha é formada da base para o topo em bancadas, de tal forma que o primeiro banco ocupa a cota mínima local. Os bancos têm altura de 15,0 m, espaçados por bermas de 20,0 m, com ângulo geral de talude de 21° e o ângulo de talude entre bancadas de 37°.

O volume de estéril a ser depositado é da ordem de $25 \times 10^6 \text{ m}^3$, cuja deposição será feita em duas etapas:

1ª etapa (anos 1 a 8); volume previsto $11 \times 10^6 \text{ m}^3$

2ª etapa (anos 9 a 15); volume previsto $14 \times 10^6 \text{ m}^3$

D - SISTEMA DE DRENAGEM

O sistema de drenagem utilizado segue o modelo tradicional, onde se procura concentrar o escoamento superficial fora das praças de operação, direcionando os mesmos para redes de drenagem naturais ou artificiais, onde normalmente se constroem bacias de sedimentação visando a retenção de sedimentos.

Com a finalidade de facilitar o escoamento das águas pluviais, os bancos foram projetados com inclinação de 1%, preferencialmente na direção leste/oeste, com convergência para as vertentes e diques de contenção de finos.

Este sistema de drenagem é sistematizado por serviços de topografia e pelo técnico responsável pelo planejamento da mina, para assegurar a execução correta do sistema.

4.3 – CARACTERÍSTICAS AMBIENTAIS

Os estudos apresentados a seguir sobre as características ambientais foram baseados em trabalhos já realizados por diversas consultorias e pela própria empresa através de trabalhos de campo e dados de pesquisa executados na ocasião dos estudos de licenciamento do empreendimento e de trabalhos de monitoramentos, a saber: Brandt, 1997; Casquet, 1995 e Samarco, 1997. Além destes trabalhos várias visitas ao campo e análises de dados foram realizadas.

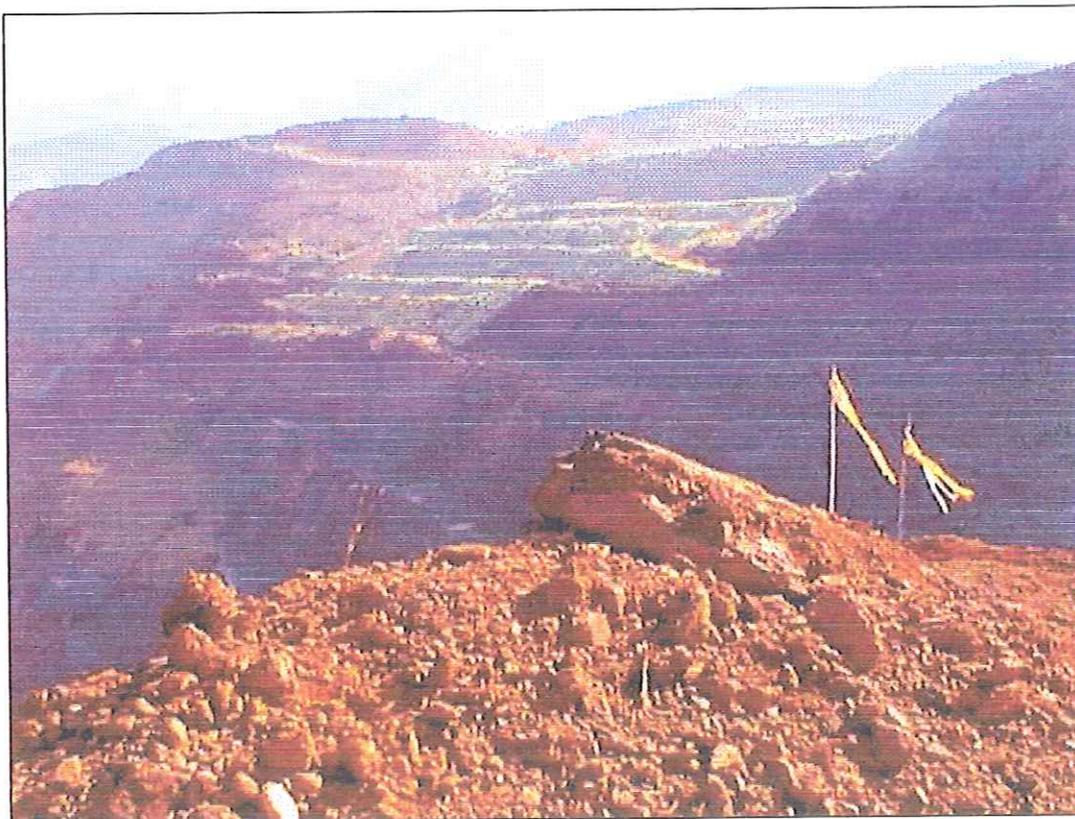


FIGURA 03 – Exemplo de pilha de estéril.

A região onde se encontra o empreendimento possui uma série de fatores que a torna única em termos brasileira. A geologia proporcionou enormes desníveis topográficos, tornando o efeito orográfico extremamente importante. Ao mesmo tempo em que se tem altitudes de mais de 2.000 m com médias anuais de precipitação da ordem de 2.000 mm tem-se também, a poucas centenas de metros altitudes de menos de 1.000 m com médias anuais de precipitação ao redor de 1.300 mm.

Com uma topografia extremamente acidentada a geomorfologia exerce grande importância, uma vez que pode alterar significativamente a distribuição de energia solar de acordo com a direção das encostas e ao influenciar diretamente nos processos erosivos.

Como resultando o meio biótico também desenvolveu, semelhantemente ao meio abiótico, uma grande diversidade. A região se encontra em uma zona de transição entre a Mata Atlântica e o Cerrado, contando ainda com Campos de Altitude. Isto tudo resulta em uma grande diversidade, comprovada em recente estudo (Costa et al, 1998) sobre a biodiversidade do Estado de Minas Gerais.

Neste estudo, resultado da união de várias entidades governamentais e não governamentais (mais de 120 especialistas), a região foi citada como de extrema importância para a conservação e estudo da biodiversidade no Estado de Minas Gerais.

4.3.1 - MEIO ABIÓTICO

A – CLIMA REGIONAL

A Samarco mantém uma estação meteorológica desde 1985 na região com pluviômetro, temperatura de bulbo seco e úmido e velocidade e direção do vento.

As informações obtidas destes dados foram:

Precipitação média anual:	1.757 mm;
Média do mês mais chuvoso (Dezembro):	368 mm;
Média do mês mais seco (Agosto):	19 mm;
Precipitação Máxima Mensal (janeiro/85):	716 mm;

A seguir é apresentado gráfico do resultado dos dados registrados pelo pluviômetro da empresa localizado na área de estudo.

De acordo com trabalhos já desenvolvidos, o clima da região pode ser classificado como tropical chuvoso com invernos secos. Em relação ao balanço hídrico anual médio pode ser classificado como úmido, ou seja, o déficit hídrico anual é em média menor que o excedente, demonstrando que apesar de uma clara divisão entre um verão quente e úmido (novembro-março) e um inverno frio e seco (maio-agosto), o solo é reabastecido completamente a cada período chuvoso.

Na cidade de Ouro Preto a pluviometria registra uma média anual de 1.670 mm que, mal distribuídos, precipitam a 84% entre os meses de outubro a março. A média anual de temperatura está sempre acima de 18,5 °C, ficando nos meses mais quentes com uma média de 23,5 °C e nos meses mais frios em 14,6 °C. A umidade relativa do ar se situa, na média, ao redor de 80%.

Tais valores serão comparados com os dados fornecidos pela empresa, uma vez que, com um período de 14 anos (85-98) a série histórica já passa a representar, pelo menos em parte, a média da região.

Quanto a Recuperação de Áreas Degradadas percebe-se que o clima não oferece, em média, restrições, bastando que sejam observadas as épocas ideais para as atividades de replantio.



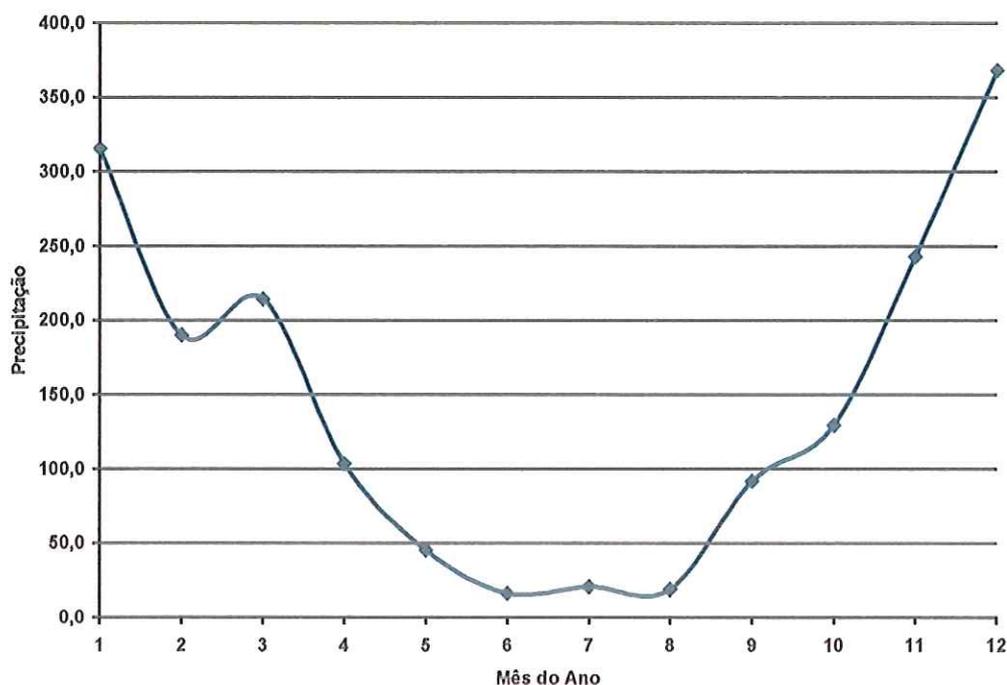


FIGURA 04 – Gráfico da média mensal de precipitação na área de mineração (1985-1998).

B – PEDOLOGIA

As 4 tipologias de solo, segundo o PRAD realizado pela UFOP para a mina do germano, encontradas foram: Latossolos Vermelho-Amarelo e Vermelho-Escuro, Concrecionários Lateríticos, Cambissolos, Litólicos e Aluviais.

Como era de se esperar devido a geologia regional, no geral os horizontes apresentam-se mais profundos e desenvolvidos nas cotas inferiores (grande influência do sinclinal) e vão diminuindo na medida em que se sobe em direção às cristas. Com relação a quantidade de material inconsolidado acontece o contrário (grande influencia do anticlinal) aumentando proporcionalmente à cota do terreno em quantidade e tamanho.

As tipologias encontradas, em sua grande maioria, apresentam fertilidade restrita contanto com uma capacidade de troca abaixo de 3 meq./100cc, com exceção dos solos cobertos com florestas (influência da matéria orgânica) podendo chegar nestes casos a 5 meq./100cc. Em média apresentam uma soma de bases trocáveis abaixo de 1 meq./100cc, altos teores de Al^{+++} e índice de saturação de bases abaixo de 50%. Como resultado os solos são álicos, distróficos e ácidos apresentando necessidade de intervenção humana em caso de revegetação de tais áreas.

C – GEOLOGIA

O MINÉRIO DE FERRO

O Ferro é o 2º metal mais abundante da litosfera, constituindo 4,2% desta. Foi um dos primeiros metais utilizados pelo Homem, constituindo-se, sem sombra de dúvidas, na espinha dorsal da civilização moderna (DNPM, 1986). Conhecido 4.000 anos a.C. na civilização egípcia, o seu uso tornou-se particularmente importante a partir de 800 a.C., início da idade do Ferro. Após o início do uso do coque, substituindo o carvão vegetal, ele se difundiu amplamente (Abreu, 1973). Seu uso em larga escala se dá a partir do século XIX. No Brasil, sua mineração inicia-se em Sorocaba em 1597 e em Minas Gerais seu início se deu em 1808 no Morro do Pilar (Alecrim, 1982).

Historicamente Alegria remonta ao começo do século XVIII quando o guarda-mor João Pedro Cotta, português, adquiriu em torno de 1782 a propriedade rural da região de Alegria. Seu filho, Capitão Manuel Pedro Cotta, através de herança, recebeu a propriedade da Fazenda de Alegria, onde ergueu sua residência e passou a explorar ouro na região.

O nome Fazenda de Alegria relaciona-se à alegria frequente dos habitantes da região, após as enchentes, por estas depositarem ouro em pó entre as raízes dos arbustos, nas áreas alagadas. Em abril de 1911 foi comprada pelo norte americano Edmond Cecil Harder, e em julho do mesmo ano revendida a The Brazilian Iron and Steel Company, dos EUA. Esta empresa fez algumas pesquisas sobre a existência de ouro e ferro, que são o marco dos trabalhos de pesquisa geológica do minério de ferro de Alegria.

Em 1943, a Companhia Siderúrgica Belgo Mineira adquiriu as propriedades e em agosto de 1961 transferiu seus direitos sobre as áreas mineralizadas à SAMITRI, sua subsidiária. Esta, desde então, passou a pesquisar intensamente o minério de ferro e ferro-manganês. O alinhamento das concessões e a gênese comum dos minérios levaram a região a receber o nome de Complexo Alegria, que hoje engloba várias jazidas e minas como: Fazendão, Morro da Mina, Alegria Este, Alegria Oeste, Alegria Centro, Conta História Norte, Conta História, Batatal, Miguel Congo, Fábrica Nova, Alegria Sul e Germano. As minas e jazidas hoje pertencentes à SAMITRI são as sete primeiras citadas e as duas últimas foram transferidas à SAMARCO Mineração S/A.

As reservas mundiais de Ferro são estimadas em 250 bilhões de toneladas das quais 43,4% se encontram na ex-URSS seguida pelo Canadá (14,3%), EUA (10%), Austrália (7%), Brasil (6,2%), Índia (3,6%) e China (2,4%).

No Brasil as reservas medidas e indicadas são da ordem de 15 bilhões de toneladas com teor médio de 57,13% distribuídos espacialmente em (DNPM, 1986):

- a) no Quadrilátero Ferrífero (MG) – 65%;
- b) na serra dos Carajás (PA) – 30%;
- c) em Urucum (MS) – 4%;
- d) outros locais – 1%.

GEOLOGIA REGIONAL E LOCAL

Vários trabalhos de cunho geológicos tem sido realizados na porção do Quadrilátero Ferrífero que engloba a área de influência direta e indireta da Mina de Alegria. Dentre os estudos realizados destaca-se o trabalho detalhado de Maxwell (1972) no Distrito de Alegria, que trata da Geologia e das reservas minerais.

Em princípios de 1970 a Companhia Siderúrgica Belgo Mineira, através da subsidiária SAMITRI, realizou uma grande campanha de pesquisa de minério de ferro na área, em etapas de semidetalhe e detalhe, atingindo a escala 1:1.000. Foram executadas sondagens rotativas (malhas regulares de 100 x 100 m, com furos centrais até a cota 1.040 m), abertura de poços e galerias e análises físico-químicas do minério.

O distrito do Quadrilátero Ferrífero, no qual a área de estudo do presente trabalho se encontra, pode ser dividido geologicamente em três grandes unidades: Embasamento (Arqueano), Supergrupo Rio das Velhas (Arqueano) e Supergrupo Minas (Proterozóico Inferior). As principais jazidas de ferro são representadas por camadas de itabirito com espessuras de até 250m, relacionadas ao Supergrupo Minas, ou mais especificamente, ao Grupo Itabira (Formação Cauê). O Grupo Itabira, sobreposto ao Grupo Caraça e sotoposto ao Grupo Piracicaba, é dividido em duas formações: Cauê, na base, e Gandarela na superior.

As rochas do Supergrupo Minas foram metamorfizadas e dobradas durante o ciclo Transamazônico (cerca de 2 bilhões de anos), no final do Proterozóico Inferior.

O minério de ferro extraído pela Samarco é encontrado na hematita, magnetita ou martita, presente nos Itabiritos (típicos do Quadrilátero Ferrífero) do Grupo Itabira, que são rochas quartzosas contendo óxidos de ferro com alguns carbonatos e silicatos de ferro. As impurezas encontradas nos minérios de ferro, principalmente nas limonitas, são sílica, alumina e álcalis, além de compostos de enxofre e fósforo, este último sendo o caso das reservas da Samarco (Coelho, 1994).

D – GEOMORFOLOGIA

GEOMORFOLOGIA REGIONAL

A geomorfologia regional é marcada por um relevo do tipo apalacheano, apresentando altitudes médias em torno de 1.400 a 1.600m tendo como ponto culminante a serra do Caraça a 2.064m (Foto 3). Destaca-se um conjunto rochosos dobrado em sinclinais e anticlinais, bastante erodido, com fases de deformação superimpostas a esses dobramentos e sucessivas superfícies de aplainamento. Ao sul e a leste, destacam-se estruturas com seguidos falhamentos de empurrão (BRANDT, 1997).

Os escarpamentos apresentam desníveis de centenas de metros em relação as cotas das unidades vizinhas como por exemplo a serra do Caraça, situada a norte da área de estudo. Isto sugere que, além dos processos erosivos, movimentos tectônicos também atuaram na evolução da geomorfologia regional (BALTAZAR, 1993).

Do ponto de vista hidrológico os divisores de água de duas das mais importantes bacias hidrográficas do estado (Bacias do São Francisco e Bacias do Rio Doce) se encontram na região. Em sua área estão situadas as nascentes: do Rio das Velhas (afluente do rio São Francisco), drenando a parte noroeste; a nascente do rio Piracicaba (afluente do rio Doce), drenando a parte nordeste; e os rios Gualaxo do Norte e Carmo, drenando a parte leste, que juntos formam o Rio Doce.

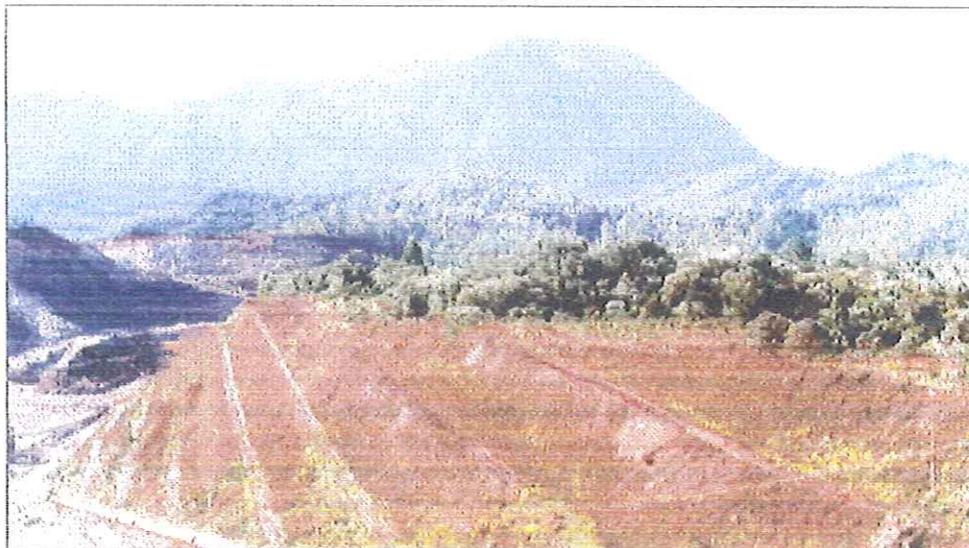


FIGURA 05 – Face sul da Serra do Caraça tomada de Alegria.

GEOMORFOLOGIA LOCAL

A área de estudo está inserida geomorfologicamente num sinclinal invertido, onde se destacam falhas de empurrão, dobras e uma foliação muito penetrativa nas rochas, fazendo com que a geomorfologia local reflita claramente as características gerais do Quadrilátero Ferrífero.

Diante de critérios topográficos e morfológicos pode-se encontrar três unidades geomorfológicas: cristas, colinas rebaixadas e planícies fluviais (Fotos 4 e 5).

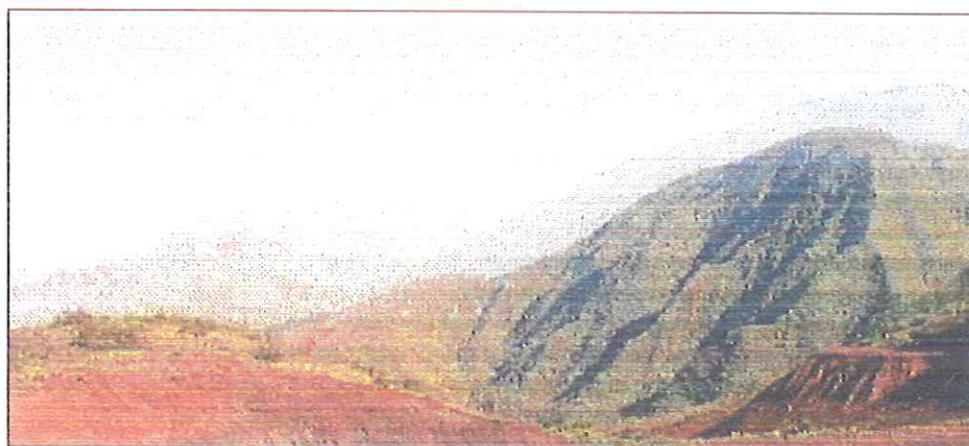


FIGURA 06 – Cristas com ravinas.

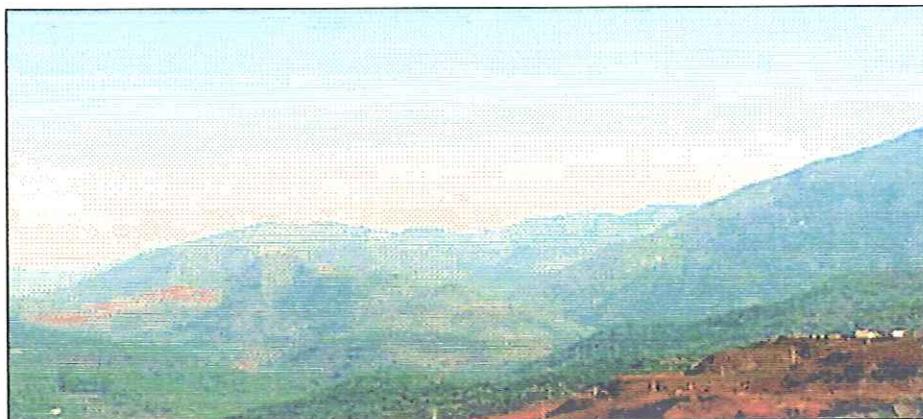


FIGURA 07 – Vista Geral de Alegria E (8 e 9) ao centro.

- As cristas

As cristas estão representadas na área por duas linhas de serras alongadas, orientadas no sentido N-S. Nas altas e médias vertentes das cristas voltadas para o rio Piracicaba, que marcam um contato estrutural com os quartzitos da Formação Moeda, é possível observar vertentes muito íngremes (Foto 4), que podem atingir declividade de até 50° graus. Possuem um sistema de ravinamento pluvial bem desenvolvido que concentra as águas superficiais em direção ao rio Piracicaba.

Essas feições encontram-se sustentadas por uma couraça laterítica, denominada Canga, de espessura variando de alguns centímetros a alguns metros, que protege o relevo dos processos erosivos. A canga representa um elemento chave do equilíbrio da região nas áreas com declividade mais acentuadas. Observa-se várias áreas na região onde processo erosivos se instalaram devido a retirada da mesma.

Nas vertentes voltadas para o córrego dos Macacos o ravinamento também ocorre, no entanto ele está mais ajustado as vertentes em função da diminuição da declividade.

Nesta área compreendida pelas feições entre o córrego dos Macacos e o rio Piracicaba que se encontra a mina de Alegria 8 e 9.

- Os planaltos rebaixados

Os planaltos rebaixados não são encontradas na área de estudo, aparecendo em setores próximos como na região do escritório. Apresentam altitudes de até 1.000m com declividades menores que as cristas resultando em áreas de maior estabilidade.

- As planícies fluviais

As planícies fluviais correspondem às partes mais rebaixadas do relevo, associadas ao sistema fluvial dos córregos dos Macacos, das Almas, João Manoel, Germano e rio Piracicaba.

De especial interesse ao estudo, o sistema fluvial do córrego dos Macacos (esquerda da Foto 5), afluente da margem direita do rio Piracicaba, apresenta pequena calha fluvial (<3m), tendo suas cabeceiras nas altas vertentes do compartimento das cristas, configurando um canal retilíneo de orientação N-S, controlado por zona de contato litológico entre o xisto e o itabirito.

Atualmente com a entrada em atividade de Alegria 9 desde 1998, o córrego dos Macacos já se encontra alterado contando com vazões somente durante e logo após as precipitações.

O rio Piracicaba se encontra bem encaixado na área formando um cânion, com calha em forma de V, com vertentes côncavas quartzíticas florestadas em sua margem direita. A carga do leito se encontra razoavelmente assoreada apresentando calha de 3m a até 20m de largura.

4.3.2 – MEIO BIÓTICO

A mineração teve início na região a cerca de 300 anos - no final do século XVII - quando da chegada dos primeiros bandeirantes. A partir de então a região passou a ser dependente da mineração uma vez que nenhuma outra atividade conseguiu se desenvolver na escala da mesma. A única atividade que possui expressão, mas apenas pontual, é o turismo.

Nestes 300 anos aconteceram vários ciclos da mineração onde a cada ciclo uma parte da natureza era degradada. Além da atividade mineraria ter produzido impactos um outro grande problema atinge a região: as queimadas. Além de possuir um solo extremamente pobre as queimadas impedem a todo ano a recuperação natural das áreas degradadas.

Além destes a retirada da fauna para carvão e a implantação da monocultura do eucalipto também causaram e causam grandes impactos. Mesmo com estes problemas o meio biótico na região ainda apresenta uma grande biodiversidade demonstrando uma grande resiliência.

Como já mencionado, a região se encontra numa zona de transição entre a mata atlântica e o cerrado, apresentando ainda campos de altitudes nas partes mais elevadas.

A flora original se encontra fortemente alterada, predominando campos rupestres, fragmentos de matas secundárias, reflorestamentos de eucalipto e estreitas faixas de florestas preservadas ao longo de cursos d'água.

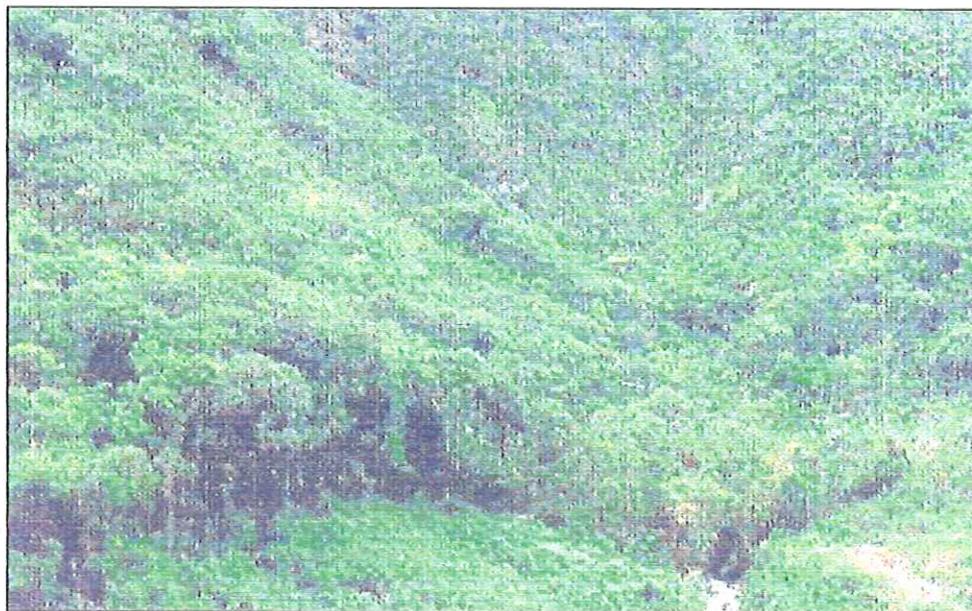


FIGURA 08 – Mata densa acompanhando o canal de drenagem.

Os campos rupestres foram menos impactados que as áreas florestadas por apresentarem solos de baixa fertilidade, não apresentando atrativos para a atividade agrícola, apresentando dois estratos, um herbáceo e um arbustivo.

No extrato herbáceo predominam as gramíneas, ciperáceas e plantas de pequeno porte como orquídeas e velózias (*Vellozia tenella*) enquanto o extrato arbustivo predomina arbustos e subarbustos como alecrim (*Baccharis* sp), amica (*Lychnophora* sp), assa-peixe (*Pernettia polyanthes*), candeia (*Eremophila erythropappo*), murici (*Byrsomima* sp) e vassourinha do campo (*Microlicia* sp).

A riqueza florística dos campos pode ser comprovada segundo dados fornecidos pela SAMARCO onde foram registradas cerca de 96 espécies pertencentes a cerca de 42 famílias botânicas nestes ambientes.

Nas áreas de matas, levantamento realizado pela Fundação Gorceix (PRAD, 1990) para a área da mina do Germano (localizada próxima da área de estudo) registrou um total de 392 espécies vegetais distribuídas em 86 famílias botânicas.

não ultrapassam 10m de altura, possuindo dossel não muito denso, permitindo uma luminosidade razoável em seu interior.

Nas matas são encontradas gramíneas, musgos, cipós, bambus, bromeliáceas e árvores como candeia (*Eremanthus erythropappa*), sangue de drago (*Croton urucurana*), embaúba (*Cecropia hololeuca*), samambaiuçú (*Cyathea sp*) entre outras.

No geral se observa a grande quantidade de fragmentos florestais e a importância de pioneiras como as embaúbas (*Cecropia sp*). Com relação a recuperação de áreas degradadas estes fragmentos devem ser preservados e unidos através de corredores que permitam o deslocamento de espécies da fauna local enquanto as espécies pioneiras ofereceriam alimentos e abrigos durante todo o ano.

Como não poderia deixar de ser a fauna também teve sua diversidade alterada em razão das intervenções antrópicas. A mastofauna, em levantamento realizado por BRANDT (1997), possui 40 espécies de potencial ocorrência demonstrando o caráter transicional da região. Muitas destas espécies se encontram ameaçadas de extinção (COPAM, 1996) como o lobo guará (*Chrysocyon brachyurus*), a paca (*Agouti paca*) e a onça pintada (*Panthera onca*).

4.4 - METODOLOGIA

4.4.1 - INTRODUÇÃO

Como visto, a Recuperação de Áreas Degradadas visa a um restabelecimento das funções ecológicas existentes antes da intervenção antrópica, se apresentando como uma tarefa complexa, como o é o próprio ecossistema.

Esta complexidade é ainda maior quando se refere aos ecossistemas tropicais, que exibem uma grande biodiversidade e, conseqüentemente, um grande número de variáveis, sejam elas bióticas (fauna e flora) ou abióticas (clima e substrato), as quais funcionam totalmente integradas mantendo a homeostase do conjunto.

O processo de RAD pressupõe o restabelecimento da estabilidade do ecossistema e para se atingir tal condição, quatro fatores chaves são necessários: (1) fontes de propágulos; (2) agentes de polinização e dispersão; (3) substrato e; (4) condições microclimáticas.

As fontes de propágulos são necessárias para dar início ao processo de sucessão e, juntamente com os agentes polinizadores e dispersores, para permitir sua continuidade no médio e longo prazo. Ao mesmo tempo, para que os processos de RAD ocorram, um substrato e um clima com condições mínimas a cada estágio da sucessão ecológica deverá

ocorrer. Nota-se que todas estas variáveis ‘ocorrem’ sobre o relevo, demonstrando a influência da geomorfologia nos processos de RAD.

Desta maneira as seguintes principais características se identificam:

- a exploração mineral não pode ser evitada por ser necessária às atividades básicas da sociedade atual;
- esta provoca degradações ambientais localmente restritas mas de grande intensidade;
- a recuperação destas áreas degradadas por parte da empresa é legalmente obrigatória e eticamente necessária;
- os ecossistemas tropicais possuem um sistema homeostático, que os mantém auto-sustentáveis, dependente de uma alta biodiversidade, lhe atribuindo uma grande complexidade;
- a grande maioria dos fatores e processos que ocorrem nestes ecossistemas se dão na superfície do relevo (geomorfologia).

Além disto, como já comentado, pode-se considerar que o desenvolvimento da atividade de exploração mineral possui várias dimensões, podendo ser agrupadas em três macro-dimensões: a social, a ambiental e a econômica. As dimensões social e ambiental possuem exigência legal e ética, enquanto a dimensão econômica é necessária à sobrevivência da empresa dentro do sistema capitalista.

Um planejamento integrado, baseado em uma análise multidimensional é, portanto, indicado. Como as diversas dimensões se dão, direta ou indiretamente, no espaço, um Sistema de Informações Geográficas (SIG) se torna uma excelente ferramenta para este planejamento integrado.

Dentro da proposta do trabalho será focado o potencial de uso do SIG como ferramenta de auxílio na RAD, mais especificamente neste trabalho, um estudo de caso do SIG como ferramenta de integração entre a RAD e o planejamento da drenagem superficial em áreas de exploração mineral.

Para tal foi adotada a seguinte metodologia de trabalho para esta dissertação:

- visita de campo para reconhecimento local;
- levantamento da base digital necessária;
- conversão da base digital para padrão ArcView;
- elaboração de metodologia para a drenagem superficial;
- elaboração dos mapas da cobertura do solo e hidrografia;

- elaboração de Modelo Digital de Terreno (MDT);
- determinação da bacia hidrográfica sob influência direta do empreendimento;
- determinação das sub-bacias hidrográficas e suas características físicas;
- elaboração de mapas de declividades e mapas dos valores de C (Coeficiente de Deflúvio);
- determinação das vazões máximas e totais para cada sub-bacia;
- determinação da criticidade das sub-bacias.

4.4.2 - Estudo de uma Metodologia para a Drenagem Superficial das Áreas Mineradas

Num planejamento convencional, a drenagem é vista unidimensionalmente por cada área da empresa. Assim, dentro da empresa, o setor de mineração só olha para a drenagem como sendo necessária para se evitar eventuais paradas nas operações da mina provocadas pelas precipitações e suas conseqüências. De modo semelhante, o setor responsável pela área ambiental, assim como os órgãos fiscalizadores, olham para a drenagem como necessária para a manutenção da qualidade ambiental como, por exemplo, evitando o aporte de sedimentos nos corpos d'água receptores como lagos e rios.

De uma maneira simplificada, no gerenciamento da mina o planejamento de lavra, o plano de drenagem e a disposição das pilhas de estéril são os principais elementos enquanto no gerenciamento ambiental os principais são a RAD e o controle dos efluentes hídricos e de emissões atmosféricas. Acontece que todos eles estão interligados, são dimensões diferentes da mesma problemática.

Um sistema de drenagem convencional tem por objetivo proporcionar a coleta, transporte e lançamento final de águas de escoamento superficial de modo que a integridade dos terrenos e as características dos copos d'água receptores sejam preservadas. Desta forma, a drenagem visa o controle da erosão, a minimização do assoreamento e a qualidade física e química dos corpos d'água receptores.

Numa abordagem multidimensional, estes objetivos representam as várias dimensões da análise. Várias outras facetas poderão existir, de acordo com cada realidade. Para o caso da mineração, além destas dimensões, um plano de drenagem deve contemplar pelo menos mais uma dimensão, a RAD. O plano de drenagem pode então auxiliar na RAD, uma vez que o microclima, que tem na umidade e no controle da erosão fatores de grande importância, possui papel preponderante neste processo.

Os principais componentes de um sistema de drenagem são: as canaletas, que conduzem as águas de escoamento superficial, as caixas de dissipação de energia, que têm a função de diminuir a energia cinética das águas que escoam pelo sistema, e as bacias de sedimentação, que promovem a sedimentação das partículas sólidas antes do lançamento das águas aos corpos receptores.

Para o dimensionamento de sistemas de drenagem superficial, necessita-se conhecer a relação intensidade-duração-frequência das chuvas do local que, junto com a escolha de parâmetros estatísticos como Período de Retorno, permite o cálculo do escoamento máximo esperado para estes parâmetros.

O Período de Retorno ou Tempo de Recorrência para as estruturas hidráulicas dos projetos de drenagem superficial normalmente não ultrapassam 10 anos, visto que não estão associados diretamente a riscos à vida humana, além de que, a própria vida útil das minas não ultrapassa em muito os 10 anos.

Outros fatores também influenciam no dimensionamento de um sistema de drenagem. Do total de precipitação em um evento chuvoso, parte escoam superficialmente, parte se infiltra e parte fica retida pela cobertura vegetal. A relação entre a quantidade de água que escoam superficialmente e a quantidade de chuva é o *coeficiente de deflúvio* (C) que depende das condições da superfície, tais como o material, a cobertura vegetal e a inclinação das vertentes.

Superfícies revestidas tais como ruas asfaltadas terão coeficiente de deflúvio próximo de 1, enquanto que áreas florestadas de relevo suave apresentarão baixo coeficiente de deflúvio. A tabela 04 mostra valores de C que podem ser utilizados em projetos de mineração.

Para bacias de pequena dimensão, com área de até 5 Km², o Método Racional normalmente é o mais utilizado (Wilken, 1978) para o dimensionamento de sistemas de drenagem superficial por ser o mais simples e apresentar pouca diferença nos resultados finais quando comparado a métodos mais elaborados. De vários estudos realizados por consultorias, como Figueiredo Ferraz (1991), ESC (1997 e 1998) entre vários outros, pode-se constatar pequenas diferenças obtidas quando da utilização do Método Racional comparado a outros métodos.

TABELA 04 – Coeficiente de Deflúvio.

Textura do solo e inclinação da vertente (%)									
Tipo de cobertura do solo	Arenosa			Siltosa			Argilosa		
	0-5	5-10	10-30	0-5	5-10	10-30	0-5	5-10	10-30
Floresta	0.10	0.20	0.30	0.30	0.40	0.50	0.40	0.50	0.60
Pasto	0.10	0.20	0.30	0.30	0.40	0.50	0.40	0.50	0.60
Superfície exposta/cultivada	0.30	0.40	0.50	0.50	0.60	0.70	0.60	0.70	0.80

Fonte: Lyle (1987)

A área escolhida para se aplicar a metodologia se refere a região afetada diretamente pelas atividades da mina de Alegria 9 e, totalizou uma área de drenagem de 5,6 Km², sendo formada pela área total da microbacia do Córrego dos Macacos e parte da bacia do Rio Piracicaba.

Dentro do escopo deste trabalho, demonstrar a potencialidade da ferramenta SIG para a RAD, optou-se por utilizar a fórmula racional por ser um método simples e adequado ao objetivo do estudo. Através do método racional obtém-se tanto a vazão total, utilizada para o dimensionamento das bacias de sedimentação, quanto a vazão máxima, usado no dimensionamento das várias obras hidráulicas, como as canaletas, dissipadores de energia, caixas de passagem, etc.

Assim, para o cálculo da vazão máxima em cada microbacia, utilizando-se a fórmula racional, multiplica-se o coeficiente de deflúvio (C) pela intensidade máxima provável e pela área de drenagem, seguindo a expressão abaixo:

$$Q = \frac{C.i.A}{3,6}$$

onde: Q = vazão (m³/s);

C = coeficiente de deflúvio (adimensional);

i = intensidade de precipitação pluviométrica (mm/h);

A = área da bacia de drenagem (km²).

Os valores de intensidade foram obtidos do trabalho de consultoria "Projeto Conceitual de Drenagem Superficial e Controle de Erosão e Assoreamento da Mina de Alegria", realizado pela empresa Figueiredo Ferraz em 1991.

Como a região possui grande declividade e as micro-bacias utilizadas para o cálculo das vazões são pequenas, resulta um tempo de concentração baixo. Desta maneira, para o cálculo das vazões máximas deve-se utilizar uma duração entre 10 a 30 minutos, enquanto que para o cálculo dos volumes totais gerados pela precipitação, usados nos dimensionamentos de

bacias de decantação e barragens de rejeito, normalmente se utiliza a chuva de 24 horas com TR > 100 anos. Os dados de intensidade são apresentados na tabela abaixo:

TABELA 5 - Valores médios de precipitação máxima para a mina de Alegria, Ouro Preto (MG).

DURAÇÃO	PRECIPITAÇÃO / TEMPO DE RECORRÊNCIA		
	TR10 (mm)	TR100 (mm)	TR500 (mm)
10 Minutos	24,6	34,6	38,4
20 Minutos	38,5	54,1	60,0
30 Minutos	47,6	67,0	74,4
60 Minutos	58,4	82,1	91,3
02 Horas	75,4	106,0	117,6
12 Horas	127,6	179,5	199,3
24 Horas	153,8	216,3	240,0
02 Dias	208,5	284,9	337,4
05 Dias	324,4	443,3	524,7
10 Dias	524,4	716,5	848,1
15 Dias	714,9	976,8	1156,4
30 Dias	858,2	1172,5	1388,1

Fonte: Figueiredo Ferraz, 1991.

Quanto ao cálculo do coeficiente de deflúvio, seguiu-se a seguinte metodologia: através de uma análise da cobertura e das características do solo, definiu-se dois tipos de cobertura: Floresta e Vegetação Rupestre com canga. Com o mapa topográfico derivou-se o mapa de declividade que foi reclassificado em 4 classes. A partir destas duas informações, cobertura / característica do solo e declividade, adaptou-se os valores sugeridos por Lyle (1987), apresentados na Tabela 04, para esta situação, gerando a Tabela 06 a seguir.

TABELA 06 - Valores do coeficiente de deflúvio para as condições da área de estudo (adaptada de Lyle, 1987).

Cobertura do Solo	Declividade (%)			
	0-5	5-10	10-30	> 30
Floresta	0,10	0,30	0,50	0,70
Campo Rupestre	0,30	0,50	0,70	0,90

A partir dos valores da Tabela 06, procedeu-se a uma reclassificação dos mapas de declividade e de cobertura do solo utilizando o módulo "Map Calculator" do SIG para gerar o mapa dos valores do coeficiente C.

As áreas de drenagem das micro-bacias foram obtidas pelo SIG ArcView, através da utilização do módulo Hydro, um módulo específico para análises hidrológicas. Foram definidas 21 microbacias (Figura 16) e suas características são apresentadas na Tabela 10.

CAPÍTULO 05 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 – RESULTADOS DA ANÁLISE DA DRENAGEM NA ÁREA DE ESTUDO

Depois de desenvolvido os conceitos e a metodologia, procurando-se demonstrar a potencialidade da ferramenta SIG para um planejamento integrado da RAD em áreas degradadas pela mineração, procedeu-se a aplicação destes através da análise da drenagem na área de estudo, a qual se refere à área de influência direta da mina de Alegria 9, compreendendo toda a micro bacia do Córrego dos Macacos e parte da bacia do Rio Piracicaba, como mostrado na figura 03.

Para tal utilizou-se a base de dados levantada e o SIG ArcView com os módulos de análise espacial (Spatial Analyst), análise tridimensional (3D Analyst) e análise hidrológica (Hydro).

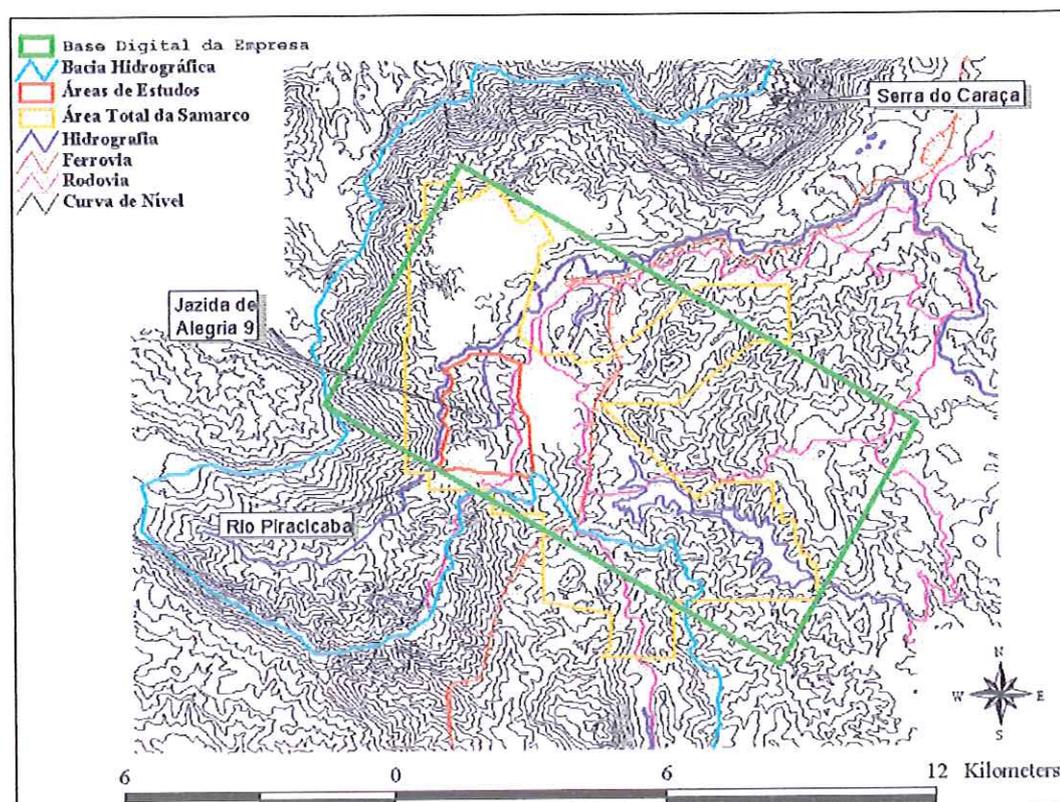


Figura 09 - Área de estudo com curvas de nível, hidrografia e bacia de influência.

A Figura 09 não contém todas as curvas de nível do mapa original, que as contém com equidistância de 10 m, uma vez que a visualização nesta escala ficaria prejudicada. Assim, no mapa acima foram plotadas curvas de nível com equidistância de 50m.

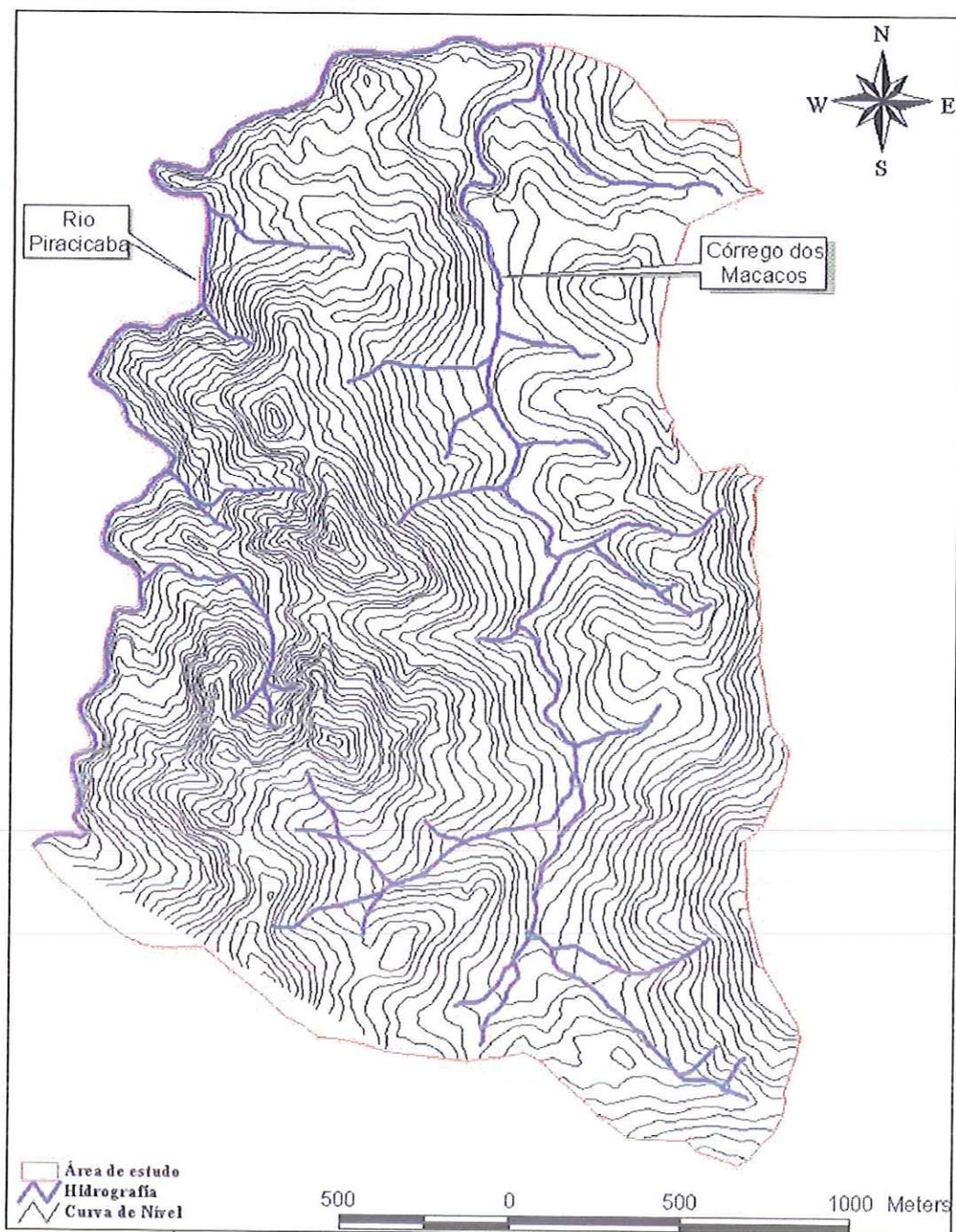


FIGURA 10 – Área selecionada (Alegria 9) para análise de drenagem.

Através das curvas de nível, procedeu-se a Modelagem Digital do Terreno (MDT) utilizando-se o módulo de análise tridimensional (3D Analyst) que, para elaboração do MDT, utiliza o modelo de redes irregulares de triângulos (TIN). Do MDT obtém-se também o mapa de altitudes.

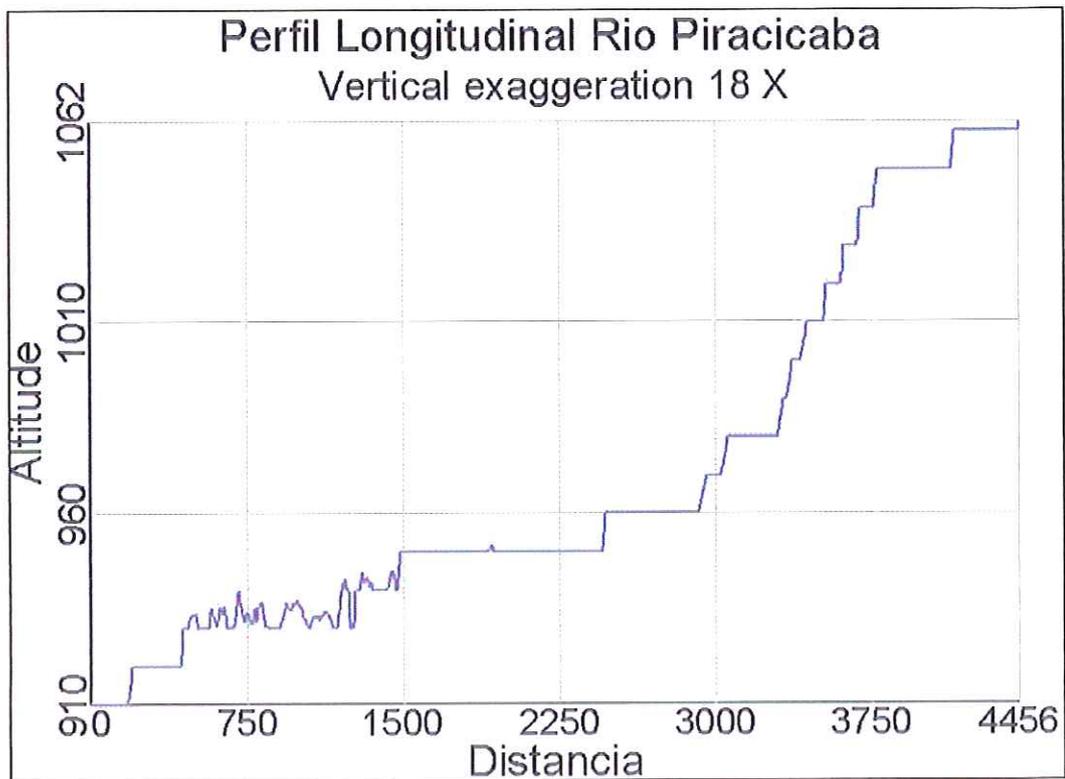


Figura 11 - Perfil longitudinal do Rio Piracicaba.

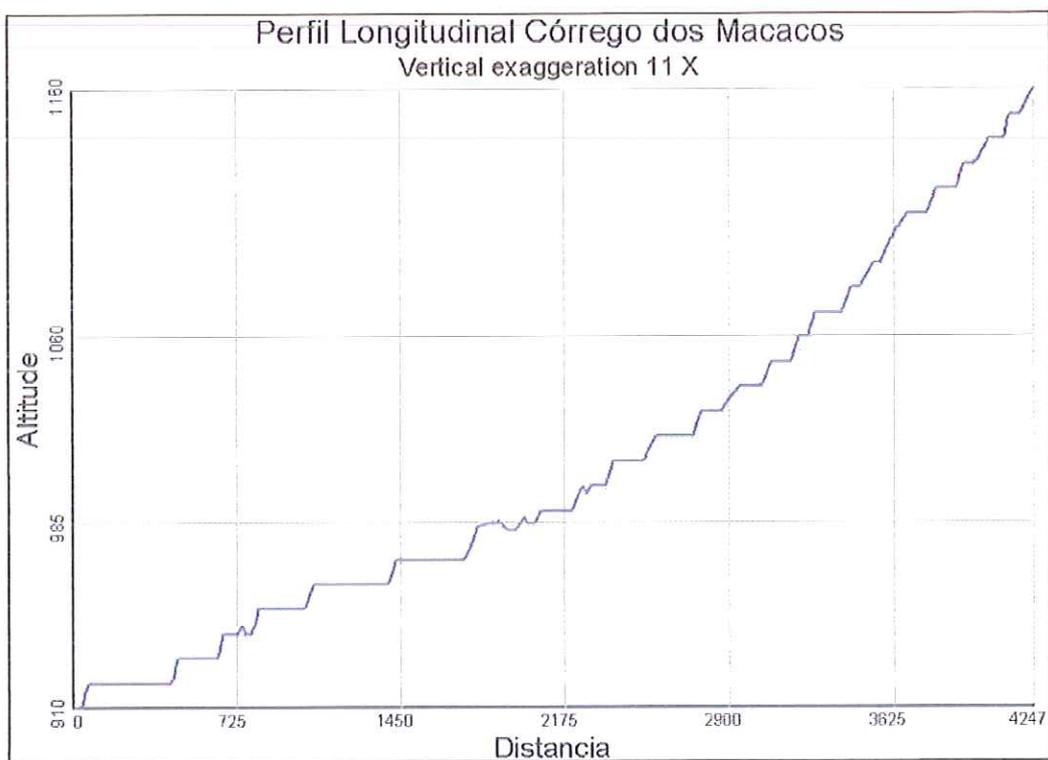


Figura 12 - Perfil longitudinal do Córrego dos Macacos.

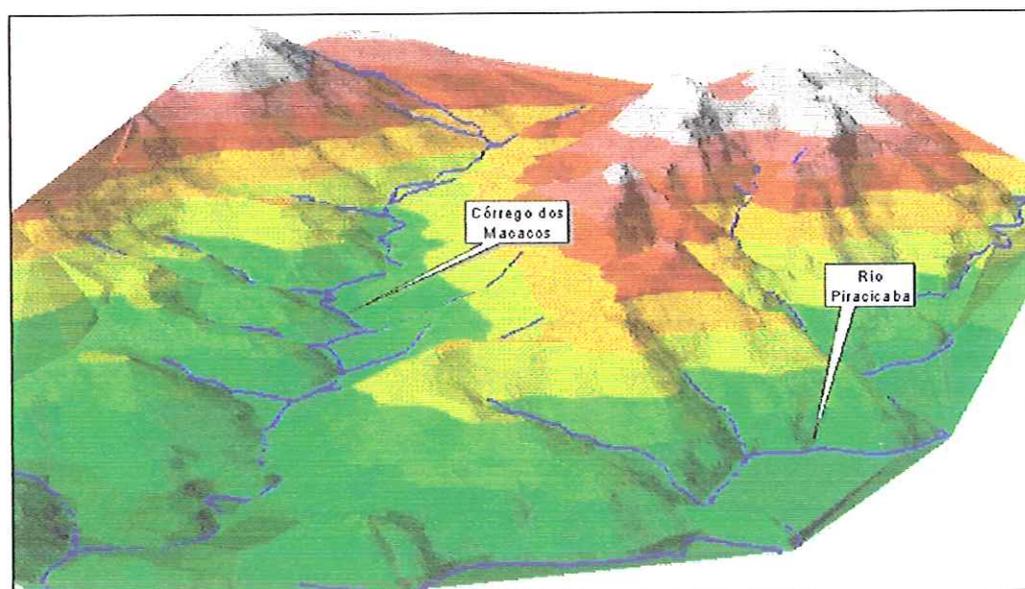


Figura 13 – MDT da área de estudo.

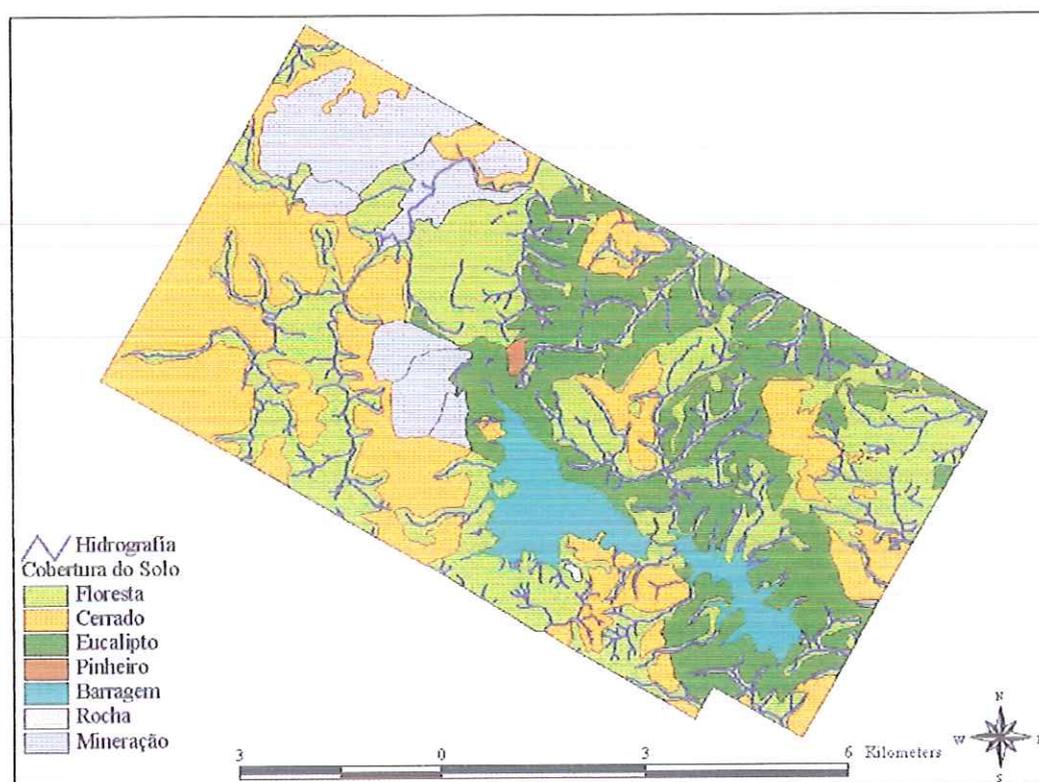


Figura 08 - Plano Diretor Digitalizado demonstrando a cobertura do solo.

Para se levantar a cobertura do solo, baseou-se na digitalização do plano diretor da empresa e posterior recorte da área de estudo.

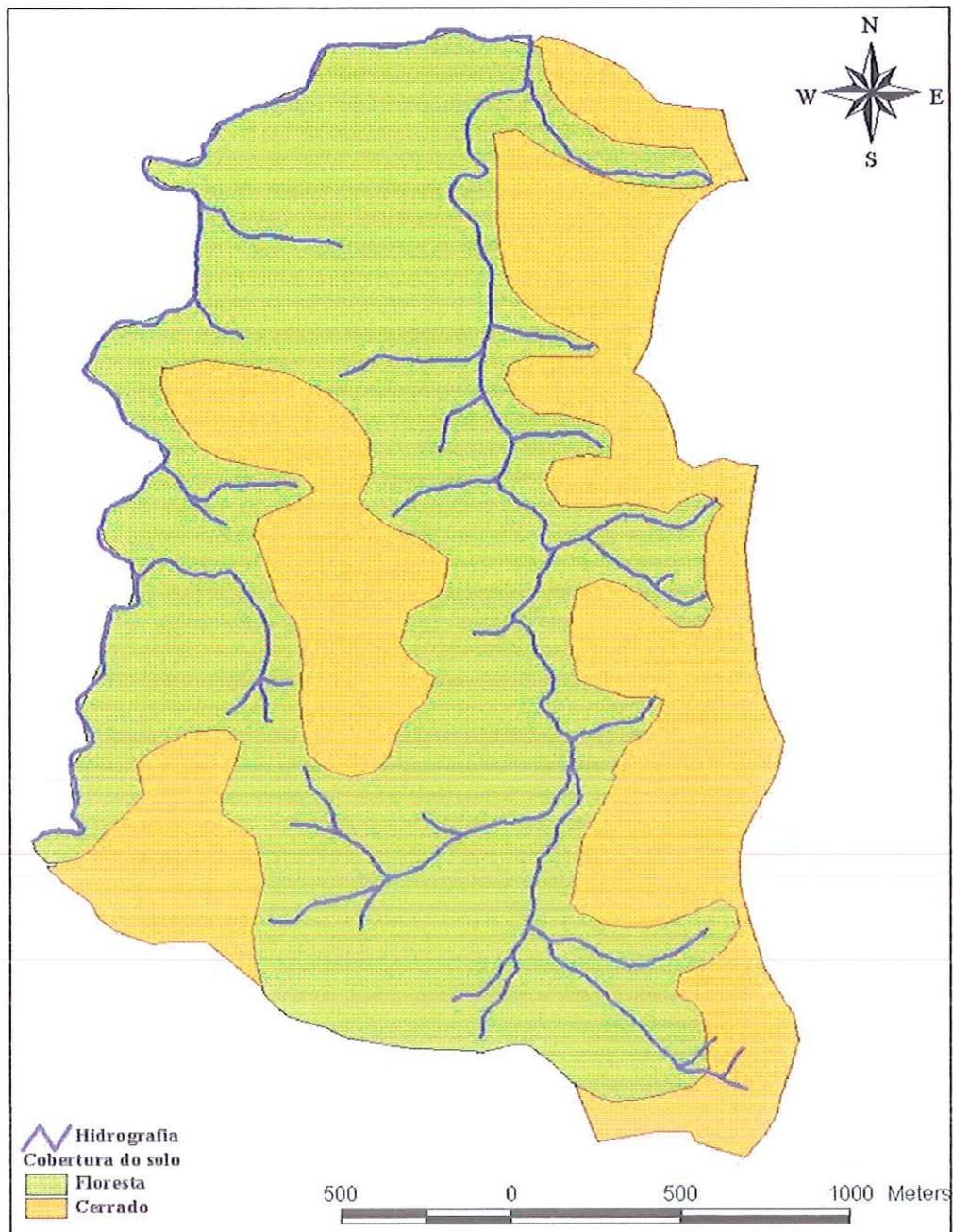


Figura 15 - Cobertura do solo da área de estudo.

O mapa de declividades pode ser elaborado utilizando-se o módulo de análise tridimensional (3D Analyst), o qual, após reclassificação em 4 classes, é apresentado a seguir.

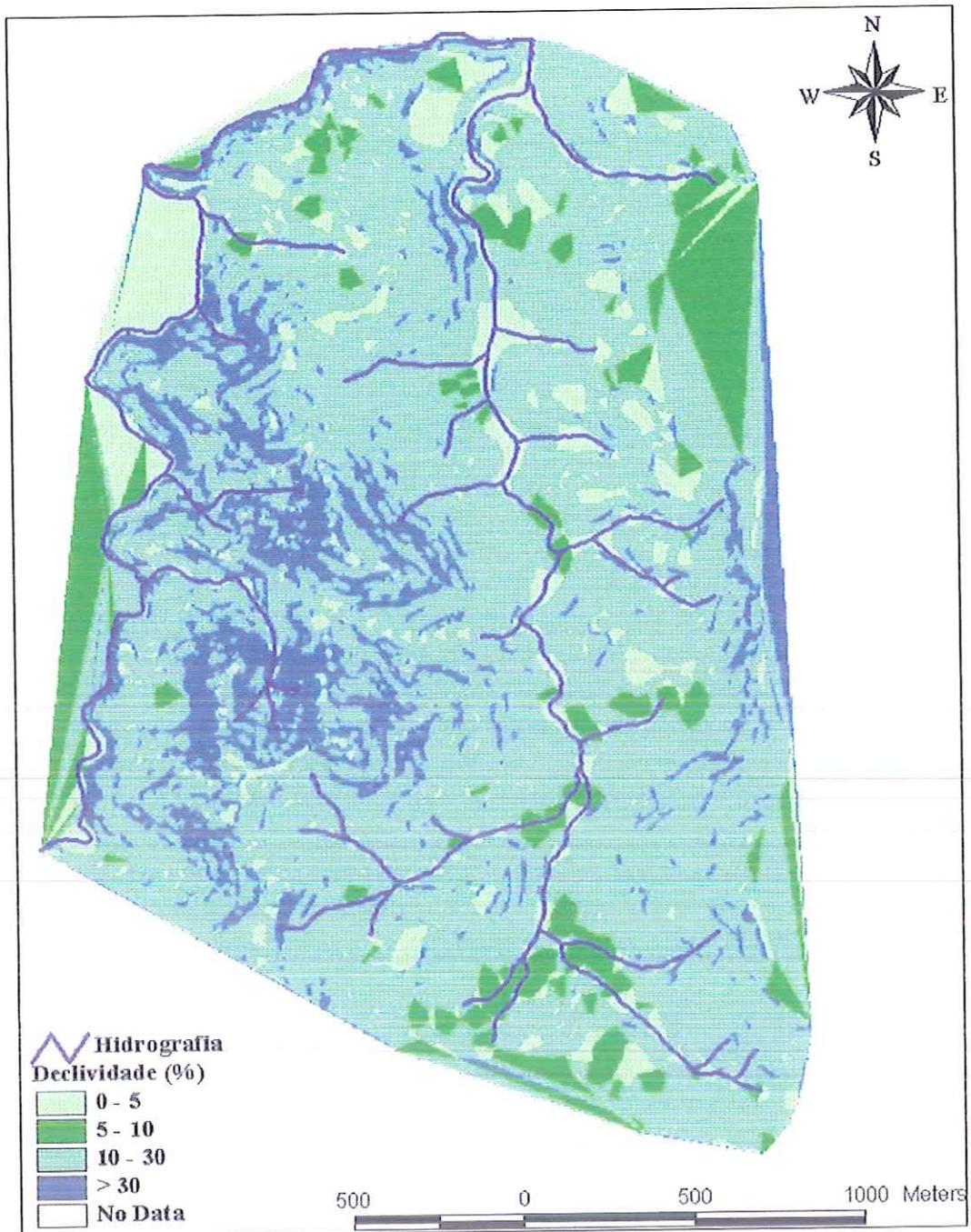


Figura 16 - Figura de declividade reclassificado em 4 classes.

Para determinação dos valores de C (coeficiente de deflúvio) elaborou-se um mapa (Figura 17) seguindo a metodologia proposta em função da cobertura do solo (Figura 09) e das declividades.

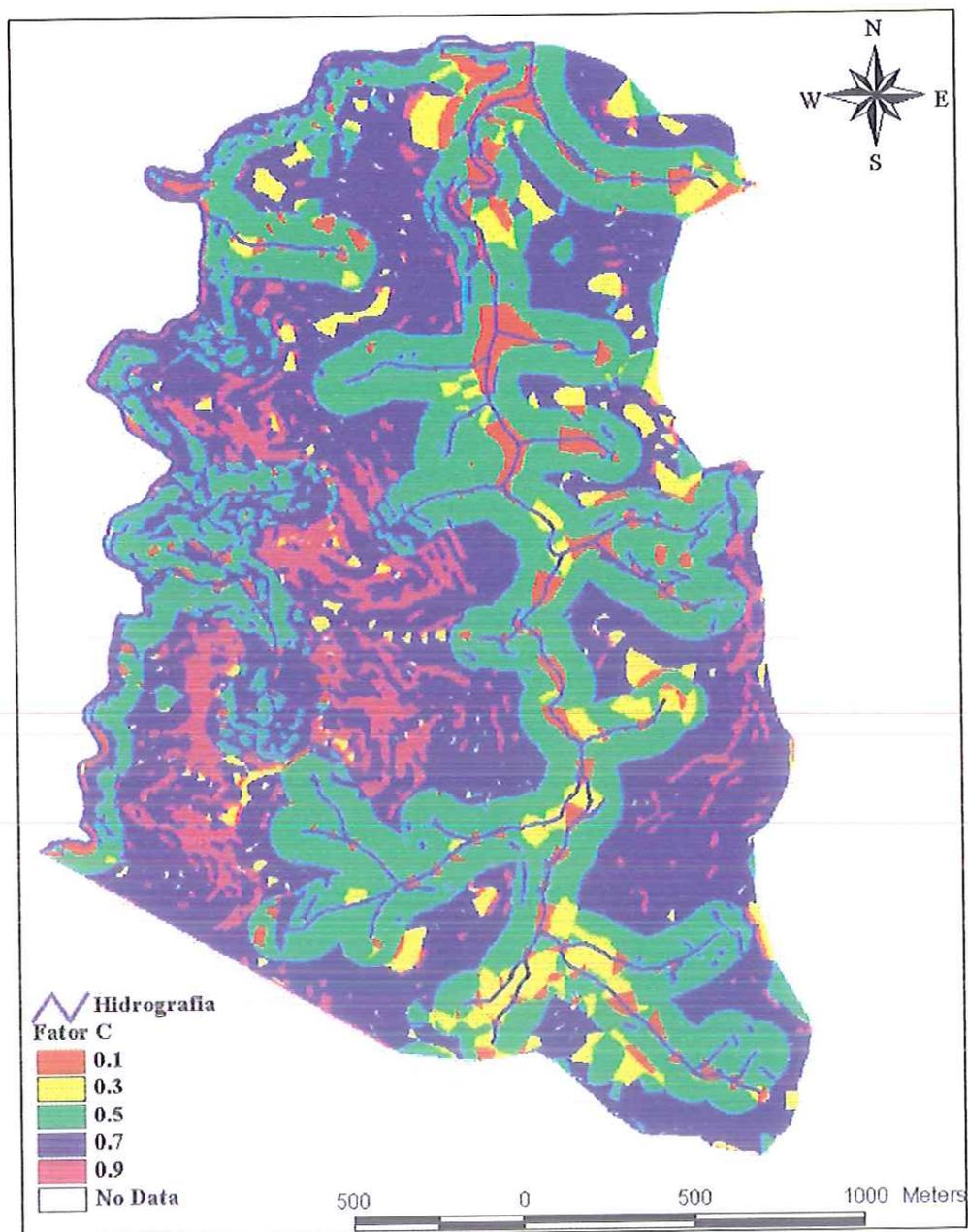


FIGURA 17 - Valores de C (Coeficiente de Deflúvio) após reclassificação.

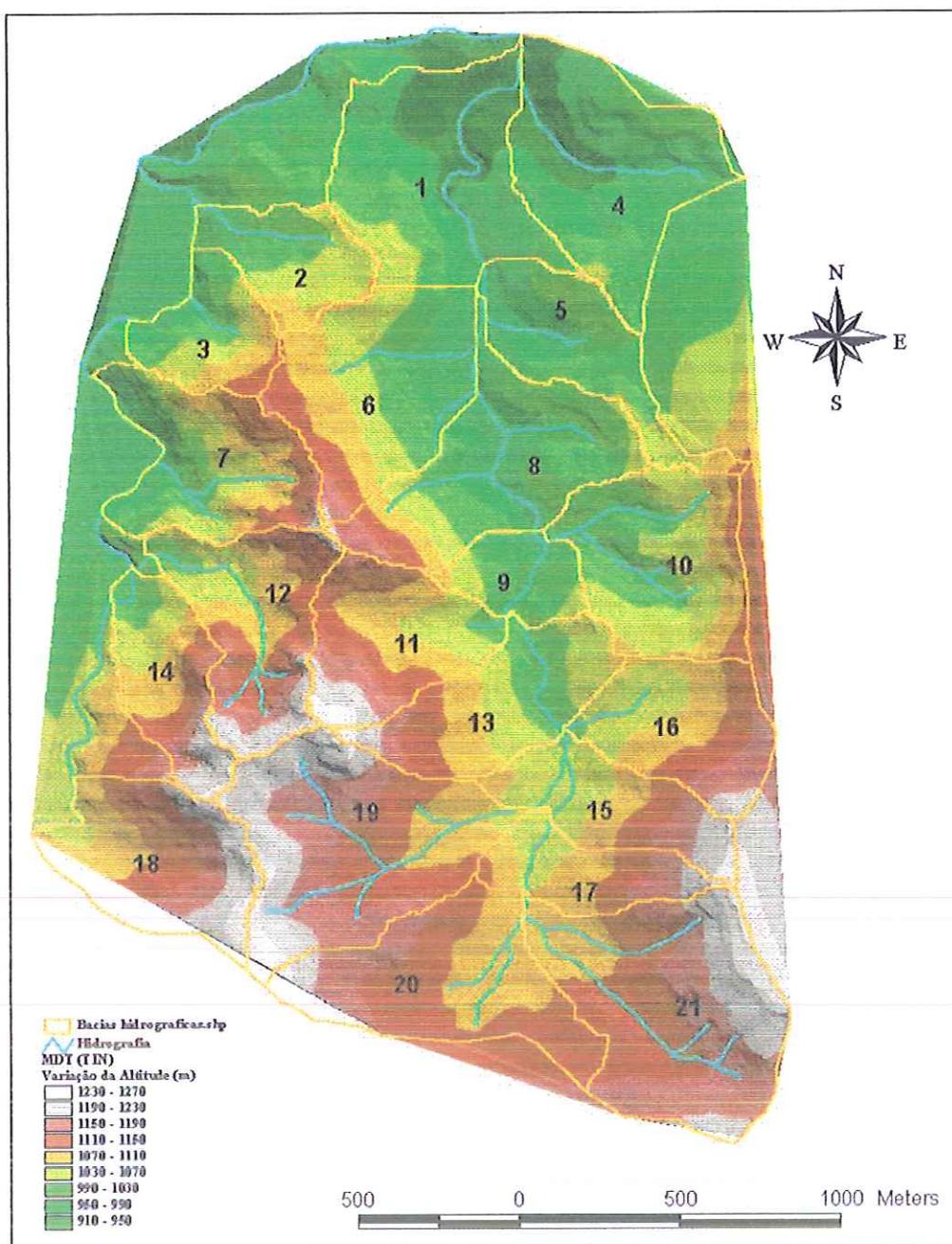


FIGURA 18 - Modelo hipsométrico com a hidrografia e as microbacias delimitadas.

Uma vez de posse dos valores de C e das intensidades, resta a determinação da área das micro-bacias para que se possa calcular as vazões máximas e totais. Para tal, utilizou-se o módulo de análise hidrográfica “Hydro” do ArcView, obtendo-se os resultados apresentados na TABELA 07.

TABELA 7 - Resultados tabulares obtidos pelo módulo de análise hidrográfica do ArcView.

Código da Bacia	Área (m ²)	Perímetro (m)	Comp. Bacia (m)	Fator de Forma	Altitude Média (m)	Declividade Média (%)
1	361.075	3.380	846	1,98	972,06	15,303
2	160.725	2.530	812	4,10	1.020,16	14,331
3	153.975	2.050	623	2,52	1.023,52	23,641
4	499.475	3.870	1.331	3,55	985,81	12,843
5	250.125	3.190	1.047	4,38	1.013,32	14,299
6	323.525	2.990	888	2,44	1.047,46	19,084
7	276.200	2.950	857	2,66	1.045,35	26,927
8	303.650	3.980	908	2,72	1.021,39	17,718
9	92.000	1.680	364	1,44	1.014,82	16,935
10	318.450	3.320	902	2,56	1.053,89	19,448
11	226.325	2.500	700	0,00	1.117,71	18,348
12	255.725	3.400	763	2,27	1.120,31	29,189
13	230.875	2.980	666	1,92	1.072,75	17,325
14	166.575	2.460	767	3,53	1.108,70	25,753
15	177.600	2.850	736	3,05	1.103,54	18,169
16	256.175	2.920	834	2,72	1.122,97	17,558
17	133.925	2.530	603	2,71	1.108,72	17,907
18	218.750	2.490	729	2,43	1.141,78	22,489
19	418.400	3.800	1.036	2,56	1.163,27	18,356
20	343.650	3.560	799	1,86	1.128,38	13,547
21	415.050	3.600	1.017	2,49	1.156,77	15,323

De posse dos valores da área de cada micro-bacia (TABELA 07) e da precipitação máxima para os vários Períodos de Retorno (TABELA 05), calcularam-se os Coeficientes de Deflúvio (C), apresentados na forma de valores médios para cada micro-bacia na Figura 12.

Com os valores da área, C e i, procedeu-se à elaboração das TABELAS 08, 09 e 10, para vazão máxima em cada micro-bacia para períodos de Retorno de 10, 100 e 500 anos.

Verifica-se da análise da distribuição de coeficiente de deflúvio que as micro-bacias a oeste da área, associadas ao rio Piracicaba apresentam valores elevados, principalmente devido às altas declividades. Ainda, vê-se que a micro-bacia 11, que drena para o córrego dos Macacos, possui o maior coeficiente de deflúvio devido adicionalmente ao tipo de vegetação de cerrado.

Estas informações são necessárias para o dimensionamento de estruturas de escoamento, tais como canaletas, caixa de passagem, dissipadores de energia, etc. São consideradas críticas as vazões maiores quando da implantação destas estruturas.

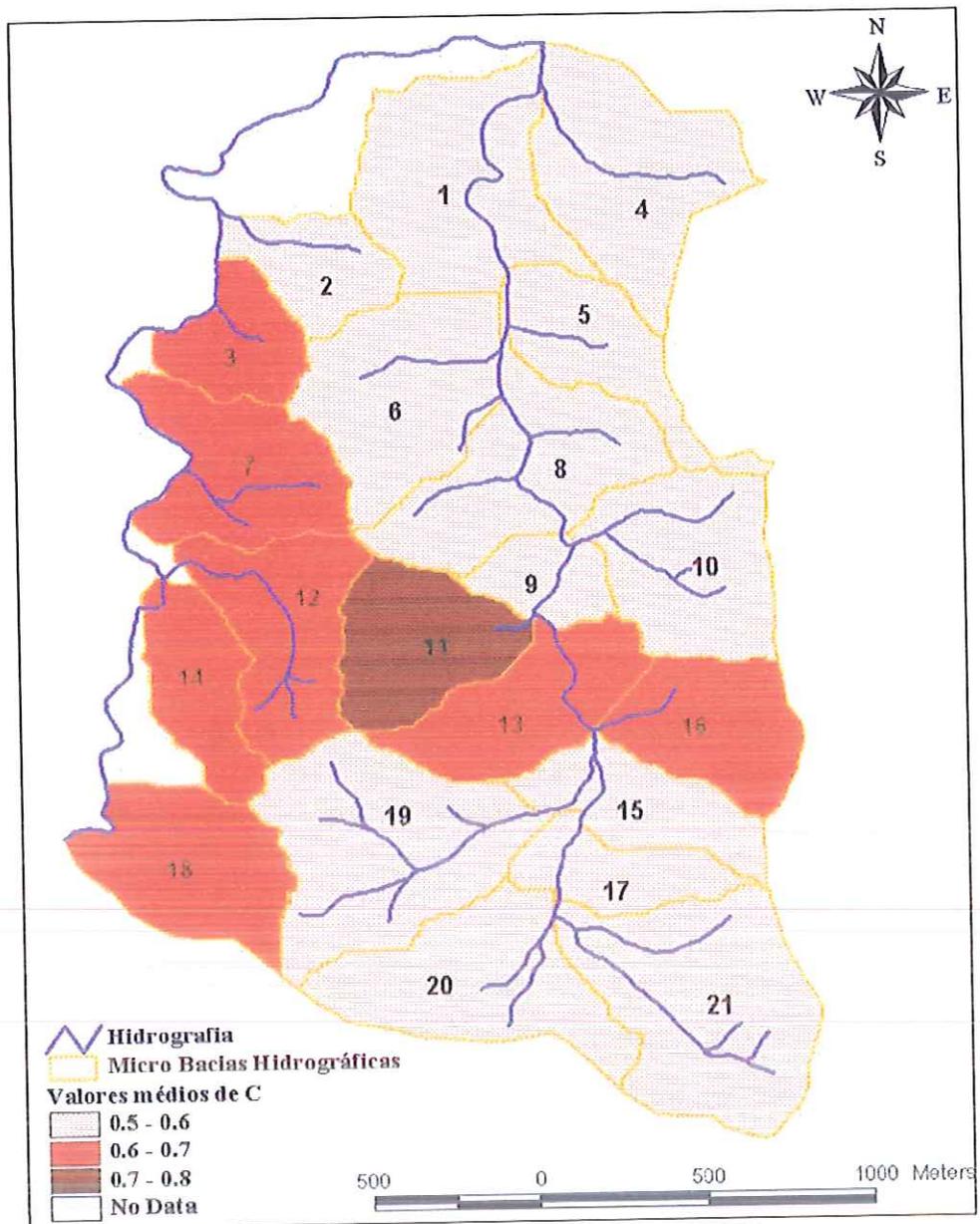


FIGURA 19 - Valores médios de C para cada microbacia.

TABELA 8 - Vazões máximas (m^3/s) para as micro-bacias, com
TR = 10 anos.

Micro Bacias	Vazões Máximas (m^3/s)		
	Duração da precipitação		
	10 min.	20 min.	30 min.
1	7,92	6,20	5,11
2	3,45	2,70	2,23
3	4,06	3,18	2,62
4	11,18	8,75	7,21
5	5,29	4,14	3,41
6	7,84	6,13	5,06
7	7,08	5,54	4,56
8	6,37	4,99	4,11
9	2,01	1,57	1,30
10	6,96	5,45	4,49
11	6,60	5,16	4,26
12	6,53	5,11	4,21
13	5,76	4,51	3,72
14	4,70	3,68	3,03
15	4,33	3,38	2,79
16	6,48	5,07	4,18
17	3,25	2,54	2,09
18	6,13	4,79	3,95
19	9,25	7,24	5,96
20	7,74	6,05	4,99
21	8,87	6,94	5,72
Média	6,28	4,91	4,05

No entanto, após início das atividades minerárias poderá haver alterações nos valores dos coeficientes de deflúvio devido às mudanças na cobertura do solo.

Tais alterações poderão ser tanto no sentido de aumentar estes coeficientes quanto reduzi-los dependendo do tipo de cobertura existente. Haverá aumento no caso de áreas florestadas mas, no caso das áreas de cerrado, poderá haver reduções devido ao aumento de infiltração em consequência da retirada da camada de canga.

Para análise da vulnerabilidade ao problema da drenagem, considerar-se-ão micro-bacias com valores de vazões máximas como sendo as mais críticas.

TABELA 9 - Vazões máximas (m^3/s) nas micro-bacias, com
TR = 100 anos.

Micro Bacias	Vazões Máximas (m^3/s)		
	Duração da precipitação		
	10 min.	20 min.	30 min.
1	11,14	8,71	7,19
2	4,86	3,80	3,13
3	5,71	4,46	3,69
4	15,73	12,29	10,15
5	7,44	5,82	4,80
6	11,03	8,62	7,12
7	9,95	7,78	6,43
8	8,97	7,01	5,79
9	2,83	2,21	1,83
10	9,79	7,65	6,32
11	9,28	7,25	5,99
12	9,19	7,18	5,93
13	8,11	6,34	5,23
14	6,61	5,17	4,27
15	6,08	4,76	3,93
16	9,11	7,13	5,88
17	4,56	3,57	2,95
18	8,62	6,74	5,56
19	13,00	10,17	8,39
20	10,88	8,51	7,02
21	12,47	9,75	8,05
Média	8,83	6,9	5,7

TABELA 10 - Vazões máximas (m^3/s) nas micro-bacias, com TR=500 anos.

Micro Bacias	Vazões Máximas (m^3/s)		
	Duração da precipitação		
	10 min.	20 min.	30 min.
1	12,36	9,66	7,98
2	5,39	4,21	3,48
3	6,34	4,95	4,09
4	17,45	13,64	11,27
5	8,26	6,45	5,33
6	12,24	9,56	7,90
7	11,05	8,63	7,14
8	9,95	7,77	6,43
9	3,14	2,45	2,03
10	10,86	8,49	7,02
11	10,3	8,05	6,65
12	10,2	7,97	6,59
13	9,00	7,03	5,81
14	7,33	5,73	4,74
15	6,75	5,27	4,36
16	10,12	7,90	6,53
17	5,07	3,96	3,27
18	9,56	7,47	6,18
19	14,43	11,28	9,32
20	12,07	9,43	7,80
21	13,84	10,81	8,94
Média	9,80	7,65	6,33

O cálculo dos volumes totais de água, utilizados no planejamento da drenagem para os cálculos das bacias de sedimentação, considerando durações de precipitação de 01, 02, 05, 15 e 30 dias, produziu os resultados apresentados na TABELA 11. Vê-se dos resultados desta tabela, que os volumes totais resultantes de precipitações de diversas durações, tendem aumentar sensivelmente até a duração de 15 dias, após a qual há pouco acréscimo no volume.

Deve-se observar que, na prática corrente de dimensionamento de bacias de sedimentação, utilizam-se os volumes decorrentes de durações de 24 horas ou 02 dias.

TABELA 11 - Volumes Totais (m³) nas micro-bacias, com TR = 500 anos.

Micro Bacias	Duração da precipitação				
	24 Horas	02 Dias	05 Dias	15 Dias	30 Dias
1	46.362	65.177	101.359	223.388	268.146
2	20.213	28.416	44.191	97.393	116.907
3	23.761	33.405	51.947	114.488	137.428
4	65.451	92.013	143.092	315.365	378.552
5	30.975	43.546	67.719	149.248	179.152
6	45.889	64.512	100.325	221.108	265.411
7	41.430	58.244	90.576	199.624	239.621
8	37.313	52.455	81.576	179.786	215.809
9	11.769	16.545	25.730	56.707	68.069
10	40.736	57.268	89.059	196.280	235.607
11	38.620	54.293	84.433	186.084	223.368
12	38.236	53.753	83.593	184.234	221.147
13	33.745	47.439	73.775	162.595	195.173
14	27.505	38.667	60.133	132.528	159.082
15	25.319	35.594	55.354	121.995	146.439
16	37.934	53.329	82.933	182.779	219.401
17	18.996	26.705	41.530	91.529	109.868
18	35.858	50.410	78.395	172.776	207.394
19	54.124	76.090	118.329	260.787	313.040
20	45.279	63.655	98.991	218.169	261.882
21	51.898	72.960	113.462	250.062	300.165

Organizando em ordem decrescente as micro-bacias com maiores valores de vazões máximas e volumes totais, obteve-se a tabela 12, onde se pode visualizar as micro-bacias de maior vulnerabilidade para com problemas relacionados à drenagem.

TABELA 12 - Micro-bacias com maiores potencialidades de apresentarem problemas à drenagem superficial (sentido decrescente da esquerda para a direita).

Duração da precipitação	Micro-bacia							
	04	19	21	01	06	20	07	Média *
10 min/TR=10 anos(m ³ /s)	11,18	9,25	8,87	7,92	7,84	7,74	7,08	6,28
24 h/TR=500 anos(m ³)	65.451	54.124	51.898	46.362	45.889	45.279	41.430	38.961
Diferença % em relação média	78	47	41	26	25	23	13	-

* Refere-se à média geral das 21 micro-bacias

Na TABELA 12, percebe-se que a micro-bacia 04 é a que apresenta a maior vulnerabilidade em relação à drenagem, uma vez que possui altos valores de vazões máximas e volumes totais, tendo valores quase duas vezes maiores (78%) do que a média dos valores apresentados pelas sete micro-bacias de maior vulnerabilidade.

Seguindo a ordenação das micro-bacias, em função dos valores apresentados de vazões máximas e volumes totais, obteve-se a TABELA 13, onde se apresentam as micro-bacias com os menores valores, sendo assim, as de menor vulnerabilidade de apresentarem problemas referentes à drenagem.

TABELA 13 - Micro-bacias com menores potencialidades de apresentarem problemas à drenagem superficial (sentido decrescente da esquerda para a direita).

Duração da precipitação	Micro-bacia							
	09	17	02	03	15	14	05	Média*
10 min / TR=10 anos	2,02	3,25	3,45	4,06	4,33	4,70	5,29	6,28
24 h / TR=500 anos	11.769	18.996	20.213	23.761	25.319	27.505	30.975	38.961
Diferença % em relação média	-68	-48	-45	-35	-31	-25	-16	-

* Refere-se à média geral das 21 micro-bacias

Quando se comparam as micro-bacias de menor e de maior vulnerabilidade, observa-se que a de menor vulnerabilidade é a micro-bacia 09 (TABELA 13), apresentando uma vazão máxima para precipitação de 10 minutos e tempo de retorno de 10 anos, igual a 2,02 m³/s e um volume total decorrente de uma precipitação de 24 horas e tempo de retorno de 500 anos de 11.769 m³, enquanto que, a de maior vulnerabilidade (TABELA 12) foi a micro-bacia 04, com uma vazão máxima de 11,18 m³/s e um volume total de 65.451 m³, ou seja, valores cerca de 6 vezes maiores do que a micro-bacia de menor vulnerabilidade.

Com base nos valores de vazões máximas e volumes totais, classificaram-se as micro-bacias em termos de diferentes graus de vulnerabilidade em relação a drenagem superficial (TABELA 14).

Tabela 14 - Vulnerabilidade das micro-bacias em relação à drenagem superficial.

Vulnerabilidade	Micro-Bacias
Muito Alta	04, 19 e 21
Alta	01, 02, 03, 05, 06, 07, 08, 09, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17 e 20
Média	13 e 18

A identificação da vulnerabilidade das micro-bacias obtida anteriormente é relevante tanto ao planejamento da drenagem superficial quanto a Recuperação de Áreas Degradadas, por serem áreas que requerem atenção especial com relação ao restabelecimento das condições propícias ao desencadeamento da sucessão ecológica, demonstrando a importância da abordagem holística e a consequente necessidade de integração do planejamento de lavra, drenagem e ambiental.

CAPÍTULO 06 - CONCLUSÕES

“Porque não ser moderno, não ser desenvolvido, não significa ser culturalmente pobre. Porque nós, os índios, nascemos com uma sabedoria, um conhecimento, também religioso e espiritual, e quando chegou a civilização nada disso teve valor ou sentido”. (Marcos Terena)

O objetivo proposto neste estudo, o uso do Sistema de Informações Geográficas como ferramenta de auxílio na Recuperação de Áreas Degradadas, foi alcançado e, ademais, permitiu identificar um paradigma mais adequado para a Recuperação de Áreas Degradadas, concluindo-se que a Recuperação de Áreas Degradadas não pode ser vista isoladamente, sendo uma dentre as várias dimensões da problemática sócio-ambiental.

O planejamento da Recuperação de Áreas Degradadas deverá se dar sob uma abordagem holística que considere outros aspectos além dos técnicos que tem sido empregados nos empreendimentos minerários para fazer face ao problema da drenagem das novas superfícies criadas. Do contrário, corre-se o risco de visualizar as causas como efeitos e obter soluções aparentemente eficientes no curto prazo, mas que podem falhar no médio e longo prazo, como demonstrado por alguns projetos de Recuperação de Áreas Degradadas no passado, a exemplo do paradigma do ‘Tapete Verde’ nas décadas de 70 e 80.

Em conseqüência, conclui-se que a Recuperação de Áreas Degradadas, dentro de uma abordagem holística, deverá buscar o restabelecimento das condições propícias para o desencadeamento da sucessão ecológica através da criação de nichos, via pequenas depressões no terreno, aliadas à divisão da energia das águas, promovendo a retenção da umidade, matéria orgânica, nutrientes e propágulos. O Sistema de Informações Geográficas, ao permitir o gerenciamento de qualquer variável espacial num mesmo sistema, representa uma ferramenta potencial para a abordagem holística da Recuperação de Áreas Degradadas.

No estudo de caso realizado nesta dissertação, o Sistema de Informações Geográficas propiciou a integração do planejamento da drenagem com a Recuperação de Áreas Degradadas ao permitir a visualização das áreas ou micro-bacias vulneráveis em

relação a um dos maiores problemas da atividade mineraria, a drenagem superficial, áreas críticas estas de relevância para a RAD.

Uma análise bibliográfica demonstrou que os estudos de Recuperação de Áreas Degradadas realizados nas últimas décadas tiveram um avanço considerável devido, em boa parte, ao apoio das empresas do setor mineral. No entanto, há necessidade de se realizarem estudos dirigidos à concretização das idéias e conceitos aqui expostos, surgidos junto à temática ambiental e que vem dando “novas luzes”, novas maneiras de se olhar a RAD.

Dentre estas novas propostas, a da transdisciplinaridade oferece potencial para se compreender melhor a Recuperação de Áreas Degradadas, ao propiciar uma integração entre conhecimentos científicos diversos e, ainda, entre estes e os saberes empíricos de populações tradicionais, no caso brasileiro principalmente o enorme manancial de conhecimentos indígenas ainda existentes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT, (1998) NBR 13030. **Reabilitação de Áreas Degradadas na Mineração**. Revisão 1998.
- ABREU, S. F. (1973) **Recursos Minerais do Brasil – Vol. II**. 2ª ed. São Paulo. Ed. Edgard Blücher, Ed. da Universidade de São Paulo. Rio de Janeiro, Instituto de Tecnologia, 1973.
- AB'SÁBER, A. N. (2000). **Incursões à Pré-História da América Tropical**. In: Mota, Carlos Guilherme (Org.). **Viajem Incompleta: A experiência brasileira (1500-2000)**. São Paulo. Ed. SENAC.
- ACOT, P. (1990) **História da Ecologia**. RJ. Ed. Campus. 1990.
- ALEGRE, H. K. P. (1994). **Evolução das Pesquisas em reabilitação de Áreas Degradadas na Mineração de Xisto no Brasil**. In: Anais do I Simpósio Sul-Americano e II Simpósio Nacional de Recuperação de Áreas Degradadas. Foz do iguaçu, PR.
- ALMEIDA, J. P. de. (1997). **Ciência e Meio Ambiente: A interdisciplinaridade na constituição do pensamento ecológico**. In: Revista de História Regional. Vol. 2. - nº 2 - Inverno 1997.
- ALVES FILHO, I. (1999). **Brasil, 500 Anos em Documentos**. Rio de Janeiro. Ed. Mauad.

- AQUINO, R. S. L. de, et al. (1999) **História das Sociedades: das sociedades modernas às sociedades atuais**. Ed. Record, RJ. 1999.
- AMLC (1998) – American Memory Library of Congress. **The Evolution of conservation movement 1850-1920**. Library of Congress. Disponível em: <http://www.loc.gov>. 1998.
- ANTONIL (1982). **Cultura e opulência do Brasil**. Belo Horizonte. Ed. Itatiaia; São Paulo, EDUSP. (a primeira edição é de 1711 e trechos podem ser encontrados na internet em: <http://www.madinfo.pt/organismos/ceha/sugar/acucar.html>).
- ARAÚJO, A. C. de e FERREIRA, J. C. N. (1997) **Inovações tecnológicas na lavra e no beneficiamento de minério de ferro**. In: VII Congresso Brasileiro de Mineração (EXPOSIBRAM 97). Belo Horizonte. XV 13-24p.
- BALENSIEFER, M. (1998). **Estado da arte em recuperação e manejo de áreas frágeis e/ou degradadas**. In: Recuperação e Manejo de Áreas Degradadas - Memória de WorkShop. Embrapa-CNPMA. SP, 70p.
- BALTAZAR, O, F. e RAPOSO, F. O. (Organizadores) (1993). **Programa levantamentos geológicos básicos do Brasil, Mariana – Folha SF.23-X-B-I, Estado de Minas Gerais**. Escala 1:100.000. Brasília. DNPM/CPRM. 196p.
- BARTH, R. C. (1989) **Avaliação da Recuperação de Áreas Mineradas no Brasil**. Instituto de Engenharia Florestal - IEF/UFV. Boletim Técnico, 1.
- BESWICK, B. L. STEEL, K. **Getting the Big Picture**. Canadian Mining Journal. 1997. 6–7p.
- BEVEN, K. J. e MOORE, I. D. (Editores) (1993) **Terrain Analysis and Distributed Modelling in Hydrology**. Advances in Hydrological Processes. John Wiley e Sons Ed. Inglaterra. 249p.
- BONHAM-CARTER, G. F. (1994) **Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS**. Elsevier Ed. Canada. 398p.

- BRANDT. (1997) **Relatório de controle ambiental e plano de controle ambiental. lavra e transporte de minério, Alegria E, Samarco.** Brandt Meio Ambiente. Belo Horizonte, 112p.
- BROWN, L. R. (2000) **O estado do planeta.** Relatório do Worldwatch Institute.
- BRÜSEKE, F. J. (1996) **Desestruturação e desenvolvimento.** In: Viola, E. e Ferreira, L. da C. (Orgs.). **Incertezas de Sustentabilidade na Globalização.** Editora da Unicamp.
- BUARQUE, C. (1990) **A desordem do progresso: o fim da era dos economistas e a construção do futuro.** São Paulo. Paz e Terra.
- BUENO, E. (1999) **Capitães do Brasil: A saga dos primeiros colonizadores.** Coleção Terra Brasilis Volume III. RJ. Ed. Objetiva.
- BURROUGH, P. A. e MCDONNELL, R., A. (1998). **Principles of geographical information systems.** Oxford University Press.
- CÂMARA, G. e MEDEIROS, J. S. de (Orgs.) (1998). **Geoprocessamento para projetos Ambientais.** 2ª Edição. INPE, São Jose dos Campos, SP.
- CAMPELLO, E. F. C. (1998) **Sucessão vegetal na recuperação de áreas degradadas.** In: **Recuperação de Áreas Degradadas.** Editado por Dias, L. E. e de Mello, J. W. V. Viçosa, MG: UFV. 1998. 251p.
- CAPRA, F. **O ponto de mutação.** Cultrix, SP. 1982.
- CAPRA, F. **A teia da vida: uma nova compreensão científica dos sistemas vivos (the web of life).** Editora Cultrix. São Paulo, 1996. 256p.
- CASQUET, R. Q. et al. **Planejamento de mina na Samarco Mineração S/A.** In: **WorkShop “Planejamento de Mina: Práticas e Experiências de Empresas de Mineração Brasileiras”, Módulo II.** IBRAM. 1995. 129-136p.

- CHRISTOFOLETTI, A. e TEIXEIRA, A. L. A. **Sistema de informação geográfica (dicionário ilustrado)**. São Paulo. Ed. Hucitec, São Paulo, 1997. 244p.
- CHRISTOFOLETTI, A. (1999). **Modelagem de sistemas ambientais**. Ed. Edgard Blücher, São Paulo, 236p.
- COELHO, H. et al. **Mina de alegria (porção ocidental). parte I – tipologia dos constituintes da jazida de ferro**. In: Revista Geociência Vol. 13.1 Jan-Jun 1994.
- COSTA, J. F., SAMPAIO, C. H. e VILHENA, M. T. **Digital terrain modelling (dtm) in environmental control projects**. Environmental Issues and Waste Management in Energy and Minerals Production, Singhal et al. (eds) 1992. Balkema, Rotterdam. 1299-1305p.
- CREMA, R. (1989). **Introdução à visão holística: breve relato de viagem do velho ao novo paradigma**. São Paulo. Summus.
- CROUZET, M. (Dir.). **História geral das civilizações**. Volumes IX, X, XI, XII e XIII. Bertrand Brasil, RJ. 1993.
- DEAN, W. (1996). **A ferro e fogo: a história e a devastação da Mata Atlântica brasileira**. SP. Companhia das Letras.
- DEBORD, G. (1997). **A sociedade do espetáculo**. Versão na Internet em: <http://www.terraviva.pt/IlhadoMel/1540/>
- DENSEREAU, P. (1998). **A ética ecológica e a educação para o desenvolvimento sustentável**. In: Ecologia Humana, Ética e Educação: A Mensagem de Pierre Dansereau. Vieira, P. V. e Ribeiro, A. (Orgs.). Editora Pallotti/APED, 1999.
- DESCARTES, R. (1973). **Discurso do método**. São Paulo: Abril Cultural. (Os Pensadores), p.71.
- DIAS, A. C. **Reabilitação de áreas mineradas de bauxita**. In: I Congresso Brasileiro de Mineração. IBRAN. Brasília. 1985.

- DLD – Department of Land Development (1999). **Meeting the challenges of land degradation in the 21st century**. In: 2nd International Conference on land Degradation. Tailândia. Disponível na Internet em <http://www.nhq.usda.gov/WSR/Landdeg/ld99.htm>
- DNPM – Departamento Nacional de Pesquisa Mineral. **Principais depósitos minerais do Brasil**. Vol. II – Ferro de Metais da Indústria do Aço. 1986. 50lp.
- DURIGAN, G. (1999). **Técnicas silviculturais aplicadas à restauração de ecossistemas**. In: I Simpósio sobre Restauração Ecológica de Ecossistemas Naturais. IPEF, ESALQ, USP. Piracicaba, SP.
- ENGEL, V. L. e PARROTTA, J. (1999). **Restauração x recuperação: tendências e perspectivas mundiais**. In: I Simpósio sobre Restauração Ecológica de Ecossistemas Naturais. IPEF/ESALQ, Piracicaba, SP.
- ESC-Consultoria e Engenharia. **Mina de Alegria: projeto de drenagem e controle de erosão/assoreamento na área da pilha de estéril do Córrego João Manoel**. Belo Horizonte, 1997.
- ESC-Consultoria e Engenharia. **Mina de Alegria: projeto executivo de dique de contenção de sedimentos da pilha pulmão**. Belo Horizonte, 1998.
- FERREIRA, C. A. G. et al. (1997) **Reabilitação de áreas mineradas de bauxita no planalto de Poços de Calda**. In: III Simpósio de Recuperação de Áreas Degradadas (SINRAD). UFV/SOBRAD. Viçosa, MG.
- FIGUEIREIDO-FERRAZ Consultoria e Engenharia de Projeto Ltda. **Projeto conceitual de drenagem superficial e controle de erosão e assoreamento da mina de Alegria**. Belo Horizonte, 1991. 36p.
- FRANCO, T. **Trabalho industrial e meio ambiente: a experiência do complexo industrial de camaçari**. In: MARTINE, G. (Org.). **População, meio ambiente e desenvolvimento**. Campinas, SP. Ed. Unicamp.
- FROMM, E. (1987) **Ter ou ser?**. Ed. Guanabara, RJ. 4^a Ed.

- GANDOLFI, E. e RODRIGUES, R. R (1996). **Recomposição de florestas nativas: algumas perspectivas metodológicas para o estado de São Paulo**. In: *Recuperação de Áreas Degradadas – III Curso de Atualização*. UFPR, Curitiba, Paraná. 1996. 141p.
- GEO (2000). **Global environmental outlook**. UNEP, ONU.
- GONÇALVES, C. W. P. (1998). **Os (des)caminhos do meio ambiente**. 6. ed. SP. Contexto (Temas Atuais)
- GRIFFITH, J. J.; DIAS, L. E. e JUCKSCH, I. (1994) **Novas estratégias ecológicas para a revegetação de áreas mineradas no Brasil**. In: *Anais do I Simpósio Sul-Americano e II Simpósio Nacional de Recuperação de Áreas Degradadas*. Foz do iguaçu, PR.
- GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. da (Orgs). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 2ª ed. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil, 1995. 472p.
- HADLEY, R. F. e TOY, T. J. **Geomorphology and reclamation of disturbed lands**. Academic Press. EUA. 1987. 480p.
-
- HOBBSAWN, E. (1995). **A era dos extremos: o breve século XX; 1914-1991**. SP. Companhia das Letras.
-
- HOGAM, D. J. (1993). **População, pobreza e poluição em Cubatão, São Paulo**. In: MARTINE, G. (Org.). *População, Meio Ambiente e Desenvolvimento*. Campinas, SP. Ed. Unicamp.
- JAROSZ, A. P. e PEETERS, S. J. C. L. **The use of geographical information systems in the integration and visualization of mining data**. *The Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*. 1996. 303–308p.
- JESUS, R. M. de (1994). **Revegetação: da teoria a prática técnicas de implantação**. In: *Anais do I Simpósio Sul-Americano e II Simpósio Nacional de Recuperação de Áreas Degradadas*. Foz do iguaçu, PR.

- JESUS, R. M. de (1997). **Restauração florestal na Mata Atlântica**. In: Anais do III Simpósio Nacional de Recuperação de Áreas Degradadas. SOBRADE/UFV. Viçosa, MG.
- JORDAM III, W. R. (1997) **Ecologia de restauração: reflexões sobre uma experiência de meio século no Arboreto da universidade de Wisconsin, Madison**. In: Wilson, E. O. Biodiversidade. RJ. Ed. Nova Fronteira.
- JORDAM III, W. R.; GILPIN, M. E. e ABER, J. D. (1992) **Restoration ecology: a synthetic approach to ecological research**. Cambridge University Press. 342p.
- KAGEYAMA, P. Y.; REIS, A. e CARPANEZZI, A. A. (1992) **Potencialidades e restrições da regeneração artificial na recuperação de áreas degradadas**. In: Anais do I Simpósio Nacional de Recuperação de Áreas Degradadas. Curitiba, PR.
- KISS, A. (1996) **Direito internacional do ambiente**. Centro de Estudos Judiciários, Lisboa. Disponível na internet em: http://www.diramb.gov.pt/data/basedoc/TXT_D_9211_1_0001.htm
-
- KNABE, W. (1992). **O desafio ecológico**. In: Anais do 2º Congresso Nacional sobre Essências Nativas – Conservação da Biodiversidade (Conferências Nobres). Revista do Instituto Florestal – Parte 1 – Edição Especial Vol. 4. São Paulo, SP.
- KOPEZINSKI, I. (1998). **Avaliação da degradação ambiental produzida por mineração no município de Poços de Caldas (MG) considerando procedimento de mapeamento geotécnico**. Dissertação de Mestrado. EESC/USP. São Carlos, SP.
- KOVARIK, B. (2000). **Environmental history timeline**. EUA. <http://www.runet.edu/~wkovarik/hist/hist.html>
- LAPAG (2000). **Pesquisa em Glaciologia no Âmbito do Programa Antártico**. Laboratório de Pesquisas Antártidas e Glaciológicas - Departamento de Geografia do Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul/UFRGS. (disponível na internet: http://www.mct.gov.br/clima/comunic_old/glacio01.htm)

- LIEBMANN, H. (1979). **Terra - um planeta inabitável? da antiguidade até os nossos dias toda a trajetória poluidora da humanidade.** Biblioteca do Exército Editora. Rio de Janeiro.
- LYLE JR, E. S. – **Surface mine reclamation manual.** Elsevier, New York. 1987. 268p.
- MACHADO, I. F. e FIGUEIRÔA, S. F. de M. (1999). **500 years of mining in Brazil: A brief review.** In: *Ciencia e Cultura - Journal of the Brazilian Association for the Advancement of Science.* Volume 51(3/4). Maio/Agosto, 1999.
- MARTINE, G. (1993b). **População, meio ambiente e desenvolvimento: o cenário global e nacional.** In: MARTINE, GEORGE (Org.). *População, Meio Ambiente e Desenvolvimento.* Campinas, SP. Ed. Unicamp
- MCNEILLY, T. (1996) **Evolutionary lessons from degraded ecosystems.** In: *Restoration Ecology – a Synthetic Approach to Ecological Research.* Jordam II, W. R. et al. (Editores). Cambridge University Press. 1996.
- NEVES, L. M. B. P dos e MACHADO, H. F. (2000). **O império do Brasil.** Ed. Nova Fronteira.
- ODUM, E. P. **Ecologia.** Editora Guanabara. Rio de Janeiro. 1988. 434p.
- PÁDUA, J. A. **500 anos de destruição ambiental no Brasil: uma lição a ser aprendida.** WWF-Brasil. Brasília, DF. 2000.
- PÁDUA, J. A. (1998). **A degradação do berço esplêndido - Um estudo da tradição original da ecologia política brasileira (1786-1888).** Tese de Doutorado. Complementação da entrevista ao *Jornal do Brasil.* In: *Pensamento Ecológico* (disponível na Internet)
- PELIZZOLI, M. L. **A emergência do paradigma ecológico: reflexões ético-filosóficas para o século XXI.** Petrópolis, RJ. Vozes, 1999.

- POSEY, D. A. (1983). **indigenous knowledge and development: an ideological bridge to the future**. In: *Ciência e Cultura*. Vol. 35, no. 07. SBPC.
- POSEY, D. A. (1984). **Os Kayapó e a natureza**. In: *Ciência Hoje* vol. 2, no. 12. SBPC.
- POSEY, D. A. e ANDERSON, A. B. (1987). **Reflorestamento indígena**. In: *Ciência Hoje* vol. 6, no. 31. SBPC.
- PRAD – plano de recuperação de áreas degradadas – Mina do Germano (1990)**.
Volumes I e II – Universidade Federal de Ouro Preto/Fundação Gorceix. Relatório Interno, Samarco Mineração S/A. 201p.
- SALUM, C. A. L. (1995) **Como viver no planeta azul**. In: *Ecologia: Qualidade de vida*. SECS, SP.
- SAMARCO. Relatório e plano de controle ambiental – Mina de Alegria**. Samarco Mineração S.A., MG. 1997. 48p.
- SANCHEZ, L. E. (1994) **Drenagem de minas a céu aberto**. In: *Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental. Controle Ambiental da Mineração. Parte de Monografia*. São Paulo, 1994. 48-62p.
- SAYER, D. (1993). **População e meio ambiente na Amazônia Brasileira**. In: MARTINE, GEORGE (Org.). *População, Meio Ambiente e Desenvolvimento*. Campinas, SP. Ed. Unicamp.
- SEITZ, R. A. (1994). **A regeneração natural na recuperação de áreas degradadas**. In: *Anais do I Simpósio Sul-Americano e II Simpósio Nacional de Recuperação de Áreas Degradadas*. Foz do iguaçu, PR.
- SCLIAR, C. (1996). **Geopolítica das minas do Brasil**. Rio de Janeiro. Ed. Revan.
- SILVA, D. J. da (1999). **O paradigma transdisciplinar: uma perspectiva metodológica para a pesquisa ambiental**. Workshop sobre interdisciplinaridade. INPE. São Jose dos Campos, SP. Disponível na internet em <http://www.cetrans.futuro.usp.br/artigos.html>

SILVA, P. N. N. da (2000). **D. Pedro I: o português brasileiro**. Ed. Forense. RJ.

SKIDMORE, T. E. (1998). **Uma história do Brasil**. Rio de Janeiro. Ed. Paz e Terra.

WEIL, P. **Organizações e tecnologias para o terceiro milênio: a nova cultura organizacional holística**. Ed. Rosa dos Tempos. Rio de Janeiro. 1993. 110p.

WILKEN, P. S. **Engenharia de drenagem superficial**. CETESB. São Paulo, 1978. 478p.

ZAMBERLAN, E. e VIANA, R. A. **Reabilitação de área minerada de xisto**. In: I Congresso Brasileiro de Mineração. IBRAN. Brasília. 1985.