
.Universidade Federal de São Carlos – UFSCar
Centro de Ciências Biológicas e da Saúde
Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais

**PROPOSTA METODOLÓGICA PARA SUBSIDIAR A DETERMINAÇÃO DO GRAU
DE IMPACTO AMBIENTAL EM EMPREENDIMENTOS MINERÁRIOS NA
REGIÃO DE DESCALVADO E ANALÂNDIA**

FABIO ENRIQUE TOREZAN

SÃO CARLOS
2005

Universidade Federal de São Carlos – UFSCar
Centro de Ciências Biológicas e da Saúde
Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais

**PROPOSTA METODOLÓGICA PARA SUBSIDIAR A DETERMINAÇÃO DO GRAU
DE IMPACTO AMBIENTAL EM EMPREENDIMENTOS MINERÁRIOS NA
REGIÃO DE DESCALVADO E ANALÂNDIA**

FABIO ENRIQUE TOREZAN

ORIENTADOR: PROF. DR. REINALDO LORANDI

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais do Centro de Ciências Biológicas e da Saúde da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências, área de concentração em Ecologia e Recursos Naturais.

SÃO CARLOS
2005

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária/UFSCar**

T693pm

Torezan, Fabio Enrique.

Proposta metodológica para subsidiar a determinação do grau de impacto ambiental em empreendimentos minerários na região de Descalvado e Analândia / Fabio Enrique Torezan. -- São Carlos : UFSCar, 2005.

149 p.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2005.

1. Impacto ambiental - avaliação. 2. Geoprocessamento. 3. Minas e recursos minerais. 4. Ecologia da paisagem. I. Título.

CDD: 363.7 (20^a)

*Para Valler & Laurinda,
dedico*

*Para Nicolas, Thommas & Isabela,
ofereço*

AGRADECIMENTOS

Agradeço especialmente ao Prof. Dr. Reinaldo Lorandi, pela orientação, amizade e confiança na minha capacidade para desenvolver um trabalho inédito e de certa forma polêmico. Ao Marco Antonio Albano Moreira, pelo apoio no Laboratório de Geociências. À equipe do Setor de Análise de Grau de Impacto Ambiental do IBAMA, pela troca de experiências sobre compensação e especialmente a Fernanda F.B. Bucci, pela amizade e sua dedicação em não deixar que a compensação vire uma simples moeda de troca. À Maria Eugênia Bruck de Moraes, Bernardo Teixeira, Osni Pejon e José Salatiel Rodrigues Pires, membros da banca examinadora, por suas valiosas críticas e sugestões. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro. E a todos aqueles que de uma forma ou de outra contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

1.	<i>Introdução & Objetivos</i> _____	2
2.	<i>Compensação ambiental: origens, aspectos legais e metodológicos</i> _____	7
	2.1. Âmbito Federal _____	7
	2.2. Âmbito Estadual _____	17
	2.2.1. Minas Gerais _____	17
	2.2.2. São Paulo _____	17
	2.2.3. Mato Grosso _____	18
	2.2.4. Rio Grande do Sul _____	18
	2.2.5. Ceará _____	18
	2.2.6. Bahia _____	19
	2.2.7. Santa Catarina _____	19
	2.3. Âmbito Internacional _____	20
	2.3.1. Holanda _____	20
	2.3.2. China _____	22
	2.3.3. Reino Unido _____	23
	2.3.4. Outros países _____	23
3.	<i>Metodologias de Avaliação de impacto ambiental e uso de geoprocessamento</i> _____	24
4.	<i>Impactos Ambientais da Mineração</i> _____	31
5.	<i>Proposta Metodológica</i> _____	42
	5.1. Diagnóstico ambiental da área de estudo _____	43
	5.2. Conversão das informações espaciais em indicadores de grau de impacto ambiental _____	44
	5.3. Determinação do valor percentual de compensação ambiental _____	45
6.	<i>Diagnóstico Ambiental da Área de Estudo</i> _____	46
	6.1. Localização _____	46
	6.2. Aspectos sócio-econômicos _____	47
	6.3. Unidades de Conservação _____	48
	6.4. Aspectos Cênicos _____	49
	6.5. Clima _____	49
	6.6. Hidrografia _____	52
	6.7. Hidrogeologia _____	53
	6.8. Mapa de Documentação _____	55
	6.9. Altimetria _____	57
	6.9.1. Modelo numérico do terreno _____	57
	6.9.2. Carta de declividades (clinometria) _____	59
	6.9.3. Modelo Ortogonal da Área de Estudo _____	60
	6.10. Geomorfologia _____	63
	6.11. Geologia _____	66
	6.11. Solos _____	70
	6.11.1. Latossolos _____	73
	6.11.2. Neossolos _____	74

6.11.3. Argissolos	76
6.11.4. Gleissolos	78
6.11.5. Nitossolos	79
6.12. Uso e Ocupação do Solo	79
6.13. Vegetação	86
6.13.1. Floresta Estacional Semidecidual	89
6.13.2. Floresta Estacional Semidecidual Submontana	89
6.13.3. Floresta Estacional Semidecidual Aluvial	90
6.13.4. Cerrado	90
6.13.5. Cerradão	91
6.14. Contextualização da mineração na área de estudo	92
7. Conversão das informações espaciais em indicadores de grau de impacto ambiental	98
7.1. Indicador de grau de impacto ambiental relacionado à erosão	99
7.1.1. Parâmetro Ambiental Declividade	102
7.1.2. Parâmetro Ambiental Litologia	104
7.1.3. Parâmetro Ambiental Erodibilidade	106
7.1.4. Grau de Impacto Ambiental Relacionado à Erosão	109
7.2. Indicador de grau de impacto ambiental relacionado à perda de biodiversidade	111
7.2.1. Parâmetro Ambiental Área dos Fragmentos	113
7.2.2. Parâmetro Ambiental Área Nuclear dos Fragmentos	119
7.2.3. Parâmetro Ambiental Isolamento dos Fragmentos	123
7.2.4. Parâmetro Ambiental Forma dos Fragmentos	126
7.2.5. Grau de Impacto Ambiental relacionado à Perda de Biodiversidade	129
7.3. Indicador de grau de impacto ambiental relacionado aos recursos hídricos	131
8. Análise Final do Grau de Impacto e Respectiva Compensação Ambiental	133
9. Conclusões e Recomendações	137
10. Referências Bibliográficas	140

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área de estudo (composição colorida LANDSAT ETM+, bandas 1, 2 e 3) e articulação da base cartográfica (Folhas Descalvado e Corumbataí, escala 1:50.000). _____	47
Figura 2. Foto tirada do topo do Morro do Cuscuzeiro, com vista para o município de Analândia e a Serra do Atalaia ao fundo (foto do autor). _____	49
Figura 3. Balanço hídrico normal mensal do Município de Descalvado. _____	50
Figura 4. Extrato do balanço hídrico mensal do Município de Descalvado. _____	50
Figura 5. Balanço hídrico normal mensal do Município de Analândia. _____	51
Figura 6. Extrato do balanço hídrico mensal do Município de Analândia. _____	52
Figura 7. Detalhe do Mapa de Vulnerabilidade e Risco de Poluição das Águas Subterrâneas da área de estudo. _____	54
Figura 8. Mapa de Documentação _____	56
Figura 9. Modelo Numérico do Terreno (altitudes em metros). _____	58
Figura 10. Distribuição relativa das classes hipsométricas na área de estudo. _____	59
Figura 11. Distribuição relativa das classes de declividade na área de estudo. _____	60
Figura 12. Carta de Declividades _____	61
Figura 13. Modelo Ortogonal Área de Estudo _____	62
Figura 14. Frente de cuesta da Serra do Cuscuzeiro (foto do autor) _____	64
Figura 15. Serra do Atalaia (foto do autor) _____	65
Figura 16. Morro do Camelo (primeiro plano) e Morro do Cuscuzeiro (foto do autor). _____	65
Figura 17. Serrote de Descalvado (foto do autor). _____	65
Figura 18. Distribuição relativa das formações geológicas de superfície. _____	67
Figura 19. Mapa de Formações Geológicas de Superfície _____	69
Figura 20. Distribuição relativa das classes de solo. _____	71
Figura 21. Mapa pedológico. _____	72
Figura 22. Distribuição relativa das classes de uso e ocupação do solo. _____	84
Figura 23. Carta de Uso e Ocupação do Solo _____	85
Figura 24. Grupos minerais em licenciamento na área de estudo (percentuais relativos à área total dos processos). _____	95
Figura 25. Mineração Descalvado (SMA/IG, 2002). _____	95
Figura 26. Mineração Jundu (foto do autor) _____	96
Figura 27. Gráfico representando a relação entre declividade e grau de impacto ambiental. ____	102
Figura 28. Espacialização do Parâmetro Ambiental Declividade. _____	103
Figura 29. Espacialização do Parâmetro Ambiental Litologia _____	105
Figura 30. Espacialização do Parâmetro Ambiental Erodibilidade. _____	108
Figura 31. Espacialização do grau de impacto ambiental relacionado à erosão. _____	110
Figura 32. Gráfico representando a relação entre área do fragmento e grau de impacto ambiental. _____	115
Figura 33. Percentual das classes de área relativo à área total dos fragmentos. _____	116

Figura 34. Número de fragmentos agrupados por classes de área (ha).	117
Figura 35. Espacialização do Parâmetro Ambiental Área dos Fragmentos.	118
Figura 36. Gráfico representando a relação entre área nuclear do fragmento e grau de impacto ambiental.	121
Figura 37. Espacialização do Parâmetro Ambiental Área Nuclear dos Fragmentos	122
Figura 38. Função aplicada para conversão da distância entre os fragmentos em grau de impacto ambiental.	124
Figura 39. Espacialização do Parâmetro Ambiental Isolamento dos Fragmentos.	125
Figura 40. Representação gráfica da função aplicada relacionando o fator forma com grau de impacto	127
Figura 41. Espacialização do Parâmetro Ambiental Forma dos Fragmentos	128
Figura 42. Espacialização do Grau de Impacto Ambiental relacionado à Perda de Biodiversidade.	130
Figura 43. Função adotada na conversão entre distância dos cursos d'água e grau de impacto ambiental.	131
Figura 44. Espacialização do indicador de grau de impacto ambiental relacionado aos recursos hídricos.	132
Figura 45. Histograma de distribuição dos valores de grau de impacto na área de estudo.	133
Figura 46. Carta Final de Grau de Impacto Ambiental	134
Figura 47. Conversão entre Grau de Impacto Ambiental e percentual de compensação.	135

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Dados climáticos do município de Descalvado (período de 1941 a 1970) _____	50
Tabela 2. Dados climáticos do município de Analândia (período de 1941 a 1970) _____	51
Tabela 3. Formações geológicas de superfície da área de estudo _____	66
Tabela 4. Quantificação das classes de solo da área de estudo _____	71
Tabela 5. Distribuição das classes de uso e ocupação do solo _____	86
Tabela 6. Processos de licenciamento mineral na área de estudo _____	94
Tabela 7. Valores de erodibilidade adotados _____	107
Tabela 8. Atribuição de pesos para análise do grau de impacto relacionado à erosão _____	109
Tabela 9. Número de fragmentos agrupados por classes de área _____	116
Tabela 10. Número de fragmentos com área nuclear agrupados por classes de área _____	120
Tabela 11. Atribuição de pesos para análise do grau de impacto relacionado à perda de biodiversidade _____	129
Tabela 12. Valores de Grau de Impacto e Compensação Ambiental dos Processos de Licenciamento Minerário _____	136

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1. Dados geo-econômicos das principais empresas produtoras de areia industrial da região de Descalvado-Analândia. _____	5
Quadro 2. Principais impactos da mineração no Brasil _____	34
Quadro 3. Principais alterações ambientais associadas à extração dos principais grupos de substâncias minerais, aos tipos de jazimentos e às formas de exploração observados na bacia do rio Mogi Guaçu. _____	38
Quadro 4. Pontuação dos atributos considerados na elaboração da carta de risco potencial à erosão (PEJON, 1992). _____	101
Quadro 5. Pontuação dos atributos do meio físico utilizados na classificação do potencial ao escoamento superficial (PEJON, 1992). _____	101
Quadro 6. Atribuição de valores ao potencial de escoamento superficial relacionado à litologia _____	104
Quadro 7. Escala de comparação pareada _____	109

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

APA	Área de Proteção Ambiental
APP	Área de Preservação Permanente
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
GI	Grau de Impacto
ha	hectare
IAC	Instituto Agronômico de Campinas
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IG	Instituto Geológico
RAS	Relatório Ambiental Simplificado
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SMA	Secretaria de Estado do Meio Ambiente (São Paulo)
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza

O presente trabalho propõe uma metodologia para subsidiar a análise do grau de impacto ambiental e respectivo cálculo de valores de compensação ambiental, conforme determina o Artigo 36 da Lei 9.985/2000. A pesquisa foi consolidada através de um estudo de caso na região de Descalvado e Analândia, interior do Estado de São Paulo, enfatizando empreendimentos de mineração. Através da aplicação de ferramentas de geoprocessamento, informações ambientais georreferenciadas são convertidas em indicadores de grau de impacto ambiental. Foram estabelecidos indicadores de grau de impacto relacionados à intensificação de processos erosivos, perda de biodiversidade e impactos sobre recursos hídricos. A metodologia proposta representa um importante instrumento de planejamento ambiental na avaliação de áreas prioritárias para conservação e também na análise de alternativas locais de empreendimentos sujeitos a licenciamento, sendo que sua aplicação não se limita apenas ao cálculo de valores de compensação. Os resultados mostraram que a área de estudo apresenta grande fragilidade ambiental, devido ao seu alto potencial de desencadeamento de processos erosivos e também por abrigar os fragmentos remanescentes de vegetação natural mais significativos em termos de biodiversidade, recomendando-se a criação de uma Unidade de Conservação.

Palavras-chave: avaliação de impacto ambiental, compensação ambiental, mineração, unidades de conservação, sistemas de informação geográfica, ecologia da paisagem, erosão.

ABSTRACT

This paper has the main objective of proposing methodological procedures for the analysis of the environmental impact degree and respective compensation calculation, in accordance with the Article 36 of Law 9.985. The research was consolidated through a case study specifically applied for the analysis of mining enterprises, in the region of Descalvado and Analândia, São Paulo State, Brazil. Through the application of geoprocessing tools, environmental information were converted into environmental impact degree indicators, related mainly to the intensification of erosive processes, biodiversity loss and impacts on the hydrological resources. The present methodological proposal represents an important instrument of environmental management for the assessment of conservation priorities and alternatives for location of enterprises. The results showed that the region of Descalvado and Analândia presents high environmental fragility, due to its high potential to cause erosion and also due to their fragments of natural vegetation. It was proposed the creation of an Protected Area.

Key words: environmental impact assessment, environmental compensation, mining, protected area, geographic information system, landscape ecology, erosion.

"Como é que se pode comprar ou vender o céu, o calor da terra? Essa idéia nos parece estranha. Se não possuímos o frescor do ar e o brilho da água, como é possível comprá-los? O Grande Chefe diz que nos reservará um lugar onde possamos viver satisfeitos. Portanto, nós vamos considerar sua oferta de comprar nossa terra. Mas isso não será fácil. Esta terra é sagrada para nós".

Trechos da **CARTA DO CHEFE SEATTLE**, de 1854, em resposta à proposta do Presidente dos Estados Unidos, que pretendia comprar grande parte de suas terras, oferecendo, em contrapartida, a concessão de uma outra "reserva".

1. INTRODUÇÃO & OBJETIVOS

"A idéia de 'compensar' as conseqüências prejudiciais é interessante, mas perigosa. A compensação pode ser técnica ou financeira. Pode ser a instalação de uma cortina de árvores para esconder uma fábrica e atenuar o atentado à paisagem, o financiamento de uma represa, de um criadouro de peixes, de uma reserva natural para compensar a destruição de um espaço frágil ecologicamente. Há então uma espécie de comércio, que consiste em oferecer às populações concernentes uma contrapartida, que fará psicologicamente aceitar o projeto. É nisto que a compensação é perigosa. A proteção do ambiente aí raramente encontra seu valor e o procedimento passa a ser mais um meio de comprar o direito de poluir ou de destruir um ecossistema. Dessa forma, poder-se-á justificar qualquer projeto, mesmo aquele que mais destrua o meio natural, porque será sempre possível compensar noutro lugar ou de outra maneira".

MICHEL PRIEUR, 1984

Atualmente os mecanismos de compensação ambiental têm sido alvo de um amplo debate em vários segmentos da sociedade brasileira, incluindo os setores governamentais, empreendedores e a sociedade civil. Por um lado, a compensação ambiental é uma das formas de se atender ao princípio da responsabilidade objetiva ambiental (art. 14, § 1º da Lei 6.938/81). De outro, questiona-se até que ponto determinados impactos ambientais ou mesmo a eliminação de um ecossistema poderia ser efetivamente “compensado”.

Desta forma, nada melhor do que citarmos PRIEUR (1984) para introduzir este trabalho e ao mesmo tempo enfatizar que nem tudo pode ser compensado e a compensação, pura e simplesmente, nunca poderá ser utilizada para aprovar ou aceitar todo e qualquer projeto, atividade ou empreendimento.

COWELL (1997) afirma que organizações ambientais têm sido extremamente cautelosas ao limitarem as circunstâncias em que medidas compensatórias poderiam legitimizar danos às qualidades ambientais, particularmente no que diz respeito a questões relacionadas a biodiversidade. É argumentado que muitos habitats “semi-naturais” não podem ser adequadamente compensados devido ao deficiente entendimento da complexidade dos processos ecológicos e aos problemas técnicos e de manejo de se substituir assembléias de espécies em escalas de tempo relevantes.

O termo “*compensação ambiental*” abordado no presente trabalho refere-se exclusivamente à obrigação de se apoiar a implantação e manutenção de Unidades de Conservação, aplicável a

empreendimentos de significativo impacto ambiental, de acordo com o Artigo 36 da Lei 9.985, de 18 de julho de 2000, também conhecida como Lei do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), a qual teve vários artigos regulamentados pelo Decreto Federal 4.340, de 22 de agosto de 2002. Nota-se que o termo “*compensação*” só é citado no último parágrafo do Artigo 36, o que acabou gerando dúvidas sobre outras formas de compensação financeira previstas em outras leis.

Esta observação é bastante relevante, já que no próximo capítulo discute-se a definição de compensação, a qual confunde-se até mesmo com o termo “*mitigação*”. Dentro deste contexto, vale ressaltar que o art. 36 da lei do SNUC estabelece que a compensação será obrigatória para “*empreendimentos de significativo impacto ambiental*” e que “*o montante de recursos a ser destinado pelo empreendedor para esta finalidade não pode ser inferior a meio por cento dos custos totais previstos para a implantação do empreendimento, sendo o percentual fixado pelo órgão ambiental licenciador, de acordo com o grau de impacto ambiental causado pelo empreendimento*”.

Desta forma, atribui-se ao órgão ambiental licenciador a complexa tarefa de se avaliar o “*grau de impacto ambiental causado pelo empreendimento*” e a partir daí definir o percentual de compensação ambiental. Segundo MACHADO (2001), “*aplicando-se os princípios fundamentais de legalidade, impessoalidade, moralidade, publicidade e eficiência, a que está sujeita a Administração Pública direta, indireta ou fundacional (Art. 37, caput, da Constituição Federal), não é possível ao órgão licenciador agir arbitrariamente. Para dispensar o dever de compensar os danos causados pela destruição de florestas ou outros ecossistemas, é preciso fundamentar exaustivamente. Na dúvida, com precaução, deve-se optar pela obrigação de compensar*”.

Afirma ainda, que, “*a fixação dos termos da compensação não é assunto secreto e/ou confidencial entre órgão público ambiental e empreendedor. Todos os cidadãos e as organizações não governamentais têm direito de exigir integral informação sobre os critérios observados na compensação*” (MACHADO, 2001).

A grande questão colocada pela lei 9.985/2000 é que nem todos os empreendimentos devem pagar o mesmo valor de compensação, pois este valor dependerá do “*grau de impacto ambiental*” causado pelo empreendimento. Esta lei estabeleceu um valor mínimo de 0,50% dos custos totais previstos para a implantação do empreendimento, mas não menciona como se deve quantificar o “*grau de impacto ambiental*”, nem mesmo define o que é “*grau de impacto ambiental*”.

Como veremos no capítulo seguinte, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) já desenvolveu e vem aplicando uma metodologia específica para avaliação do “*grau de impacto ambiental*” e respectiva compensação de empreendimentos em licenciamento. Trata-se de uma iniciativa inédita e inovadora, pois a partir dos estudos ambientais apresentados no processo de licenciamento, atribui-se valores quantitativos a indicadores de grau de

impacto ambiental, resultando em um valor percentual de compensação ambiental. Tais indicadores são padronizados de acordo com o tipo de empreendimento a ser analisado. As fontes de informação disponíveis para a realização desta avaliação constituem-se em um fator limitante, já que a análise deverá ser realizada a partir dos estudos ambientais, entre eles os Estudos de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA).

Segundo ANTUNES *et al.* (2001), a avaliação da significância dos impactos tem sempre uma dimensão subjetiva, resultante da integração dos valores, experiências e conhecimento dos diferentes atores envolvidos na avaliação. Embora a subjetividade não possa ser completamente eliminada, os resultados de uma avaliação podem se tornar mais confiáveis se eles forem obtidos através da aplicação de metodologia previamente definida, com critérios de avaliação claramente definidos, fazendo uso das informações geradas nos estudos ambientais.

Qualquer metodologia de avaliação de impactos ambientais pressupõe a análise de uma grande quantidade de informações, abrangendo aspectos do meio físico, biótico e socioeconômico de determinada região bem como as características do empreendimento que está sendo avaliado. Neste contexto, a aplicação de ferramentas de geoprocessamento possibilita uma maior agilidade, rapidez e precisão na análise da informação.

Indicadores de impacto associados principalmente ao meio físico são apresentados em estudos de impacto ambiental na forma de mapas analógicos, dificultando uma análise quantitativa dos mesmos. Recentemente alguns poucos estudos vem sendo apresentados no formato digital, direcionando para uma nova forma de análise de impactos ambientais através do uso de geoprocessamento.

Da mesma forma que tal procedimento vem sendo utilizado na análise da viabilidade ambiental de determinado empreendimento, a análise do grau de impacto ambiental e respectivo cálculo de compensação ambiental poderá se tornar mais prática e precisa com o uso de ferramentas de geoprocessamento.

Dada a natureza espacial de muitos impactos ambientais, Sistemas de Informações Geográficas podem ter uma ampla aplicação em todos os estágios do processo de avaliação de impactos, atuando como uma ferramenta integradora para a totalidade do processo, desde a geração, armazenamento e visualização da informação temática relativa à vulnerabilidade/sensibilidade dos recursos afetados, até a previsão de impactos e finalmente a sua avaliação como suporte à tomada de decisões (ANTUNES *et al.*, 1996).

A atual metodologia de análise de grau de impacto ambiental desenvolvida pelo IBAMA não utiliza ferramentas de geoprocessamento. Sendo assim, o presente trabalho tem o objetivo principal de desenvolver procedimentos metodológicos para a análise do grau de impacto ambiental

e respectivo cálculo de compensação através da aplicação de ferramentas de geoprocessamento. A pesquisa será consolidada através de estudo de caso aplicado especificamente para a análise de empreendimentos de mineração de areia, na região de Descalvado/Analândia, no interior do Estado de São Paulo.

A região de Descalvado/Analândia (SP) tem se destacado pelo seu grande potencial de exploração mineral de areia, sendo que as três maiores jazidas de areia industrial do Estado de São Paulo e também a maior do país, estão inseridas na área de estudo proposta. A geologia local desses depósitos é similar, estando representada por uma Cobertura Cenozóica (Formação Santa Rita do Passa Quatro), capeando sedimentos das formações Pirambóia e Botucatu (FERREIRA & DAITX, 1997). O Quadro 1 descreve algumas características dessas mineradoras.

Por outro lado, esta região também se destaca pela sua grande fragilidade ambiental representada pela presença de remanescentes de vegetação natural de cerrado e floresta estacional semidecidual, além de relevos testemunhos (*cuestas*), o que motivou o estabelecimento de uma APA Estadual (APA de Corumbataí, Botucatu e Tejuapá), uma APA Municipal (APA de Descalvado) e um Parque Municipal (Analândia) na região. Esses remanescentes sofrem uma grande pressão de substituição por outras atividades antrópicas como a ocupação agrícola e a própria expansão de atividades de exploração mineral.

Quadro 1. Dados geo-econômicos das principais empresas produtoras de areia industrial da região de Descalvado-Analândia.

<i>Empresa</i>	<i>Início das atividades</i>	<i>Produção média mensal (1994)</i>	<i>Método de lavra</i>	<i>Beneficiamento</i>	<i>Reservas (t) (medida, ano base 1994)</i>	<i>Uso da areia</i>
Mineração Jundu	1963	100.000 t	Bancadas	Lavagem/classificação	43 x 10 ⁶	Vidro, fundição, fibra de vidro e química
Mineração Descalvado Ltda.	1985	20.000 t	Bancadas	Lavagem/classificação	7,5 x 10 ⁶	Vidro, fundição e argamassa
Sibelco Mineração Ltda. ¹	1980	75.000 t	Bancadas	Lavagem/classificação/flotação	102 x 10 ⁶	Fundição e vidro

Fonte: Ferreira & Daitx, 1997.

Desta forma, os objetivos do presente trabalho são:

- Proposição de um método para análise do grau de impacto ambiental e respectivo cálculo de valores de compensação ambiental para empreendimentos minerários, através da aplicação de ferramentas de geoprocessamento;
- Proposição de indicadores de grau de impacto ambiental associados a empreendimentos de mineração na região de Descalvado/Analândia;

¹ Recentemente a Sibelco Mineração foi incorporada pela Mineração Jundu.

A estrutura do presente trabalho será apresentada na forma de capítulos temáticos. O presente capítulo (Capítulo I) introduz a temática da pesquisa bem como seus objetivos e justificativas. O Capítulo II relata as origens e definições do termo compensação ambiental, apresentando o estado da arte sobre o tema no âmbito federal, estadual e internacional, enfatizando as normas legais e metodologias existentes.

O Capítulo III faz uma revisão sobre técnicas de avaliação de impacto ambiental, enfatizando a utilização de ferramentas de geoprocessamento. O Capítulo IV faz uma revisão sobre impactos ambientais na mineração. O Capítulo V descreve a metodologia proposta, especificando procedimentos e materiais a serem utilizados, bem como os produtos a serem gerados.

O Capítulo VI aplica a metodologia proposta através de um estudo de caso na região de Descalvado-Analândia, com ênfase nos empreendimentos de mineração de areia, resultando na caracterização e diagnóstico ambiental da área de estudo e apresentando produtos cartográficos básicos e intermediários que darão suporte aos produtos finais.

O Capítulo VII aplica a proposta metodológica para determinação do grau de impacto ambiental na área de estudo, resultando na Carta Final de Grau de Impacto Ambiental apresentada no Capítulo VIII. Finalmente, o Capítulo IX apresenta conclusões e recomendações sobre a metodologia proposta.

2. COMPENSAÇÃO AMBIENTAL: ORIGENS, ASPECTOS LEGAIS E METODOLÓGICOS

Compensar [Do lat. *compensare*] **v. t. d. 1.**
Estabelecer equilíbrio entre;
contrabalançar, equilibrar **2.** Reparar o
dano, incômodo, etc., resultante de;
contrabalançar, contrapesar. (...) **6.**
Reparar (um mal) com um bem correspondente;
indenizar, ressarcir, recompensar.

(FERREIRA, 1999)

O presente capítulo pretende resgatar as origens da compensação ambiental, normas legais existentes e metodologias já desenvolvidas nos âmbitos federal, estadual e internacional. No contexto nacional, as informações compiladas aqui são resultantes de consultas à Legislação Federal e Estadual, bem como consultas aos órgãos licenciadores. Já no âmbito internacional, as informações foram obtidas através de artigos científicos, o que de certa forma limitou a quantidade de informações disponíveis, devido à dificuldade de obtenção de normas legais dos outros países que aplicam mecanismos de compensação ambiental.

GELUDA & YOUNG (2004) definem compensação ambiental como *“uma forma de indenização de dano potencial ou efetivo causado por atividades de relevante impacto ao meio ambiente. E dessa forma pode atuar como uma forma de conciliar o desenvolvimento socioeconômico com a preservação ecológica, operando como um instrumento para o desenvolvimento sustentável. Mas para isso é essencial que exista um equilíbrio econômico-ambiental, onde não se estabeleçam valores de compensação que inviabilizem projetos realmente necessários e onde não se permita um desenvolvimento com grande degradação, mesmo acompanhado de compensação ecológica”*.

2.1. ÂMBITO FEDERAL

A Lei Federal nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, instituiu a Política Nacional do Meio Ambiente, a qual *“tem por objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no País, condições ao desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana...”* (Artigo 2º).

O Artigo 9º definiu os instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente, destacando-se, no âmbito deste trabalho, os seguintes instrumentos:

“III - a avaliação de impactos ambientais;

VI - a criação de espaços territoriais especialmente protegidos pelo Poder Público Federal, Estadual e Municipal, tais como áreas de proteção ambiental, de relevante interesse ecológico e reservas extrativistas;

IX - as penalidades disciplinares ou compensatórias ao não cumprimento das medidas necessárias à preservação ou correção da degradação ambiental.”

Desta forma, pode-se apreender que o termo compensação originou-se da referida Lei da Política Nacional do Meio Ambiente, destacando-se a citação, em forma literal, de “*penalidades disciplinares ou compensatórias*”.

Posteriormente, em 1987, o Conselho Nacional do Meio Ambiente publicou a Resolução CONAMA 010/1987, representando uma interface entre os três instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente citados anteriormente. Esta Resolução determinou em seu Artigo 1º que “*Para fazer face à reparação dos danos ambientais causados pela destruição de florestas e outros ecossistemas, o licenciamento de obras de grande porte, assim considerado pelo órgão licenciador com fundamento no RIMA terá sempre como um dos seus pré-requisitos, a implantação de uma Estação Ecológica pela entidade ou empresa responsável pelo empreendimento, preferencialmente junto à área*”.

Destaca-se nesta Resolução que o mecanismo de compensação restringia-se especificamente à reparação de danos ambientais causados pela destruição de florestas e outros ecossistemas, atribuindo a aplicação da mesma a “*obras de grande porte*” e não fazendo menção a uma possível avaliação quantitativa de impactos. Isto refletia a noção comum na época, e muitas vezes mantida até hoje, de que grandes obras causam “grandes impactos”, o que nem sempre é verdadeiro.

Entretanto, não existia na época nenhuma norma definindo o que seria uma “obra de grande porte”, cabendo ao órgão licenciador definir a aplicabilidade desta resolução, sempre com fundamento no “RIMA” apresentado.

Destaca-se ainda que a destruição de florestas e outros ecossistemas seriam compensados exclusivamente através da criação e manutenção de uma categoria de unidade de conservação específica – a Estação Ecológica. Esta unidade deveria ser implantada pela entidade ou empresa responsável pelo empreendimento, preferencialmente junto à área.

A categoria de unidade de conservação denominada “Estação Ecológica” foi originalmente legalizada através da Lei Federal nº 6.902, de 27 de abril de 1981, onde o artigo 1º as definia como

sendo “*áreas representativas de ecossistemas brasileiros, destinadas à realização de pesquisas básicas e aplicadas de Ecologia, à proteção do ambiente natural e ao desenvolvimento da educação conservacionista*”.

Uma das eventuais dificuldades de atendimento à Resolução CONAMA 010/1987 poderia advir do fato de que em determinados casos, nas áreas próximas ao empreendimento, já não mais existissem áreas representativas de ecossistemas brasileiros adequadas para a implantação de uma Estação Ecológica.

MACHADO (1992) afirma que “*a resolução não explícita, mas se pode deduzir que se ‘a entidade ou a empresa responsável pelo empreendimento’ for de natureza privada, ela deverá doar a área para a criação da Estação Ecológica. Assim, entendemos porque não existe Estação Ecológica privada. Caso entenda-se o contrário, não vemos como criar-se a Estação Ecológica*”.

Outra definição importante da Resolução citada foi o valor mínimo de 0,5% dos custos totais previstos para a implantação dos empreendimentos como forma de compensação, ressaltando-se que se trata de um valor mínimo e que o mesmo deve ser proporcional ao dano ambiental a ressarcir.

A seguir, reproduz-se os artigos 1º e 2º da Resolução CONAMA 010 de 3 de dezembro de 1987:

“Art. 1º - Para fazer face à reparação dos danos ambientais causados pela destruição de florestas e outros ecossistemas, o licenciamento de obras de grande porte, assim considerado pelo órgão licenciador com fundamento no RIMA terá sempre como um dos seus pré-requisitos, a implantação de uma estação Ecológica pela entidade ou empresa responsável pelo empreendimento, preferencialmente junto à área.

Art. 2º - O valor da área a ser utilizada e das benfeitorias a serem feitas para o fim previsto no artigo anterior, será proporcional ao dano ambiental a ressarcir e não poderá ser inferior a 0,5% (meio por cento) dos custos totais previstos para a implantação do empreendimento.”

Esta norma foi revogada pela Resolução CONAMA 02/1996, em 18 de abril de 1996. Esta nova resolução manteve a finalidade de “*reparação dos danos ambientais causados pela destruição de florestas e outros ecossistemas*”, não se referindo mais a “*obras de grande porte*” mas sim a “*empreendimentos de relevante impacto ambiental*”. Isto representa uma evolução, pois, desta forma, a resolução não se limita a obras de grande porte, mas é aplicável a todo e qualquer empreendimento causador de relevante impacto ambiental.

Esta nova Resolução atribuiu ao órgão ambiental a competência de classificar determinado empreendimento como de “relevante impacto ambiental”, devendo esta classificação ser fundamentada no EIA/RIMA. Outra inovação foi o fato de não limitar a aplicação da compensação a Estações Ecológicas, mas sim a unidades de conservação de domínio público e uso indireto, apesar de dar preferência às Estações Ecológicas, além de possibilitar a aplicação de recursos em unidades já existentes e dando preferência a unidades localizadas na região do empreendimento, visando a preservação de amostras representativas dos ecossistemas afetados.

A seguir, reproduz-se os artigos 1º e 2º da Resolução CONAMA 02 de 18 de abril de 1996:

“Art. 1º Para fazer face à reparação dos danos ambientais causados pela destruição de florestas e outros ecossistemas, o licenciamento de empreendimentos de relevante impacto ambiental, assim considerado pelo órgão ambiental competente com fundamento no EIA/RIMA, terá como um dos requisitos a serem atendidos pela entidade licenciada, a implantação de uma unidade de conservação de domínio público e uso indireto, preferencialmente uma Estação Ecológica, a critério do órgão licenciador, ouvido o empreendedor.”

§ 1º Em função das características da região ou em situações especiais, poderão ser propostos o custeio de atividades ou aquisição de bens para unidades de conservação públicas definidas na legislação, já existentes ou a serem criadas, ou a implantação de uma única unidade para atender a mais de um empreendimento na mesma área de influência.

§ 2º As áreas beneficiadas dever-se-ão se localizar, preferencialmente, na região do empreendimento e visar basicamente a preservação de amostras representativas dos ecossistemas afetados.

Art. 2º O montante dos recursos a serem empregados na área a ser utilizada, bem como o valor dos serviços e das obras de infra-estrutura necessárias ao cumprimento do disposto no artigo 1º, será proporcional à alteração e ao dano ambiental a ressarcir e não poderá ser inferior a 0,50% (meio por cento) dos custos totais previstos para implantação do empreendimento.”

Depois de mais de quatro anos, o mecanismo de compensação ambiental ganhou força de Lei Federal, com a publicação da Lei nº 9.985 em 18 de julho de 2000, a qual definiu, em seu Artigo 36, normas para a compensação. Desta vez, a norma não se limitou a danos causados pela destruição de florestas e outros ecossistemas, mas englobou todo e qualquer empreendimento de

“significativo impacto ambiental, assim considerado pelo órgão ambiental competente, com fundamento em estudo de impacto ambiental e respectivo relatório – EIA/RIMA”.

Não há mais menções a respeito da preferência por determinada categoria de Unidade de Conservação, como as Estações Ecológicas, mas sim a unidades do Grupo de Proteção Integral, as quais são definidas em outros artigos da mesma Lei. Entretanto, quando o empreendimento afetar unidade de conservação específica ou sua zona de amortecimento, a unidade afetada, mesmo que não pertencente ao Grupo de Proteção Integral, deverá ser uma das beneficiárias da compensação.

Manteve-se ainda o valor mínimo de compensação correspondente a 0,50% dos custos totais previstos para implantação do empreendimento, sendo o percentual fixado pelo órgão ambiental licenciador, de acordo com o grau de impacto ambiental causado pelo empreendimento.

CARVALHO (2004) afirma que *“o parâmetro da magnitude dos impactos, bem como do percentual mínimo de 0,50 % dos custos de implantação do empreendimento como referência, não constituem novidades introduzidas pela Lei do SNUC. Por outro lado, é inegável o avanço representado por seu advento ao estipular-se que a unidade afetada, qualquer que seja sua categoria, seja beneficiária dos recursos oriundos da compensação ambiental”.*

Afirma ainda que *“o caput do art. 36 ... poderia ensejar a duvidosa interpretação de que todo e qualquer projeto para o qual fosse exigida a elaboração de EIA/RIMA incidiria na obrigação de destinar soma vultuosa a ser destinada a Unidade de Conservação. ... tal redação poderia até mesmo pôr em xeque a credibilidade do instituto da compensação ambiental, que na realidade constitui um dos instrumentos mais relevantes para a conservação da biodiversidade no Brasil. A compensação poderia passar a ser vista como um custo a mais do processo de licenciamento, com função meramente arrecadatória, e até mesmo como uma ‘venda de viabilidade ambiental’ pelos órgãos licenciadores”.* (idem)

De qualquer forma, cabe ao órgão ambiental licenciador classificar determinado empreendimento como causador de significativo impacto ambiental e fixar o percentual de compensação de acordo com o grau de impacto.

Entretanto, no intuito de se resguardar os princípios fundamentais de *“legalidade, impessoalidade, moralidade, publicidade e eficiência”*, a que está sujeita a Administração Pública direta, indireta ou fundacional (Art. 37, caput, da Constituição Federal), o órgão ambiental licenciador deve definir claramente os critérios utilizados para a definição de empreendimentos de significativo impacto ambiental bem como a metodologia empregada para fixação do percentual de compensação.

O Artigo 36 da Lei 9.985/2000 é reproduzido a seguir:

“Art. 36. Nos casos de licenciamento ambiental de empreendimentos de significativo impacto ambiental, assim considerado pelo órgão ambiental competente, com fundamento em estudo de impacto ambiental e respectivo relatório - EIA/RIMA, o empreendedor é obrigado a apoiar a implantação e manutenção de unidade de conservação do Grupo de Proteção Integral, de acordo com o disposto neste artigo e no regulamento desta Lei.

§ 1º O montante de recursos a ser destinado pelo empreendedor para esta finalidade não pode ser inferior a meio por cento dos custos totais previstos para a implantação do empreendimento, sendo o percentual fixado pelo órgão ambiental licenciador, de acordo com o grau de impacto ambiental causado pelo empreendimento.

§ 2º Ao órgão ambiental licenciador compete definir as unidades de conservação a serem beneficiadas, considerando as propostas apresentadas no EIA/RIMA e ouvido o empreendedor, podendo inclusive ser contemplada a criação de novas unidades de conservação.

§ 3º Quando o empreendimento afetar unidade de conservação específica ou sua zona de amortecimento, o licenciamento a que se refere o caput deste artigo só poderá ser concedido mediante autorização do órgão responsável por sua administração, e a unidade afetada, mesmo que não pertencente ao Grupo de Proteção Integral, deverá ser uma das beneficiárias da compensação definida neste artigo.

Em 22 de agosto de 2002, o Decreto 4.340 regulamentou alguns artigos da Lei do SNUC, entre eles o Artigo 36. Este Decreto estabeleceu em seu Artigo 31 que para fins de fixação da compensação ambiental, o órgão ambiental licenciador estabelecerá o grau de impacto a partir dos estudos ambientais realizados quando do processo de licenciamento, devendo ser considerado os impactos negativos, não mitigáveis e passíveis de riscos que possam comprometer a qualidade de vida de uma região ou causar danos aos recursos naturais.

Este artigo não se limita à utilização específica de EIA/RIMA como instrumento de avaliação do grau de impacto, mas abre a possibilidade de se contemplar outros tipos de estudos ambientais, com, por exemplo, o relatório ambiental simplificado (RAS), o estudo de viabilidade ambiental (EVA), entre outros existentes.

Muitos juristas questionam a legitimidade desta abertura. A Lei especifica o Estudo de Impacto Ambiental e o Decreto, que deveria ser mais específico e restritivo, acaba abrindo a possibilidade de utilização de outros estudos que muitas vezes são mais simplificados. Na prática, o

Decreto procurou corrigir uma imprecisão da Lei, pois mesmo em empreendimentos que são exigidos estes outros estudos ambientais, os seus impactos podem ser bastante significativos e resultarem na obrigação de compensação. Entre estes empreendimentos destacam-se as plataformas de petróleo, onde inicialmente exige-se um EIA/RIMA para toda a bacia petrolífera, mas para as plataformas individuais é exigido somente um Relatório Ambiental Simplificado (RAS).

Outra polêmica resultante da edição do Decreto foi o fato de que o mesmo especifica que se deve considerar impactos não mitigáveis na avaliação do grau de impacto ambiental. Como veremos a seguir, a metodologia desenvolvida pelo IBAMA muitas vezes considera impactos que são mitigáveis. Deve-se destacar que esta metodologia foi elaborada antes da edição do Decreto 4.340/2002 (BUCCI, 2004)².

Entretanto, deve-se considerar que mesmo que um impacto seja mitigável, a aplicação de determinada medida mitigadora pode não ser suficiente para anular totalmente ou evitar que o impacto aconteça, resultando em impactos residuais, que contribuem para a quantificação do grau de impacto ambiental. Da mesma forma, em muitos casos, mesmo impactos que são mitigáveis podem ser passíveis de causar riscos que possam comprometer a qualidade de vida de uma região ou causar danos aos recursos naturais, outra exigência do Artigo 31 do Decreto 4.340/2002.

Reproduz-se a seguir o Artigo 31 do Decreto 4.340/2002:

“Art. 31. Para os fins de fixação da compensação ambiental de que trata o art. 36 da Lei nº 9.985, de 2000, o órgão ambiental licenciador estabelecerá o grau de impacto a partir dos estudos ambientais realizados quando do processo de licenciamento ambiental, sendo considerados os impactos negativos, não mitigáveis e passíveis de riscos que possam comprometer a qualidade de vida de uma região ou causar danos aos recursos naturais.

Parágrafo único. Os percentuais serão fixados, gradualmente, a partir de meio por cento dos custos totais previstos para a implantação do empreendimento, considerando-se a amplitude dos impactos gerados, conforme estabelecido no caput.”

Este decreto teve avanços como a instituição das câmaras de compensação ambiental (Artigo 32) e a definição de prioridades para aplicação de recursos de compensação (Artigo 33). Estes dois artigos são reproduzidos a seguir:

“Art. 32. Será instituída no âmbito dos órgãos licenciadores câmaras de compensação ambiental, compostas por representantes do órgão, com a finalidade de

analisar e propor a aplicação da compensação ambiental, para a aprovação da autoridade competente, de acordo com os estudos ambientais realizados e percentuais definidos.

Art. 33. A aplicação dos recursos da compensação ambiental de que trata o art. 36 da Lei nº 9.985, de 2000, nas unidades de conservação, existentes ou a serem criadas, deve obedecer à seguinte ordem de prioridade:

I - regularização fundiária e demarcação das terras;

II - elaboração, revisão ou implantação de plano de manejo;

III - aquisição de bens e serviços necessários à implantação, gestão, monitoramento e proteção da unidade, compreendendo sua área de amortecimento;

IV - desenvolvimento de estudos necessários à criação de nova unidade de conservação; e

V - desenvolvimento de pesquisas necessárias para o manejo da unidade de conservação e área de amortecimento.

Parágrafo único. Nos casos de Reserva Particular do Patrimônio Natural, Monumento Natural, Refúgio de Vida Silvestre, Área de Relevante Interesse Ecológico e Área de Proteção Ambiental, quando a posse e o domínio não sejam do Poder Público, os recursos da compensação somente poderão ser aplicados para custear as seguintes atividades:

I - elaboração do Plano de Manejo ou nas atividades de proteção da unidade;

II - realização das pesquisas necessárias para o manejo da unidade, sendo vedada a aquisição de bens e equipamentos permanentes;

III – implantação”.

Em 04 de dezembro de 2002 foi publicada a Portaria IBAMA nº 155, a qual criou a Câmara Técnica de Compensação Ambiental, composta por várias diretorias do IBAMA, cabendo à

² BUCCI, F.F.B., 2004. Comunicação pessoal.

Diretoria de Licenciamento e Qualidade Ambiental presidir as reuniões. Esta Portaria designou as seguintes atribuições à Câmara Técnica de Compensação Ambiental:

- I. Analisar ou propor critérios de graduação de impactos, bem como procedimentos administrativos e financeiros para execução das compensações ambientais;
- II. Sugerir a distribuição das medidas compensatórias para aplicação nas unidades de conservação, existentes ou a serem criadas;
- III. Analisar recursos administrativos de revisão de graduação de impactos ambientais;
- IV. Propor à Presidência do IBAMA a aplicação dos recursos de compensação ambiental.

Em 19 de janeiro de 2004 esta Portaria foi revogada por uma nova Portaria (nº 7) cuja única mudança relevante foi o fato de passar a Presidência da Câmara Técnica de Compensação para a Diretoria de Ecossistemas do IBAMA.

Em 22 de abril de 2004 a Portaria nº 44 do IBAMA aprovou o regimento interno da Câmara Técnica de Compensação Ambiental, não adicionando nenhuma inovação significativa em relação às duas Portarias citadas anteriormente.

Em 27 de agosto de 2004 a Instrução Normativa nº 47 estabeleceu procedimentos para a gestão da compensação ambiental no âmbito do IBAMA para operacionalizar a aplicação e execução dos recursos oriundos deste mecanismo.

Ainda no âmbito federal, o Conselho Nacional de Meio Ambiente, através da Câmara Técnica de Unidades de Conservação, criou o Grupo de Trabalho de Compensação Ambiental (Moção 41 de 05 de dezembro de 2002). Este Grupo de Trabalho tem o objetivo de discutir e propor Resolução estabelecendo critérios para planejamento, recepção e aplicação dos recursos de compensação ambiental.

Em relação à metodologia para determinação do valor de compensação associado ao grau de impacto ambiental, a primeira iniciativa ocorreu em junho de 2002, quando o IBAMA instituiu uma equipe de técnicos para o desenvolvimento desta metodologia. Foram desenvolvidas três metodologias específicas para três grandes grupos de empreendimentos: *empreendimentos terrestres* (hidrelétricas, termelétricas, gasodutos, rodovias, ferrovias, linhas de transmissão e mineração), *empreendimentos marinhos* (produção e escoamento de hidrocarbonetos, perfuração de óleo e gás e levantamentos de dados sísmicos) e *empreendimentos pontuais de comunicação pré-existentes em unidades de conservação* (telecomunicação, radiodifusão e outros). (IBAMA, 2004).

A metodologia proposta pelo IBAMA envolve a utilização de indicadores de grau de impacto ambiental que são padronizados de acordo com o tipo de empreendimento a ser analisado. Estes indicadores de grau de impacto ambiental são definidos como parâmetros quantificáveis da amplitude dos impactos negativos gerados pela implantação do empreendimento, resultantes da associação destes com as características ambientais em suas áreas de influência.

Os indicadores de grau de impacto são padronizados em uma escala entre 0 e 100 GI como forma de se uniformizar a amostra, possibilitando que todos os indicadores sejam considerados com a mesma importância (peso). Outro fato que justificou a adoção desta escala é que determinados indicadores correspondem a um valor percentual, como o indicador relativo à supressão de cobertura vegetal (percentual de cobertura vegetal que será suprimida em relação à área total do empreendimento). Os indicadores para empreendimentos terrestres são os seguintes:

- matriz de impactos
- supressão de cobertura vegetal
- proximidade de unidades de conservação
- eficiência energética (específico para hidrelétricas)
- redução de vazões (idem)
- potencial poluidor
- análise de risco
- índice de aproveitamento da jazida (específico para mineração)

Nesta metodologia, o cálculo do Grau de Impacto Ambiental (GI) inicia-se a partir da análise dos estudos ambientais apresentados para o processo de licenciamento, onde se calcula o valor do grau de impacto relativo a cada indicador e obtém-se a média destes valores, resultando em um valor final compreendido entre 0 e 100 GI (unidade de medida do grau de impacto). Este valor de “GI” será convertido em valores percentuais de compensação, através de uma escala compreendida entre 0 e 5% dos custos totais previstos para a implantação do empreendimento.

Desta forma, a metodologia fixou um valor máximo de compensação ambiental de 5% e o mínimo segue o definido pelo artigo 36 da Lei do SNUC, ou seja, 0,5%. Este valor máximo tem sido bastante questionado, tanto por parte dos empreendedores como por órgãos ambientais e da sociedade civil, havendo divergências sobre um limite máximo ideal.

2.2. ÂMBITO ESTADUAL

2.2.1. Minas Gerais

O Estado de Minas Gerais publicou em 19 de junho de 2002, a Lei Estadual 14.309 que dispõe sobre as políticas florestal e de proteção à biodiversidade e o seu Artigo 36, reproduzido a seguir, trata da compensação ambiental específica para empreendimentos minerários:

“Art. 36 - O licenciamento de empreendimentos minerários causadores de significativos impactos ambientais, como supressão de vegetação nativa, deslocamento de populações, utilização de áreas de preservação permanente, cavidades subterrâneas e outros, fica condicionado à adoção, pelo empreendedor de estabelecimento de medida compensatória que inclua a criação, implantação ou manutenção de unidades de conservação de proteção integral.

§ 1º - A área utilizada para compensação, nos termos do “caput” deste artigo, não poderá ser inferior àquela utilizada pelo empreendimento para extração do bem mineral, construção de estradas, construções diversas, beneficiamento ou estocagem, embarque e outras finalidades.

§ 2º - A compensação de que trata este artigo será feita, obrigatoriamente, na bacia hidrográfica e, preferencialmente, no município onde está instalado o empreendimento”.

Segundo CARVALHO (2004) “Minas Gerais demonstrou, no devido exercício de sua competência concorrente em matéria ambiental, preocupação especial com o impacto da atividade de mineração, ao estabelecer o critério territorial de 'um hectare compensado para um hectare impactado', no que tange à medida compensatória devida por empreendimentos minerários. Inova o referido dispositivo legal ao descrever alguns impactos passíveis de compensação, ao invés da fórmula genérica do 'significativo impacto ambiental”.

2.2.2. São Paulo

Em 18 de setembro de 2001, através da Resolução SMA nº 16, a Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo instituiu o "compromisso de compensação ambiental" no âmbito do órgão central e dos órgãos executores do Sistema Estadual de Administração da Qualidade Ambiental – SEAQUA.

Esta Resolução é bastante semelhante ao Artigo 36 da Lei do SNUC, estabelecendo que este compromisso tem por objetivo determinar o valor e o modo pelo qual o empreendedor deve cumprir a obrigação de compensação ambiental por degradação ocasionada pela implantação de atividade ou empreendimento sujeito à obtenção de quaisquer das espécies de licença ambiental.

Também ressaltou o valor mínimo de 0,5% dos custos de implantação, devendo o valor ser estabelecido em função do impacto ambiental ocasionado.

Em 26 de março de 2004 foi instituída a Câmara de Compensação Ambiental, funcionando como um órgão colegiado com representantes de todas as instituições subordinadas à Secretaria do Meio Ambiente.

Segundo OLIVA & COSTA NETO (2004), no Estado de São Paulo o repasse dos recursos financeiros referentes à compensação ambiental é feito mediante a formalização de convênios entre o empreendedor e os órgãos que administram as unidades de conservação contempladas com esses recursos. As normas para a celebração desses convênios são definidas pelo Decreto nº 40.722, de 20 de março de 1996. De acordo com esse Decreto, os processos objetivando a formalização de convênios devem ser instruídos, dentre outros, com planos de trabalho aprovados pelo órgão ou autoridade competente, demonstrando a conveniência e oportunidade da celebração e contendo, no que couber, as seguintes informações mínimas: a) identificação do objeto a ser executado; b) metas a serem atingidas; c) etapas ou fases de execução; d) plano de aplicação dos recursos financeiros; e) cronograma de desembolso; f) previsão de início e fim da execução do objeto, bem como da conclusão das etapas ou fases programadas.

2.2.3. Mato Grosso

Em 20 de março de 2004, a Portaria Estadual FEMA nº 19 criou a Câmara de Compensação Ambiental, de caráter deliberativo, no âmbito da Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEMA/MT).

2.2.4. Rio Grande do Sul

Em 21 de janeiro de 2000, o Conselho Estadual do Meio Ambiente (CONSEMA) publicou a Resolução CONSEMA nº 001/00, fixando critérios de compensação de danos ambientais causados por grandes empreendimentos. Esta Resolução exigia o atendimento à Resolução CONAMA 02/96, sendo bastante semelhante à mesma.

A inovação foi a exigência de que no caso de criação e implantação de uma nova unidade de conservação, além do mínimo de 0,5%, o empreendedor teria que aportar os recursos necessários à manutenção da mesma durante um período mínimo de dois anos, não podendo ser inferior a 20% dos recursos investidos na nova unidade de conservação.

2.2.5. Ceará

O Estado do Ceará criou sua Câmara Técnica de Compensação Ambiental em 25 de julho de 2002, através da Resolução COEMA nº 08/2002. Posteriormente, em 29 de maio de 2003, a

Resolução COEMA nº 09/2003 instituiu, no âmbito da Política Estadual do Meio Ambiente do Estado do Ceará, o compromisso de compensação ambiental por danos causados ao meio ambiente e pela utilização de recursos ambientais.

Esta Resolução também foi bastante semelhante ao Artigo 36 da Lei do SNUC, bem como a Resolução SMA nº 16/2001, tendo como inovação a determinação de prazos para o pagamento da compensação como condicionante à emissão de licenças futuras.

2.2.6. Bahia

No Estado da Bahia, a Portaria nº 4.563, de 28 de julho de 2004, dispôs sobre a criação e atribuições da Câmara de Compensação Ambiental, no âmbito do Centro de Recursos Ambientais (CRA). Esta Câmara está subordinada à Diretoria de Controle Ambiental (DIRCO) e os recursos advindos da compensação ambiental deverão ser recolhidos junto ao Fundo de Recursos para o Meio Ambiente (FERFA), na forma e no prazo definidos pela Câmara, considerando-se a complexidade da satisfação da obrigação, não devendo ser superior ao prazo da implantação do empreendimento ou atividade.

2.2.7. Santa Catarina

O órgão ambiental licenciador do Estado de Santa Catarina (Fundação do Meio Ambiente – FATMA) publicou a Portaria nº 078 em 22 de novembro de 2004, a qual pode ser considerada bastante inovadora por definir alguns aspectos que são muito freqüentemente questionados, mas até então não haviam sido normatizados oficialmente.

Entre estes aspectos polêmicos está a determinação de quais empreendimentos seriam passíveis de compensação ambiental. Esta Portaria estabeleceu em seu Artigo 1º que para os empreendimentos em licenciamento pela FATMA, serão passíveis de compensação ambiental aqueles para os quais for exigido: Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental (EIA-RIMA); Relatório Ambiental Simplificado (RAS); outros estudos ambientais para fins de emissão de licença corretiva, ou seja, destinados ao licenciamento de empreendimento em operação.

Entretanto, o simples fato de se exigir a realização destes estudos não significa necessariamente que o empreendimento será passível de compensação ambiental. Em seu Artigo 3º estabeleceu-se que a FATMA poderá indicar no Termo de Referência do EIA/RIMA a necessidade de atendimento à compensação, ou então, esta indicação ocorrerá após o exame do EIA/RIMA e sua exigência será feita ao empreendedor por meio de solicitação complementar.

Esta Portaria também definiu o que seria considerado o “custo total do empreendimento” sobre o qual incidirá o percentual de compensação, estabelecendo que se incluem no custo total aportes do poder público na aquisição ou doação de terrenos e infra-estrutura específicos para o empreendimento, todavia, serão excluídos os custos visando a preservação do meio ambiente e não exigíveis para fins de licenciamento ambiental.

2.3. ÂMBITO INTERNACIONAL

2.3.1. Holanda

Segundo CUPERUS *et al.* (2001), o princípio da compensação ecológica foi introduzido na Holanda em 1993. Este princípio foi implementado para fortalecer os interesses de conservação da natureza nas tomadas de decisão em projetos de desenvolvimento de grande escala e para contrabalançar os impactos ecológicos dos mesmos. Os autores avaliaram a aplicação do princípio de compensação holandês no planejamento de estradas. Vários exemplos mostraram que o princípio estimula o desenvolvimento de rotas alternativas procurando evitar ou reduzir impactos e a necessidade de medidas compensatórias.

Os autores definem o termo compensação em manejo ambiental como o balanceamento entre impactos negativos e as funções sociais de determinado projeto de desenvolvimento, ou ainda, como a substituição de funções ou valores ecológicos danificados por empreendimentos. Na Holanda, o desenvolvimento compensatório de valores ecológicos pode ser alcançado pela criação de *hábitats* através da aquisição de terras, adaptação de projetos e manejo de áreas. Também pode ser alcançado pela melhoria de valores ecológicos já existentes.

O princípio da compensação holandesa engloba uma estratégia tripartite para lidar com os impactos ecológicos de empreendimentos de grande escala: prevenção, mitigação (redução) e compensação (substituição). Seis projetos representativos mostram que o princípio levou a uma implantação consistente da compensação ecológica no planejamento de rodovias na Holanda. Esta consistência se aplica particularmente a estratégias empregadas para lidar com a perda de *hábitats* e distúrbios como barulho o provocado pelo tráfego de veículos. Entretanto, medidas para compensar outros efeitos, como o isolamento de *hábitats*, estiveram ausentes em todos os projetos analisados devido à falta de informações sobre tais impactos. Os seis projetos revelaram, ainda, que os custos de compensação são marginais quando comparados com o custo total do projeto e que o princípio da compensação geralmente influencia na escolha de alternativas locais.

Segundo NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1992), a terminologia européia faz distinção entre mitigação (minimização, retificação e redução de impactos adversos) e compensação (substituição

de *hábitat* natural), considerando-os termos separados. Nos Estados Unidos, o uso do termo mitigação engloba minimização, retificação e redução dos impactos ecológicos bem como compensação.

Segundo CUPERUS *et al.* (2001), a compensação holandesa segue os seguintes princípios:

- I. o empreendedor é o responsável pela sua implementação;
- II. a legitimidade do projeto deve ser estabelecida antes das medidas compensatórias serem consideradas;
- III. impactos deverão ser evitados sempre quando possível ou então mitigados, ou como última alternativa, compensados;
- IV. impactos deverão ser compensados nos mesmos *hábitats*, ou quando impossível, em *hábitats* de qualidade equivalente;
- V. se a compensação física não for possível, torna-se necessário compensar financeiramente.

Quando o princípio da compensação foi introduzido na política Holandesa surgiu a necessidade de desenvolvimento de um método para identificação de medidas compensatórias (CUPERUS *et al.*, 1996). O método desenvolvido empregou um número limitado de espécies indicadoras conhecidas por serem sensíveis a impactos de rodovias e associadas ecologicamente aos *hábitats* presentes na área de estudo. Foram selecionadas algumas espécies de pássaros com informações disponíveis, de modo que impactos como a perda de hábitat pudesse ser avaliada quantitativamente (REIJNEN *et al.*, 1995). Espécies de mamíferos, anfíbios, répteis e borboletas com informações qualitativas disponíveis foram selecionadas como indicadoras para o isolamento de *hábitats*. A compensação necessária foi então calculada a partir do número de espécies indicadoras impactadas e o tamanho médio da área a ser impactada.

Esta metodologia foi adaptada e adotada para o estudo da compensação de outras rodovias holandesas. Foram considerados impactos sobre a perda de vegetação e rebaixamento do nível do lençol freático. Tais impactos foram considerados em termos de mudanças nos ecótopos, estágios sucessionais e características abióticas relevantes ao desenvolvimento da vegetação (RUNHAAR & UDO DE HAES, 1994). Outra inovação foi o uso de Sistemas de Informações Geográficas para identificação do isolamento de *hábitats* de 6 espécies de mamíferos e 11 espécies de anfíbios e répteis. A estimativa de impactos foi conduzida em termos de distribuição e densidade de espécies e foram modeladas as vulnerabilidades ao isolamento de *hábitats*. Após esta estimativa, a compensação calculada foi corrigida no intuito de se evitar sobreposição de impactos. Por razões metodológicas, os vários impactos são descritos separadamente, dando a falsa impressão de que eles

ocorrem de forma independente e a simples soma desses impactos poderia superestimar o impacto geral do empreendimento em análise.

2.3.2. China

De acordo com WANG & LI (1999), na China, a aplicação de taxas de compensação ambiental sobre a exploração de recursos e atividades de construção que possam causar danos ambientais tem sido proposta como um meio efetivo de auxiliar o manejo dos problemas ecológicos e ambientais. Entretanto, esta taxa não tem sido adotada em escala nacional, embora alguns experimentos têm sido conduzidos em escala local. A partir da experiência de países desenvolvidos, uma reforma política para instituição de taxas de compensação demandaria uma ampla gama de estudos e análises. Tais estudos devem incluir tanto investigações teóricas quanto práticas em questões que incluem métodos para determinação destas taxas, gestão de sua implantação e abrangência de uma ampla gama de impactos (ambientais, econômicos e sociais).

WANG & LI (1999) afirmam ainda que a aplicação de mecanismos econômicos para proteção ambiental, onde tais medidas utilizam-se de métodos para o cálculo de perdas ambientais causadas por atividades econômicas baseadas em preços de mercado, tem sido cada vez mais propostas e em alguns casos até implementadas. Embora em algumas áreas da China já se iniciou a aplicação de taxas sobre a utilização de recursos naturais específicos, esta taxa atualmente não reflete os custos associados à degradação ambiental causada pela utilização dos recursos que estão sendo taxados. Para procurar reverter esta situação, tem sido proposta a aplicação de uma taxa de compensação ambiental sobre os recursos explorados. Deste modo, a Agência Nacional de Proteção Ambiental Chinesa (NEPA) tem pesquisado a viabilidade de aplicação de uma taxa de compensação ambiental a nível nacional. Para a China, o objetivo principal da aplicação de compensação ambiental seria incentivar o degradador a controlar suas atividades através de incentivos econômicos, procurando reduzir os danos ambientais.

De acordo com o “Plano de Ação para Proteção Ambiental da China” (NEPA & STATE PLANING COMMITTEE, 1994), a China necessitaria reflorestar 5 milhões de acres por ano entre 1990 e 2000, implicando em um investimento total de 50 bilhões de RMB (Renminbi, moeda chinesa). Aproximadamente 75% deste investimento viria de doações e os outros 25% do governo chinês. Enquanto as contribuições do governo incluem subsídios para encorajar o reflorestamento, estes recursos são insuficientes para atender às necessidades atuais.

O reflorestamento é apenas uma das muitas atividades previstas no Plano de Ação Chinês, entre elas destaca-se ainda a solução de problemas de erosão. Baseado na estratégia de controle de erosão e no custo médio deste controle (aproximadamente 100.000 RMB por km²), o Plano de Ação recomendou o aumento das áreas sujeitas ao controle, elevando de 20.000 km² para 40.000

km² por ano, o que demandaria cerca de 4 bilhões de RMB por ano. A implantação de mecanismos de compensação ambiental representaria uma importante fonte de recursos para ser aplicado nestas atividades de recuperação e controle ambiental.

2.3.3. Reino Unido

COWELL (2003) através de um estudo de caso na baía de Cardiff (South Wales, Reino Unido), explorou as dimensões do desenvolvimento sustentável e da substituição através do exame da “compensação ambiental – prática que procura criar ambientes que compensem de certa forma os impactos adversos do desenvolvimento”. O foco principal é o uso compensatório da criação de habitats. Desde o início dos anos 90, geógrafos têm feito um crescente número de intervenções em debates sobre a significância da criação de habitats e restauração ecológica, incluindo as implicações políticas do uso destes mecanismos para minimizar danos ambientais. Até outubro de 2000, a Corporação de Desenvolvimento da Baía de Cardiff (CBDC) investiu £10.3 milhões desenvolvendo uma nova reserva natural de 420 ha para compensar os impactos da construção de uma barragem entre os estuários de Taff e Ely.

2.3.4. Outros países

Segundo MACHADO (1992) outros países já estabeleceram mecanismos de compensação ambiental, entre eles a França, Argélia, Comunidades Econômicas Européias, Grécia e Portugal.

A pesquisa realizada no presente trabalho não revelou nenhuma iniciativa internacional semelhante à que é adotada no Brasil em relação à associação de valores de compensação ambiental com os custos totais do empreendimento. É bem provável que a origem desta associação, iniciada com a Resolução CONAMA 010 de 1987, esteja ligada ao conceito que prevalecia na época, de que quanto maior o empreendimento, maior seria a relevância dos impactos. Do mesmo modo, quanto maior o empreendimento, maior seria o seu custo. Assim, a adoção de um percentual relacionado aos custos do empreendimento estaria compensando de forma proporcional os seus impactos. Se esta premissa fosse verdadeira, deveria ser adotado um valor percentual fixo para todos os casos e não de acordo com o grau de impacto ambiental.

3. METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL E USO DE GEOPROCESSAMENTO

O presente trabalho propõe uma metodologia de avaliação de impactos ambientais com uma finalidade específica: a análise do grau de impacto ambiental e respectiva determinação de valores de compensação para empreendimentos minerários, utilizando ferramentas de geoprocessamento. Sendo assim, este capítulo faz uma revisão bibliográfica de várias metodologias de avaliação de impacto ambiental atualmente existentes, enfatizando-se aquelas que utilizam o suporte de sistemas de informações geográficas.

Estudos comparativos de metodologias de avaliação de impacto ambiental foram realizados por BISSET (1980 e 1983), NICHOLS & HYMAN (1982), LEE (1983) e ECONOMIC AND SOCIAL COMMISSION FOR ASIA AND THE PACIFIC (1990). CANTER & SADLER (1997) revisaram várias metodologias que vêm sendo aplicadas ao longo dos últimos 30 anos. A seguir reproduz-se uma breve descrição de 22 tipos de métodos revisados, listados em ordem alfabética e não em ordem de importância ou frequência de utilização:

- a) **Análise de custo-benefício ambiental:** metodologia que complementa a análise de custo-benefício tradicional com ênfase nos recursos ambientais e seu valor econômico. Sua aplicabilidade tem limitações consideráveis na avaliação econômica de impactos específicos de um empreendimento proposto e suas alternativas. As técnicas de estimativa têm complexidades variáveis e geram demandas consideráveis junto aos técnicos responsáveis. Pesquisas futuras são necessárias para a efetiva implementação desta técnica junto ao processo de avaliação de impactos.
- b) **Analogias:** refere-se a informações de empreendimentos já existentes ou similares àqueles que estão sendo avaliados. O monitoramento dos impactos atuais pode ser utilizado como uma analogia para prever os impactos de determinado tipo de empreendimento.
- c) **Avaliação de riscos:** foi inicialmente utilizada para estabelecer padrões ambientais baseados em questão de saúde humana. Consiste basicamente na identificação de riscos, considerando relações dose-resposta, avaliação de exposições e análise dos riscos associados. Pode ser aplicada tanto para saúde humana como para riscos ecológicos.

- d) ***Cálculo de balanço de massas***: baseado em inventários das condições pré-existentes para comparar com mudanças que poderiam resultar de uma ação proposta. Tais inventários são freqüentemente utilizados em estudos de impacto no contexto de emissões de poluentes da água e do ar e, geração de resíduos sólidos e perigosos. Um meio de se expressar o impacto é considerar as mudanças absolutas ou percentuais no inventário (ou balanço de massas) como resultado do empreendimento proposto.
- e) ***Construção de cenários***: envolve a consideração de alternativas futuras como resultado da adoção de pressupostos iniciais. É bastante utilizada no campo de planejamento, particularmente no contexto da Avaliação Ambiental Estratégica de políticas, planos e programas.
- f) ***Extrapolação de tendências***: utiliza tendências históricas e as expande para uma situação futura. Bastante utilizada na comparação entre a situação atual, sem o empreendimento, e a situação futura, com diversas alternativas para implantação de determinado empreendimento.
- g) ***Fotografias ou fotomontagens***: úteis para propósitos de visualização de aspectos cênicos do ambiente e identificação dos potenciais impactos visuais de determinado empreendimento. Está relacionado com os métodos de análise da paisagem.
- h) ***Índices ou indicadores***: refere-se a características ou parâmetros de recursos ou componentes ambientais. Índices numéricos ou descritivos têm sido desenvolvidos como medidas da vulnerabilidade ambiental de componentes ambientais à poluição ou outros tipos de impactos e tem se provado bastante útil na comparação de alternativas locais para uma atividade proposta, como por exemplo, aterros sanitários. A partir daí, as medidas mitigadoras necessárias podem ser planejadas.
- i) ***Listas de checagem (“checklists”)***: geralmente contêm uma série de itens, descrição de impactos ou questões que o avaliador deve checar como parte do estudo de impacto. Representa uma base sistemática e replicável para o processo de avaliação de impactos.
- j) ***Listas de checagem focadas em decisão***: metodologia aplicada principalmente na comparação de alternativas. Neste contexto, são úteis principalmente na síntese de informações de um estudo de impacto ambiental. Cada alternativa possível é abordada no estudo.

- k) **Matrizes de interação:** método amplamente utilizado na avaliação de impactos. Variações de matrizes de interação têm sido desenvolvidas para enfatizar características particulares desejáveis e representam um método bastante útil para o estudo de várias atividades associadas ao processo de avaliação de impactos.
- l) **Métodos de análise da paisagem:** são particularmente úteis na avaliação de recursos visuais ou estéticos. Tais métodos são baseados no desenvolvimento de informações derivadas de uma série de indicadores e a subsequente agregação destas informações em índices ou pontos para determinado componente ambiental. Estas informações representam a condição original da área. A partir daí compara-se os índices com e sem a implantação do empreendimento, com o objetivo de se avaliar impactos cênicos ou estéticos.
- m) **Modelagem qualitativa:** grupo de métodos onde informações descritivas são utilizadas para associar ações do empreendimento a mudanças nos componentes ambientais. O foco geral da modelagem quantitativa está no entendimento de relações fundamentais, tais como aumento ou redução em certos parâmetros ambientais como resultado de atividades específicas. Em muitos casos, é o único método disponível para a previsão de impactos. É geralmente baseado na opinião de especialistas.
- n) **Modelagem quantitativa (matemática):** grupo de métodos utilizado especificamente para prever mudanças em componentes ambientais associadas às ações propostas. Tais modelos podem variar de versões simplificadas até as mais complicadas, como simulações tridimensionais computadorizadas que necessitam da entrada de uma grande quantidade de dados. Como exemplo, existem vários modelos de dispersão atmosférica que podem ser utilizados para prever impactos sobre a qualidade do ar associados com emissões de termoeletricas.
- o) **Monitoramento de receptores (estudos de campo):** consiste no monitoramento e análise dos impactos atuais resultantes de empreendimentos similares para a previsão de impactos futuros. Deve ser dada ênfase ao monitoramento de indicadores pertinentes ao tipo de empreendimento em análise.
- p) **Monitoramento:** consiste em coletas sistemáticas para estabelecer as condições pré-existentes do ambiente afetado, além de servir como uma base para interpretação de mudanças resultantes de um empreendimento. O monitoramento pode estar focado no meio físico/químico, biológico, cultural e/ou sócio-econômico. A seleção de indicadores apropriados ao monitoramento deve ser uma

função da disponibilidade de informações existentes bem como do tipo de empreendimento e impactos previstos.

- q) **Opinião de especialistas:** método amplamente utilizado no processo de avaliação de impactos. Tipicamente utilizado na associação de impactos específicos de um empreendimento proposto sobre diferentes componentes ambientais. Ferramentas específicas incluem o método “*Delphi*” e o uso de processos adaptativos de avaliação ambiental. Grupos de especialistas identificam informações apropriadas e elaboram modelos qualitativos e quantitativos para a previsão de impactos ou para simular processos ambientais.
- r) **Redes:** grupo de métodos que estabelecem conexões ou relações entre ações do empreendimento e seus impactos resultantes. É citado de várias formas, como por exemplo, árvores de impacto, cadeias de impacto, diagramas de causa-efeito ou diagramas de conseqüências. Redes são úteis para mostrar relações entre impactos primários, secundários e terciários resultantes de ações específicas. Também podem ser utilizadas associadas a matrizes como uma ferramenta na identificação e qualificação de impactos.
- s) **Revisão de literatura:** envolve a compilação de informação sobre tipos de empreendimentos e seus impactos típicos. Este tipo de informação pode ser bastante útil para a identificação prévia de impactos potenciais. Também pode ser utilizado para quantificar mudanças específicas e para identificar medidas mitigadoras. Atualmente já existe bastante informação disponível sobre os impactos típicos de determinados tipos de empreendimentos.
- t) **Sistemas especialistas:** baseado no conhecimento e julgamento de especialistas em áreas específicas. Tal conhecimento é codificado através de uma série de regras em um sistema de “*software*”. Estes sistemas requerem do usuário respostas para uma série de questões para conduzir uma análise em particular.
- u) **Sobreposição de mapas:** a sobreposição de mapas foi utilizada bem no início do desenvolvimento de estudos de impacto ambiental. Seu uso primário consistia na associação de mapas analógicos mostrando diferentes características ambientais. A aplicação de Sistemas de Informações Geográficas tem substituído o uso de mapas analógicos. A sobreposição de mapas, tanto analógica quanto digital, pode ser utilizada para descrever condições pré-existentes e revelar as mudanças potenciais resultantes de uma ação proposta.

- v) **Testes de laboratório e modelos escalares:** podem ser aplicados na obtenção de informações qualitativas e quantitativas na previsão de impactos de tipos específicos de empreendimentos. Ainda que este tipo de método não tenha sido utilizado extensivamente, ele é apropriado para determinados tipos de empreendimentos, entre eles a identificação do potencial de impactos de dragagem através da determinação do grau de contaminação do material dragado e o potencial de dispersão dos contaminantes.

EEDY (1995) apontou as vantagens do uso de SIG em Estudos de Impacto Ambiental, notadamente para armazenamento de dados, sobreposição e análise de tendências, base de dados para modelos matemáticos de impactos, análise de hábitat e consulta pública. De acordo com levantamento conduzido por JOÃO & FONSECA (1996), SIG foi usado para todos os estágios do EIA. O uso mais freqüente tem sido para análise, modelagem e preparação de dados. SIG também tem sido usado para a apresentação de informação ambiental básica e descrição do projeto, através da preparação de mapas temáticos para vários componentes ambientais. Destaca-se ainda, a sobreposição de mapas básicos com *layouts* de projeto como ferramenta para identificação de impactos.

A previsão da magnitude dos impactos é geralmente realizada através da aplicação de modelos de simulação (FEDRA, 1993). O resultado obtido é freqüentemente um mapa do valor de determinado descritor ambiental (ex. concentração de um poluente) da área de estudo. A extensão dos impactos ambientais pode ser estimada a partir da distribuição espacial dos valores de qualidade ambiental previstos para cada alternativa.

SIG tem sido usado para avaliação de componentes ambientais específicos, principalmente para a avaliação de impactos sobre a paisagem, onde são geradas visualizações a partir de pontos dos cenários de alternativas de projeto. DAVIDSON (1992) avaliou efeitos de alternativas locais para linhas de transmissão e SCHALLER (1992) utilizou um SIG para produzir uma representação visual combinando dados populacionais com níveis de ruído esperados com a instalação de um novo aeroporto em Munique.

RIVAS *et al.* (1994) apresentaram uma metodologia para a avaliação de impactos de planos de uso do solo, baseada na computação de índices de impactos obtidos pela sobreposição dos usos propostos com mapas temáticos.

A importância e potencial de utilização de SIG para valoração econômica do ambiente, principalmente através da preparação de “mapas de valor econômico”, tem sido bastante aplicada (EADE & MORAN, 1996; MARTINHO *et al.*, 1998). Este tipo de abordagem tem um potencial muito

forte para aumentar a aplicabilidade prática de análises custo-benefício e, assim, aprimorar o papel da valoração econômica em estudos de impacto ambiental.

ANTUNES *et al.* (2001) apresentaram uma nova metodologia para avaliação de impactos, denominada SIAM (*Spatial Impact Assessment Methodology*), baseada na premissa de que a importância dos impactos ambientais é dependente, entre outras coisas, da distribuição espacial dos seus efeitos e do ambiente afetado. A informação gerada pelo uso de SIG é utilizada na avaliação da significância dos impactos através de uma série de índices de impacto. Para cada componente ambiental (p.ex. poluição atmosférica, recursos hídricos, recursos biológicos), os índices de impacto são calculados baseados na distribuição espacial dos mesmos. Um estudo de caso de avaliação de impactos de uma estrada na região central de Portugal ilustra a aplicação da metodologia e mostra as possibilidades de adaptá-la a características particulares de um Estudo de Impacto Ambiental específico.

SANTO & SÁNCHEZ (2002) aplicaram o SIG IDRISI (Clark University) para determinar indicadores de impacto ambiental na mineração de areia em uma planície do rio Paraíba do Sul. Para examinar a evolução ao longo de 35 anos de mineração, foram compilados dados sobre o uso do solo de uma área de 31 km², a partir de fotografias aéreas de 1962, 1986/1988 e 1997/1998. Indicadores de impacto ambiental foram identificados e quantificados através do uso de SIG. Esses indicadores incluem: área total de mineração, terras agrícolas que foram convertidas em mineração, áreas desmatadas, modificação na morfologia do canal do rio, desenvolvimento da vegetação nas áreas recuperadas e avanço da mineração em áreas de preservação permanente. A maioria dos indicadores revelou um grande aumento da magnitude dos impactos ao longo deste período.

BOJÓRQUEZ-TAPIA, JUAREZ & CRUZ-BELLO (2002) propuseram uma metodologia de avaliação de impactos ambientais a partir da integração de lógica difusa (“fuzzy”), SIG e técnicas de otimização, com o objetivo de subsidiar analistas ambientais a lidarem com as ambigüidades e imprecisões intrínsecas associadas à avaliação de impactos. Os autores afirmam que impactos ambientais são incertos devido à falta de conhecimentos sobre a probabilidade de respostas de um certo ambiente a determinadas atividades. A complexidade e incerteza dos impactos são exacerbadas pela heterogeneidade espacial dos sistemas ecológicos e o envolvimento do público no processo de tomada de decisões.

A metodologia proposta pelos autores parte do desenvolvimento de dois índices de impacto: intensidade de interação entre atividades do projeto e componentes ambientais e vulnerabilidade ambiental. A intensidade de interação entre atividades do projeto e componentes ambientais é avaliada através de sete critérios: magnitude, extensão espacial, duração, efeitos sinérgicos, efeitos cumulativos, controvérsias entre tomadores de decisão e eficácia das medidas mitigadoras. O índice de vulnerabilidade ecológica é definido como a suscetibilidade de um

componente ecológico aos efeitos de determinada atividade do projeto. É uma função do risco ambiental, da proximidade da fonte do impacto e da eficiência da medida mitigadora.

ATKINSON *et al.* (1995) utilizaram SIG no desenvolvimento de um índice de compatibilidade para aterros sanitários aplicado à previsão de impactos e avaliação de alternativas locacionais.

CANTER, CHOWDHURY & VIEUX (1994) descreveram seis estudos de caso envolvendo o uso de SIG em programas de proteção de águas subterrâneas, enfatizando o planejamento do uso do solo e proteção de aquíferos.

O uso de SIG na previsão de impactos relacionados a linhas de transmissão foi relatado por JENSEN & GAULT (1992).

JOHNSTON *et al.* (1988) aplicaram SIG na avaliação de impactos sobre áreas úmidas e qualidade dos corpos d'água resultantes de diferentes projetos de uso e ocupação de áreas urbanas.

O uso de SIG na determinação da compatibilidade de áreas para depósito de material radioativo foi descrito por OPENSHAW, CARVER & FERNIE (1989), o que também possibilitou a previsão de impactos potenciais e estabelecimento das medidas mitigadoras necessárias.

RAJAN (1991) descreveu o uso de SIG para o manejo de recursos naturais na Ásia e Pacífico, com ênfase em estudos de impacto de projetos de desenvolvimento de grande porte.

SAVITSKY *et al.* (1995) aplicaram SIG na metodologia de análise de lacunas (“GAP Analysis”) na Costa Rica (a análise de lacunas envolve o correlacionamento da distribuição de espécies nas bordas de ecossistemas e áreas protegidas com o objetivo de identificar locais eficientes para conservação).

4. IMPACTOS AMBIENTAIS DA MINERAÇÃO

"A mineração, os minerais e os metais são importantes para o desenvolvimento econômico e social de muitos países. Os minerais são essenciais para a vida moderna. Para potencializar sua contribuição ao desenvolvimento sustentável, é necessário que sejam adotadas medidas em todos os níveis a fim de: a) apoiar os esforços envidados para tratar dos impactos e benefícios ambientais, econômicos, sociais e da saúde advindos da mineração, dos minerais e metais durante o seu ciclo de vida, incluindo a saúde e segurança dos trabalhadores, e fazer uso de diversas parcerias, aumentando as atividades existentes em âmbito nacional e internacional entre Governos, organizações intergovernamentais, empresas de mineração e mineiros, bem como outros grupos de interesse, a fim de promover transparência e responsabilidade para alcançar a sustentabilidade da mineração e o desenvolvimento sustentável dos minerais; b) aumentar a participação dos grupos de interesse, inclusive as comunidades locais e indígenas e as mulheres, para que desempenhem um papel ativo no desenvolvimento sustentável dos minerais, metais e mineração durante o ciclo de vida das operações de mineração, inclusive após o encerramento de suas atividades para fins de reabilitação, em conformidade com as normas nacionais e levando em conta os impactos transfronteiriços significativos; c) fomentar práticas de mineração sustentáveis prestando apoio financeiro, técnico e de capacitação aos países em desenvolvimento e aos países com economias em transição, a fim de otimizar a mineração e o beneficiamento de minerais, inclusive a exploração em pequena escala e, quando possível e adequado, melhorar o beneficiamento que agregue valor, atualizar as informações científicas e tecnológicas e recuperar e reabilitar os locais degradados".

Parágrafo 46

PLANO DE IMPLEMENTAÇÃO DA AGENDA 21
CÚPULA MUNDIAL SOBRE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL – RIO + 10

Na Conferência Rio + 10, realizada de 26 de maio a 29 de agosto de 2002, em Johannesburgo, em várias partes de seu documento final, assinado por todos os países presentes, a mineração foi considerada como uma atividade fundamental para o desenvolvimento econômico e social de muitos países, tendo em vista que os minerais são essenciais para a vida moderna. A Rio + 10 teve como um de seus objetivos reafirmar compromissos definidos nos acordos assinados na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento Rio 92, principalmente a Agenda 21.

SOUZA (2001) afirma que, tradicionalmente, os projetos de mineração se preocupavam com as questões ambientais de forma parcial e apenas a partir da etapa de desenvolvimento da mina (implantação do empreendimento mineiro). A partir do início dos anos 70, mais precisamente a partir da Conferência de Estocolmo (1972), inicia-se a discussão entre os modelos de desenvolvimento e meio ambiente. Tais discussões resultaram em um conjunto de normas e instituições relacionadas com a questão ambiental, tanto nos países desenvolvidos como nos países do terceiro mundo. A avaliação dos impactos ambientais passou a ser considerada no mesmo nível dos aspectos técnicos e econômicos, no processo de decisão de qualquer empreendimento. Assim, a necessidade de elaboração de um estudo de impacto ambiental para um projeto de mineração passou a ser uma das obrigações da empresa de mineração, concomitantemente à elaboração/avaliação do projeto, que dá suporte à implantação e operação do empreendimento.

Segundo MACHADO (1992), o Decreto Federal nº 88.351/1983 (art. 18, § 1º, c) prevê a necessidade do estudo de impacto ambiental conter a “identificação, análise e previsão dos impactos significativos, positivos e negativos”. A Resolução CONAMA 001/1986 prevê no Artigo 5º, II, que o estudo obedecerá às diretrizes gerais de “identificar e avaliar sistematicamente os impactos ambientais gerados nas fases de implantação e operação da atividade” (item II), e o Artigo 6º determina que o estudo abrangerá a análise dos impactos ambientais do projeto através de “identificação, previsão da magnitude e interpretação da importância dos prováveis impactos positivos e negativos (benéficos e adversos), diretos e indiretos, imediatos e a médio e longo prazos, temporários e permanentes; seu grau de reversibilidade; suas propriedades cumulativas e sinérgicas”.

Segundo SCLIAR (2004), a mineração tem sido citada como atividade agressora do meio ambiente. Algumas características realimentam a visão negativa da mineração brasileira como, por exemplo:

- os passivos ambientais, sociais e econômicos fazem parte da paisagem e história das comunidades mineiras, mesmo quando a lavra se encerrou há dezenas de anos;

- grandes minas a céu aberto do país são visíveis por todos que transitam nas principais estradas de, por exemplo, Minas Gerais, Bahia e Goiás, pois foram historicamente construídas para servir a esses depósitos minerais;
- o desconhecimento da população sobre a importância dos bens minerais na construção do mundo artificial que nos cerca;
- a disseminação desorganizada da mineração informal de areia, brita e argila nos arredores dos centros urbanos e dos garimpos de gemas, ouro, cassiterita e outras substâncias minerais acarretando sérios problemas sociais, econômicos e ambientais amplamente divulgados na imprensa;
- o alto nível de acidentes de trabalho nas minas legalizadas e, principalmente, nas extrações informais.

O autor afirma ainda, que, por outro lado, os empreendimentos organizados para extração e beneficiamento do minério ocorrem em áreas circunscritas onde são gerados rejeitos, efluentes, aerossóis e ruídos que não se dispersam se houver controle adequado. Publicação do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) mostra que a degradação ambiental do solo na superfície terrestre é provocada, principalmente, pela pecuária (35%), derrubada de florestas (30%) e agricultura (27%). A indústria, onde se inclui a mineração, afeta em torno de 1% da superfície terrestre (UNEP: GLOBAL ENVIRONMENTAL OUTLOOK, 2002).

Apesar da mineração estar limitada a áreas relativamente não muito extensas, os seus impactos podem ser bem mais significativos e relevantes do que aqueles relacionados a atividades que abrangem maiores áreas territoriais, como a pecuária e agricultura.

FARIA (2002) avaliou os principais impactos da mineração no Brasil, relacionando as principais substâncias minerais com os Estados de ocorrência e propondo ações preventivas e corretivas. Os resultados estão sintetizados no Quadro 2.

Apesar dos impactos relacionados à supressão da vegetação serem citados em apenas três casos dos quatorze apresentados, tais impactos ocorrem em praticamente todos os tipos de mineração, devido à necessidade de limpeza do terreno para a extração dos minerais. Além da perda da biodiversidade, a supressão de vegetação resulta em outros tipos de impactos como a eliminação de habitat para a fauna, bem como o seu afugentamento, além da intensificação de processos erosivos e, conseqüentemente, o assoreamento de cursos d'água.

Quadro 2. Principais impactos da mineração no Brasil

Mineral	Estado	Principais problemas	Ações Preventivas e ou Corretivas
Ferro	MG	Antigas barragens de contenção, poluição de águas superficiais	Cadastramento das principais barragens de decantação em atividade e as abandonadas; Caracterização das barragens quanto a estabilidade; Preparação de estudos para estabilização
Ouro	PA	Utilização de mercúrio na concentração do ouro de forma inadequada; aumento da turbidez, principalmente na região de Tapajós	Divulgação de técnicas menos impactantes; monitoramento de rios onde houve maior uso de mercúrio
	MG	Rejeitos ricos em arsênio; aumento da turbidez	Mapeamento e contenção dos rejeitos abandonados
	MT	Emissão de mercúrio na queima de amálgama	Divulgação de técnicas menos impactantes
Chumbo, Zinco e Prata	SP	Rejeitos ricos em arsênio	Mapeamento e contenção dos rejeitos abandonados
	BA		
Zinco	RJ	Barragem de contenção de rejeito, de antiga metalurgia, em péssimo estado de conservação	Realização das obras sugeridas no estudo contratado pelo Governo do Estado
Carvão	SC	Contaminação das águas superficiais e subterrâneas pela drenagem ácida provenientes de antigos depósitos de rejeitos	Atendimento às sugestões contidas no Projeto Conceitual para Recuperação da Bacia Carbonífera Sul Catarinense
Agregados p/ construção civil	RJ	Produção de areia em Itaguaí/Seropédica: contaminação do lençol freático, uso futuro da terra comprometido devido a criação desordenada de áreas alagadas	Disciplinamento da atividade; Estudos de alternativas de abastecimento
	SP	Produção de areia no Vale do Paraíba acarretando a destruição da mata ciliar, turbidez, conflitos com uso e ocupação do solo, acidentes nas rodovias pelo causados transporte	Disciplinamento da atividade; Estudos de alternativas de abastecimento e de transporte
	RJ e SP	Produção de brita nas Regiões Metropolitanas, acarretando: vibração, ruído, emissão de particulado, transporte, conflitos com uso e ocupação do solo	Aplicação de técnicas menos impactantes; Estudos de alternativas de abastecimento
Calcário	MG e SP	Mineração em áreas de cavernas com impactos no patrimônio espeleológico	Melhor disciplinamento da atividade através da revisão da Resolução Conama nº 5 de 06/08/1987
Gipsita	PE	Desmatamento da região do Araripe devido à utilização de lenha nos fornos de queima da gipsita	Utilização de outros tipos de combustível e incentivo ao reflorestamento com espécies nativas
Cassiterita	RO e AM	Destruição de Florestas e leitos de rios	Racionalização da atividade para minimizar os impactos

Fonte: Faria (2002)

TAVEIRA (2003) afirma que a mineração é uma atividade geradora de impactos ambientais positivos e negativos. Os impactos positivos estão intimamente relacionados ao desenvolvimento de infra-estrutura, arrecadação e geração de empregos que, durante o desenvolvimento da atividade mineral mostram-se benéficos. Mas, se mal administrados, podem apresentar um caráter negativo após o fechamento da mina, devido à interrupção repentina desse desenvolvimento. Minimizar esta situação e controlar os efeitos reativos no ambiente tornam-se tarefas de vital importância para a prática do desenvolvimento sustentável e um desafio para os técnicos do momento, pois para muitos, este ainda é um campo desconhecido e negligenciado.

Segundo a autora, os impactos ambientais causados pela mineração são diversos e atingem os meios físico, biótico e antrópico, de forma direta ou indireta. Tais impactos estão sintetizados a seguir, de acordo com suas diversas fases de desenvolvimento:

- Fase de prospecção e exploração:
 - Emissão de material particulado;
 - Emissão de gases provenientes da combustão de materiais fósseis de equipamentos;
 - Remoção e mistura de horizontes de solos;
 - Contaminação da qualidade das águas superficiais e subterrâneas;
 - Assoreamento de corpos d'água superficiais;
 - Remoção de vegetação;
 - Geração de ruído;
 - Alteração da paisagem local.

- Fase de desenvolvimento, lavra ou exploração, beneficiamento:
 - Emissão de material particulado;
 - Emissão de gases provenientes da combustão de materiais fósseis de equipamentos;
 - Remoção e mistura de horizontes de solos;
 - Contaminação do solo;
 - Vibrações causadas pelo uso de explosivos;
 - Contaminação da qualidade das águas superficiais e subterrâneas;
 - Redução de vazão de água, muitas vezes com rebaixamento do lençol freático;
 - Assoreamento de corpos d'água superficiais;
 - Remoção de vegetação;
 - Afugentamento da fauna;
 - Geração de ruído;
 - Alteração da paisagem local;
 - Imigração de funcionários, prestadores de serviços e pessoas atraídas pela possibilidade de desenvolvimento local;
 - Surgimento de infra-estrutura (escola, estradas, hospitais, etc.);
 - Aumento na arrecadação de impostos;
 - Dependência econômica local com o setor mineral.

- Fase de fechamento:
 - Quando há o abandono da área – os efeitos continuados dos impactos detectados nas fases anteriores, acrescidos dos seguintes:
 - Instabilidade física e química do ambiente, provocada pela propagação dos impactos, uma vez que não há ações corretivas;
 - Propagação dos danos a fauna e flora, em função da instabilidade física e química;

- Desemprego, podendo gerar aumento nos índices de violência em função do surgimento de bolsões de pobreza;
 - Abandono das infra-estruturas trazidas pela mineração, podendo gerar impactos ambientais localizados (com por exemplo em rodovias, ferrovias, etc), bem como a queda na qualidade dos serviços prestados ou a exclusão dos mesmos;
 - Diminuição na arrecadação de impostos;
 - Emigração;
 - Queda nos índices de desenvolvimento econômico local e regional;
 - Queda nos índices de qualidade de vida local e regional;
 - Efeitos negativos sobre a família do trabalhador demitido;
 - Geração de externalidades a serem arcadas pela sociedade e pelo governo.
- o Quando a desativação do empreendimento é planejada pelo empreendedor com a participação do governo e da sociedade:
- Os impactos sobre os meios físico e biótico são amenizados e controlados, devendo haver retorno da fauna através de reestruturação da flora devido ao reflorestamento e controle dos agentes causadores de impacto sobre o meio físico;
 - Emigração, restringindo-se mais aos funcionários de nível técnico e superior que vão buscar recolocação no mercado de trabalho;
 - Surgimento de novos setores econômicos, baseados na vocação regional;
 - Variação na arrecadação de impostos, podendo ser positiva ou negativa, em função das novas atividades econômicas surgidas.

A autora ressalta que no caso da desativação, o tempo em que a atividade mineral se desenvolveu na região influencia diretamente os impactos sobre o meio antrópico. Se o tempo de extração é curto, os vínculos entre a empresa e a comunidade são mínimos. Assim, os impactos no meio antrópico não são significativos. Se esse tempo for longo, a dependência da comunidade para com a empresa tenderá a ser significativa, tornando mais traumática e difícil a etapa de fechamento do empreendimento.

Segundo SMA/IG (2002), as principais alterações ambientais, decorrentes dos métodos de produção aplicados na atividade minerária, são: supressão de áreas de vegetação, reconfiguração de superfícies topográficas, impacto visual, aceleração de processos erosivos e indução de escorregamentos, aumento da turbidez e da quantidade de sólidos em suspensão em corpos d'água receptores, assoreamento e entulhamento de cursos d'água, interceptação do lençol freático com rebaixamento ou elevação do nível de base local, mudanças na dinâmica de movimentação das águas subterrâneas, inundações a jusante, aumento da emissão de gases e partículas em suspensão

no ar, aumento de ruídos, lançamento de fragmentos rochosos à distância, sobrepressão do ar e propagações de vibrações no solo, geração de áreas degradadas abandonadas, alteração com intensificação do tráfego de veículos pesados, riscos de acidentes diversos (com crianças, em áreas abandonadas ou bacias de decantação, com o aparecimento de vetores de doenças, com escorregamentos entre outros) e problemas ligados às condições sanitárias.

O Quadro 3 relaciona as principais alterações e impactos ambientais associadas à extração dos principais grupos de substâncias minerais, aos tipos de jazimentos e às formas de exploração observados na bacia do rio Mogi-Guaçu. De forma geral, os impactos ambientais associados à extração mineral nesta bacia são localizados e de caráter mais físico do que químico, mas regionalmente tornam-se significativos, especialmente nas áreas com maior concentração e aglomeração desses empreendimentos (SMA/IG, 2002).

DIAS (2001) analisou a eficácia da aplicação dos procedimentos de Avaliação de Impactos Ambientais aos projetos de mineração no Estado de São Paulo, enfatizando principalmente a etapa de acompanhamento, ou mais precisamente, a atuação dos órgãos governamentais no sentido de garantir a correta implementação do projeto, bem como do programa de gerenciamento ambiental definido no processo de avaliação de impactos como condicionante à outorga da licença.

Os resultados do estudo confirmaram largamente suas hipóteses iniciais de que a implementação dos projetos é falha e compromete severamente o processo. Concluiu-se ainda, que esta situação decorre não somente das deficiências dos órgãos fiscalizadores, incapazes de garantir o cumprimento dos termos e condições estabelecidas na aprovação do estudo de impacto ambiental, mas de uma cadeia de imperfeições que atinge praticamente todas as atividades do processo de avaliação de impactos.

Quadro 3. Principais alterações ambientais associadas à extração dos principais grupos de substâncias minerais, aos tipos de jazimentos e às formas de exploração observados na bacia do rio Mogi Guaçu.

Impactos	Bens minerais e tipos de jazimentos								
	AREIAS			ARGILAS		BRITAS E ROCHAS CRISTALINAS	ROCHAS ORNAMENTAIS	ROCHAS ALCALINAS	ÁGUA MINERAL
	Em leito de rio	Em colinas ou morros	Em planícies aluvionares	Em colinas ou morros	Em planícies aluvionares	Em morros e morrotes	Em morros e colinas	Em morros	Em fontes ou poços
Supressão de vegetação									
Alteração da superfície topográfica									
Impacto visual									
Aceleração de processos erosivos									
Indução de escorregamentos									
Aumento de turbidez e sólidos em suspensão em corpos d'água receptores									
Assoreamento e entulhamento de cursos d'água									
Modificação de cursos d'água									
Alteração do nível do lençol freático									
Alteração das características do solo									
Modificação das formas de uso do solo									
Geração de efluentes líquidos									
Emissão de gases									
Emissão de partículas em suspensão no ar									
Aumento de ruídos									
Ultrançamentos de fragmentos									
Sobrepessão do ar									
Vibrações no solo									
Geração de áreas degradadas abandonadas									
Transtornos relacionados ao aumento do tráfego de veículos pesados									
Riscos de acidentes									
Poluição por óleos e graxas									

Fonte: SMA/IG (2002)

DIAS (2001) fez uma ampla revisão de literatura sobre os impactos da mineração, destacando-se os descritos a seguir.

- **Poluição das águas superficiais:** os poluentes introduzidos nas águas pela mineração podem originar-se do próprio minério, de reagentes introduzidos em operações de tratamento ou ainda de superfícies desprotegidas de vegetação, como taludes nas frentes de lavra, ao longo de acessos, pilhas de minério ou estéril, pátios de manobras, etc, que liberam partículas quando atingidos pelas águas pluviais. Operações auxiliares (instalações sanitárias, refeitórios, oficinas mecânicas, armazenamento de combustíveis, etc) também podem ser responsáveis pela poluição das águas em uma mina. Em São

Paulo, o principal problema de poluição das águas é representado pelas partículas sólidas, que são colocadas em suspensão pela ação das águas pluviais sobre as superfícies desprotegidas das minas ou sobre as pilhas de estéril ou minério armazenadas sem as devidas precauções. É possível, ainda, que estejam presentes nos efluentes do beneficiamento, muitas vezes lançados sem a necessária clarificação prévia. Poluentes orgânicos, óleos e graxas resultantes da falta de controle de operações auxiliares, são também importante fator de poluição. A presença de álcalis nas águas das minas de rochas carbonáticas pode significar impacto em regiões onde estas minerações se concentram.

- **Geração de resíduos sólidos:** um empreendimento minerário pode gerar uma ampla variedade de resíduos sólidos, entre eles o estéril, rejeitos, resíduos provenientes de oficinas (sucatas, panos, estopas, embalagens e tambores contaminados), sucata em geral, resíduos domésticos provenientes de refeitórios, escritórios e almoxarifado e resíduos provenientes de operações de tratamento de efluentes ou esgotos. Os mais importantes quanto ao volume, e também mais característicos da indústria mineira, são os rejeitos e o estéril. No caso do estéril, este pode tornar-se gerador de drenagem ácida quando removido e as pilhas de estéril, mesmo quando constituídas de material quimicamente inerte, são, em geral, muito suscetíveis à erosão, contribuindo significativamente para a contaminação das águas de drenagem com partículas sólidas. As barragens e bacias de rejeitos, apesar de se destinarem à solução de um problema ambiental, são estruturas sujeitas à ruptura, podendo provocar grandes desastres ambientais, colocando em risco a população, obras e bens situados a jusante. Além disso, interferem na ecologia dos sistemas hídricos e ocupam áreas de preservação permanente. Os demais resíduos, dependendo de sua natureza e quantidades, podem também contribuir para a contaminação do solo e das águas;
- **Poluição atmosférica:** entre os poluentes gasosos associados à atividade de mineração, destacam-se os óxidos de carbono (CO e CO₂), o dióxido de enxofre (SO₂), os óxidos de nitrogênio (NO_x), o metano (CH₄) e o radônio (Rn). No grupo dos aerodispersóides, considerado o mais importante e disseminado em todos os tipos de empreendimentos mineiros, enquadram-se as poeiras, partículas sólidas resultantes dos vários processos de desintegração das rochas; a névoa, partículas líquidas produzidas por ruptura de líquidos; os fumos e as neblinas, provenientes da condensação de vapores; a fumaça, constituída de partículas muito finas, sólidas ou líquidas; e a fuligem, resultado da mistura de partículas muito finas de carvão com fumaça e gases de combustão (ESTON, 1994). Além dos efeitos sobre a saúde humana e de outros seres vivos, a presença de particulados no ar acarreta redução da visibilidade; e sua

sedimentação, dependendo da natureza dos material, pode causar danos em edificações e contaminação de solos, vegetação e água. Mesmo material tido como não-tóxico, como o calcário, pode provocar alteração na diversidade de espécies em uma floresta, pelas mudanças que provoca nas características do solo.

- ***Geração de ruídos e sobreposição acústica:*** o sopro de ar ou sobreposição acústica, associado à detonação de cargas explosivas, assim como o som e o ruído pode causar danos ao aparelho auditivo, além de uma série de desordens físicas, mentais e emocionais, como irritabilidade, fadiga, distúrbios do sono, interferência na comunicação oral, queda do nível de atenção, etc. O sopro de ar provocado pela detonação de cargas explosivos pode causar danos a estruturas, que vão desde a quebra de vidraças ao aparecimento de rachaduras no revestimento e até na própria alvenaria.
- ***Vibrações no solo causadas pelo desmonte por explosivos:*** no desmonte de rochas por explosivos, cargas explosivas são detonadas no interior do maciço com o objetivo de fragmentar a rocha, lançando-a sobre a bancada em forma de pilha. A fragmentação é necessária para adequar a granulometria da rocha às máquinas e equipamentos utilizados nas operações de transporte e britagem. Parte da energia liberada na detonação dos explosivos é transmitida para o ambiente, provocando abalos no solo semelhantes aos produzidos por terremotos.
- ***Impactos sobre os ecossistemas:*** as atividades de mineração afetam os ecossistemas principalmente pela alteração ou destruição de *hábitats*, o que, por sua vez, resulta em danos à fauna. Além disso, diversos impactos sobre o meio físico podem causar prejuízos ao meio biológico. Como exemplos desta inter-relação pode-se citar que a geração de poluentes nas águas pode ter efeitos sobre a biota aquática que, considerada no contexto da cadeia alimentar, pode ter reflexo na avifauna, na fauna terrestre e mesmo nos homens, destacando-se a contaminação por mercúrio nos rios e igarapés em áreas de garimpo de ouro na Amazônia. Outro exemplo é o soterramento de comunidades bentônicas por finos provenientes da lavagem de areia em minerações em leito de rio ou em suas margens. A presença de sólidos em suspensão pode atingir vários elementos da cadeia alimentar, resultando no empobrecimento generalizado da população de peixes e na rarefação de certas espécies. A poluição do ar pode causar danos a florestas situadas a distâncias consideráveis dos pontos de emissão. Os ruídos e as vibrações transmitidas pelo ar ou pelo solo podem causar prejuízos à fauna, seja afugentando-a das proximidades, seja causando tensão que venha a se refletir na capacidade de procriação ou de cuidar de suas crias.

- ***Impactos sobre o meio antrópico:*** tais impactos podem ter caráter benéfico ou adverso e o processo de avaliação deve ser capaz de confrontar uns e outros e chegar a um resultado deste balanço entre custos e benefícios. SÀNCHEZ (1995) relacionou os principais impactos da atividade minerária sobre o meio antrópico, sintetizados a seguir.
 - *Impactos sociais:* impacto visual, desconforto ambiental, impactos sobre a saúde, alteração das formas de uso do solo, alteração da dinâmica demográfica, remoção de pessoas, qualificação de mão-de-obra;
 - *Impactos econômicos:* aumento da demanda por serviços sociais, aumento da demanda por infra-estrutura, aumento local de preços de bens e serviços, substituição de atividades econômicas, diminuição da produtividade dos ecossistemas, alteração das opções de uso do solo, aumento da oferta de empregos, incremento da atividade econômica, indução ao desenvolvimento regional, aumento da arrecadação tributária;
 - *Impactos culturais:* perda de patrimônio (benfeitorias, patrimônio histórico, artístico, cultural e arqueológico) e alteração das relações socioculturais.

5. PROPOSTA METODOLÓGICA

A metodologia proposta parte do pressuposto de que a relevância dos impactos ambientais resultantes de uma determinada atividade ou empreendimento está associada principalmente à vulnerabilidade e suscetibilidade dos componentes ambientais da área a ser afetada. Além disso, a eficácia da aplicação das medidas mitigadoras também influencia fortemente no impacto real a ser desencadeado pelo empreendimento.

Entretanto, a eficácia da aplicação das medidas mitigadoras gera um alto grau de incerteza, pois depende de um grande número de fatores subjetivos que envolvem a disponibilidade de técnicas para mitigação de determinados impactos bem como a efetiva aplicação da técnica em si. Por muitas vezes envolver altos custos, a sua aplicação só é realmente efetivada a partir da sua exigência por mecanismos legais e pela fiscalização do órgão ambiental licenciador, bem como pela existência de técnicas e metodologias apropriadas para a real mitigação do impacto.

Deve-se também considerar o grau de eficácia da medida mitigadora. Muitas medidas podem chegar a impedir o desencadeamento de determinado impacto, podendo-se considerá-las como medidas de prevenção do dano ambiental. Entretanto, em muitas situações a aplicação da medida apenas mitiga o impacto, reduzindo sua magnitude, importância e relevância, mas não impede que impactos residuais ocorram. Assim, a simples aplicação da medida, muitas vezes não impedirá que o impacto realmente seja manifestado. A partir deste pressuposto, conclui-se pela inadequação do estabelecido no Artigo 31 do Decreto 4.340/2002, o qual recomenda a consideração de “*impactos não mitigáveis*” para avaliação do grau de impacto ambiental.

Deste modo, o enfoque principal da metodologia se concentrará na avaliação de indicadores que reflitam a vulnerabilidade e potencialidade da área em relação ao desencadeamento de impactos resultantes de determinado empreendimento. Quanto maior for esta vulnerabilidade e potencialidade, maior será o grau de impacto ambiental, e conseqüentemente, os valores de compensação serão maiores.

Outro pressuposto adotado é de que a metodologia deve ser simples e prática, possibilitando a sua aplicação a partir dos procedimentos de avaliação de impactos atualmente adotados pelos órgãos ambientais licenciadores, tanto a nível federal como estadual. Neste contexto, podem surgir dificuldades de padronização da metodologia, considerando a grande diversidade de características ambientais e formas de atuação dos órgãos licenciadores em um país de dimensões continentais como o Brasil. Outra dificuldade para padronização é que diferentes tipos de empreendimentos resultam em impactos sobre componentes ambientais diferentes,

resultando na necessidade de se desenvolver indicadores específicos para cada tipo de empreendimento.

Sendo assim, propõe-se uma metodologia generalizada a partir de indicadores de grau de impacto ambiental que poderão ser adaptados à realidade local e regional, possibilitando a sua associação com outras metodologias e indicadores específicos.

As principais fontes de informação para aplicação da metodologia foram dados exigidos nos estudos ambientais apresentados para licenciamento, entre eles o EIA, conforme pressupõe a Lei nº 9.985/2000 e o Decreto nº 4.340/2002. Esses dados abrangem relevo, pedologia, geologia, uso dos solos, hidrografia, entre outros.

A principal ferramenta para aplicação da metodologia foi o uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), especificamente o SIG IDRISI 32 (Clark University), devido à sua facilidade de uso e baixo custo para fins acadêmicos. A partir destes pressupostos, a metodologia envolve as etapas descritas a seguir.

5.1. DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DA ÁREA DE ESTUDO

Trata-se de uma exigência de todos os estudos de avaliação de impactos, onde são apresentadas informações relativas a vários temas que caracterizam os componentes ambientais da área de implantação do empreendimento.

A principal forma de apresentação dos resultados do diagnóstico ambiental será através da produção de documentos cartográficos, destacando-se informações sobre relevo, pedologia, geologia, uso e ocupação do solo e remanescentes de vegetação nativa. Tais documentos serão produzidos a partir da compilação de mapas já existentes, atualizados a partir de levantamentos em campo e através da interpretação de imagens de sensoriamento remoto.

No caso específico deste trabalho, será utilizado o *software* “CartaLinx” para digitalização dos mapas analógicos e o *software* “IDRISI 32” para análise espacial e classificação de imagens de satélite. As imagens utilizadas são do satélite LANDSAT 7 ETM+. O *software* “AutoCad” será utilizado para edição gráfica dos documentos cartográficos. Cabe ressaltar novamente que os aplicativos propostos aqui poderão ser adaptados de acordo com a experiência, realidade e disponibilidade dos órgãos ambientais licenciadores.

A escala de trabalho adotada foi de 1:50.000 por ser uma escala bastante dinâmica na avaliação de impactos. Os resultados serão apresentados em escala 1:100.000. Para análise final do

grau de impacto ambiental e respectivos valores de compensação ambientais, serão elaborados os seguintes documentos cartográficos básicos:

- Mapa de Documentação;
- Carta de declividades;
- Mapa de formações geológicas de superfície;
- Mapa pedológico;
- Carta de Uso e Ocupação do Solo.

O processo de elaboração destes produtos cartográficos será descrito em detalhes no estudo de caso. Cada um destes produtos resultará em novos subprodutos resultantes da análise espacial, cada um representando o grau de impacto ambiental relativo a cada tema avaliado.

5.2. CONVERSÃO DAS INFORMAÇÕES ESPACIAIS EM INDICADORES DE GRAU DE IMPACTO AMBIENTAL

Realizada através de geoprocessamento, atribui-se valores de grau de impacto ambiental para os vários temas do diagnóstico ambiental, a partir de uma escala quantitativa padronizada. Já que o objetivo desta metodologia é a determinação de valores de compensação ambiental a partir da análise do grau de impacto, não serão considerados os impactos positivos, pois impactos positivos não implicam em compensação.

Para esta etapa deve-se relacionar as informações relativas a cada componente ambiental com o seu grau de impacto ambiental, o que indicará a suscetibilidade ao desencadeamento de impactos identificados preliminarmente. Assim, a partir das cartas digitais atribui-se “pontos” a cada indicador de grau de impacto ambiental, considerando-se uma escala de valores padronizada previamente. Esta atribuição de “pontos” será realizada através de modelagem difusa (“*fuzzy*”) disponível no SIG IDRISI, a qual será descrita em maiores detalhes no estudo de caso. Cada indicador pode ser composto por um ou mais parâmetros ambientais.

Através da técnica de sobreposição de mapas (“*overlay*”), os vários indicadores de grau de impacto ambiental serão agrupados em um mapa final correspondente à média dos valores grau de impacto.

5.3. DETERMINAÇÃO DO VALOR PERCENTUAL DE COMPENSAÇÃO AMBIENTAL

Também realizada através de geoprocessamento, digitaliza-se a área do empreendimento no mapa final de grau de impacto ambiental, calculando-se a média destes valores. Esta média será convertida em uma nova escala quantitativa, representando o percentual dos custos relativos à implantação do empreendimento que deverá ser aplicado como forma de compensação em Unidades de Conservação, conforme dispõem as normas legais.

Adotou-se uma escala de compensação de acordo com o que vem sendo praticado atualmente pelo órgão ambiental licenciador federal, ou seja, o mínimo de 0,50% e o máximo de 5,00%. Por se tratar de uma metodologia dinâmica, tais valores poderão ser adaptados de acordo com a realidade local, desde que se atendendo ao disposto nos instrumentos legais vigentes.

6. DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DA ÁREA DE ESTUDO

6.1. LOCALIZAÇÃO

A área de estudo está localizada na região centro-leste do Estado de São Paulo, abrangendo principalmente áreas dos municípios de Analândia (42,97% da área de estudo) e Descalvado (39,48%). Com menor representatividade, a área também engloba terras dos municípios de Pirassununga (8,91%), Corumbataí (3,85), Santa Cruz da Conceição (2,76%) e São Carlos (1,67%). Destes municípios, apenas Analândia tem toda a sua área urbana inserida nos limites da área de estudo.

Como já foi citado no Capítulo I, esta área foi selecionada por abranger as jazidas de areia industrial mais representativas do Estado e, ao mesmo tempo, ainda abrigar importantes características ambientais que demandam esforços de conservação, como remanescentes de cerrado e floresta estacional semidecidual e formas de relevo de grande beleza cênica.

A definição dos limites da área de estudo (ver Figura 1) foi realizada através da análise de uma imagem do satélite LANDSAT 7 (sensor ETM+, de 27 de abril de 2002) de modo que abrangesse as jazidas de areia e remanescentes de vegetação natural, totalizando 64.500 ha. Desse modo, a área de estudo limita-se pelas seguintes coordenadas do Sistema UTM, zona 23:

$$X_{\text{mínimo}} = 216.500; X_{\text{máximo}} = 238.000;$$

$$Y_{\text{mínimo}} = 7.544.000; Y_{\text{máximo}} = 7.574.000.$$

A base cartográfica da área de estudo (ver Figura 1), em escala 1:50.000, é composta pela articulação das Folhas Descalvado (BRASIL-IBGE, 1971a) e Corumbataí (BRASIL-IBGE, 1971b).

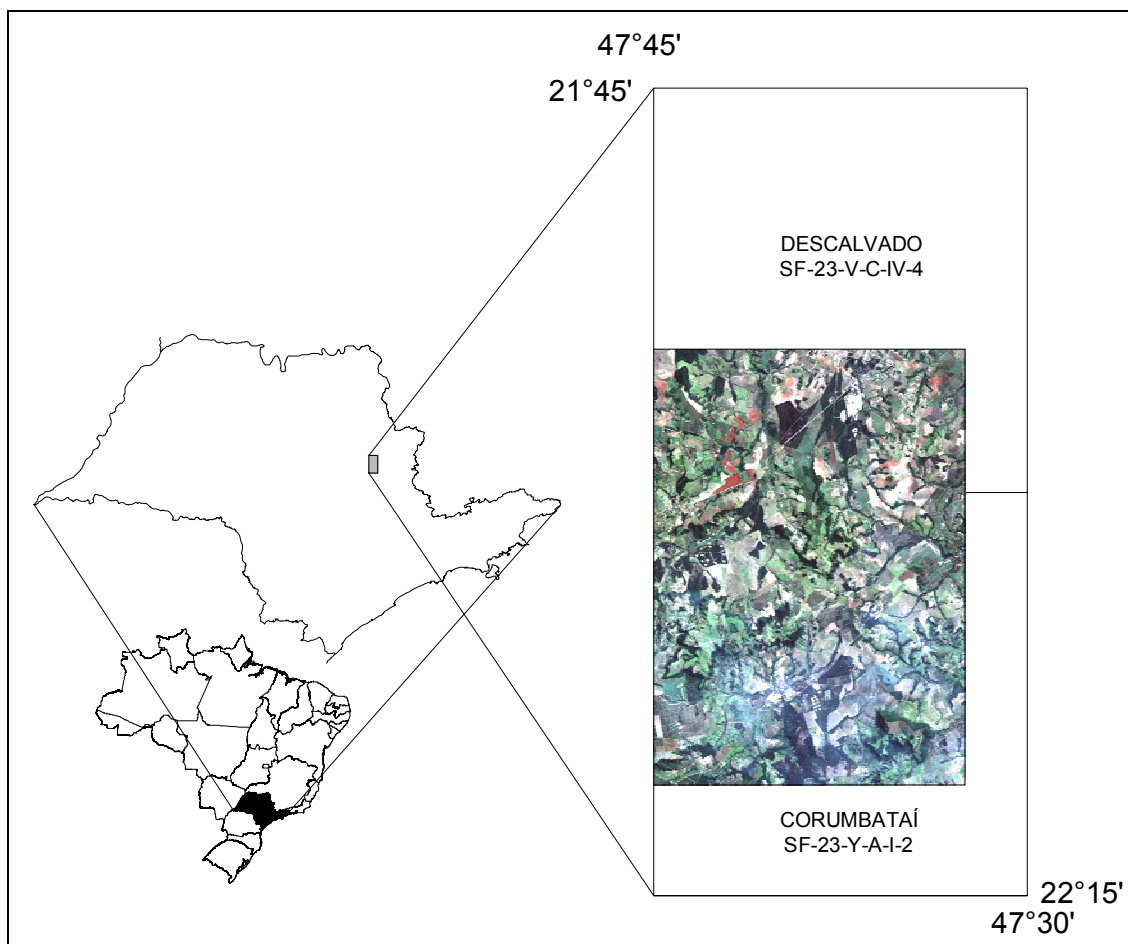


Figura 1. Localização da área de estudo (composição colorida LANDSAT ETM+, bandas 1, 2 e 3) e articulação da base cartográfica (Folhas Descalvado e Corumbataí, escala 1:50.000).

6.2. ASPECTOS SÓCIO-ECONÔMICOS

O diagnóstico sócio-econômico foi realizado a partir de dados secundários concentrados nos municípios de Descalvado e Analândia, já que os mesmos são mais representativos na área de estudo.

A região onde está inserido o Município de Descalvado é considerada uma das mais produtivas do Estado de São Paulo. Segundo o Censo Demográfico 2000 (BRASIL - IBGE), o município possuía em 2000 cerca de 28.921 habitantes e uma população estimada para 2003 de cerca de 29.898 habitantes.

Com uma área de 755,23 km², a base da economia municipal é a agropecuária, tendo como atividades de maior destaque a avicultura, as culturas de laranja e cana de açúcar, e a pecuária. O setor secundário contribui significativamente para a geração de renda do município e é composto por um parque industrial considerado ainda jovem, com empresas instaladas a partir da década de 80. Predominam as atividades de extração de areia, produção de álcool e açúcar e de produtos

alimentícios. O setor terciário tem crescido nos últimos anos, predominando a micro e pequena empresa de administração familiar.

O Município de Analândia abrange uma área de 327 km². Este município foi elevado à categoria de Estância Climática devido às suas características geológicas e geomorfológicas únicas. As principais atividades econômicas são o turismo, mineração de areia, avicultura, agricultura – principalmente laranja e cana-de-açúcar – e pecuária (NARDY, 1999). Segundo o Censo Demográfico 2000 (BRASIL-IBGE), o município possuía em 2000 cerca de 3.582 habitantes e uma população estimada para 2003 de cerca de 3.755 habitantes.

6.3. UNIDADES DE CONSERVAÇÃO

A área de estudo tem parte de suas terras inseridas na Área de Proteção Ambiental Estadual de Corumbataí-Botucatu-Tejupá (Perímetro Corumbataí) e na Área de Proteção Ambiental Municipal de Descalvado, além do Parque Municipal de Analândia.

A APA de Corumbataí foi criada pelo Decreto Estadual nº 20.960, de 8 de junho de 1983, com o objetivo principal de proteção das *cuestas* e dos rios que cortam a região, existindo ainda outros biótopos de igual importância (MORAES, 1985). Esta APA abrange 15 municípios do Estado de São Paulo, e o município de Analândia tem cerca de 69% de sua área total localizada dentro dos limites da APA. A criação da APA de Corumbataí foi motivada em grande parte pela presença das *cuestas* arenito-basálticas, cuja existência confere características ambientais específicas à paisagem, por apresentar-se como área de contato entre a Depressão Periférica e o Planalto Arenito-Basáltico (OLIVEIRA, 1995).

OLIVEIRA (1995) propôs a criação de uma Área de Proteção Ambiental (APA) em Descalvado, a qual foi criada em junho de 1996 através da Lei 1600, totalizando cerca de 40.000 ha, abrangendo as porções sul e central. Os seus limites foram traçados em função das bacias dos dois principais rios que cortam o município. O Ribeirão do Pântano, que tem suas nascentes protegidas pela APA Estadual de Corumbataí, foi incluído em toda a extensão contida no município, até desembocar no Rio Mogi-Guaçu. A Bacia do Rio Bonito foi incluída nas áreas de abrangência das nascentes e do curso médio do rio. A APA proposta atinge apenas a área rural, sendo excluídas tanto a zona urbana e a área onde se localizam indústrias e mineradoras de areia de grande porte, por apresentarem graus de alteração antrópica que dificultam a implantação de programas de conservação ambiental. Segundo informações fornecidas pessoalmente pela autora, a APA municipal de Descalvado foi criada em 1997 e atualmente existe um decreto em fase de análise para incluir a APA municipal e a bacia do rio Bonito na APA estadual de Corumbataí.

6.4. ASPECTOS CÊNICOS

Segundo NARDY (1999) os morros do Camelo e do Cuscuzeiro são pontos de grande beleza cênica que identificam o Município de Analândia. O morro do Cuscuzeiro (ver Figura 2) recebe muitos visitantes, principalmente com o interesse de escalar as inúmeras vias de montanhismo que ali se encontram. O morro do Camelo é menos explorado turisticamente, mas novas vias de montanhismo vem sendo abertas em suas encostas, além de concentrar acampamentos improvisados.

Outros pontos de interesse cênico-paisagístico estão representados pelas cachoeiras e quedas d'água da região, destacando-se no Município de Analândia o Salto Major Levy, Saltinho, Ponte Amarela, Cachoeira da Bocaina e Cachoeira do Sítio Fonte Limpa; no Município de Descalvado destaca-se o Salto do Pântano - cachoeira localizada no Ribeirão do Pântano com cerca de 50 metros de queda d'água – e o Salto do Gasoso, de menor porte e visitação turística.

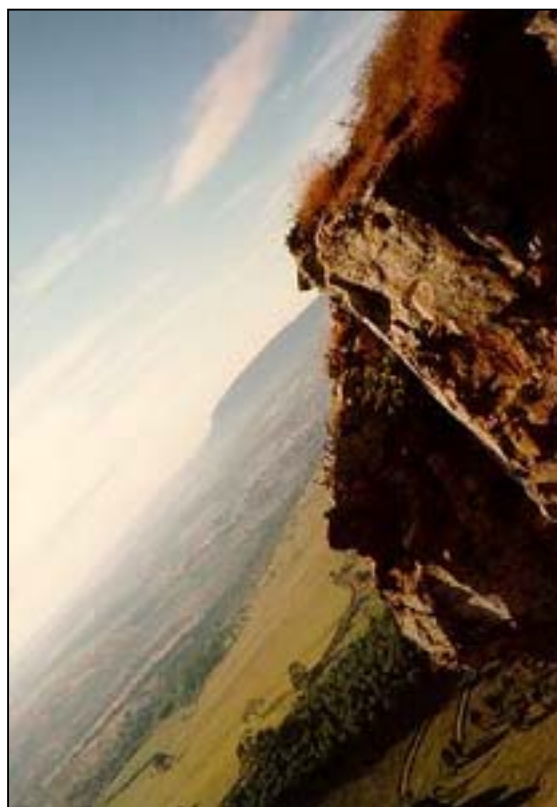


Figura 2. Foto tirada do topo do Morro do Cuscuzeiro, com vista para o município de Analândia e a Serra do Atalaia ao fundo (foto do autor).

6.5. CLIMA

Baseado na classificação de Köppen, KOFFLER (1993) descreveu o clima na região como do tipo Cwa, ou seja, subtropical, de inverno seco, verão quente e chuvoso e com temperatura média do mês mais quente superior a 22° C.

No município de Descalvado, as temperaturas mínimas ocorrem no mês de Julho, com média em torno de 18,1 °C. As máximas ocorrem no mês de Fevereiro, com médias em torno de 24,2 °C, resultando em uma temperatura média anual de 21,7°C. A precipitação total anual chega a valores médios em torno de 1.348 mm. O período chuvoso abrange os meses de outubro a março, ocorrendo deficiência hídrica entre os meses de abril até o final de setembro (ver Tabela 1). A Figura 3 mostra o balanço hídrico normal mensal e a Figura 4 mostra o extrato do balanço hídrico mensal ao longo do ano no Município de Descalvado.

Tabela 1. Dados climáticos do município de Descalvado (período de 1941 a 1970)

Mês	T (°C)	P (mm)	ETP	ARM (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Jan	24,1	259	120	100	120	0	139
Fev	24,2	208	110	100	110	0	98
Mar	23,7	159	111	100	111	0	48
Abr	21,7	46	82	70	76	6	0
Mai	19,5	38	62	55	53	9	0
Jun	18,2	33	49	47	41	8	0
Jul	18,1	21	49	36	33	17	0
Ago	20,0	23	65	23	35	29	0
Set	21,5	50	79	18	56	23	0
Out	22,5	126	96	48	96	0	0
Nov	23,0	167	103	100	103	0	12
Dez	23,5	218	116	100	116	0	102
TOTAIS	260,0	1.348	1.040	796	949	91	399
MÉDIAS	21,7	112	87	66	79	8	33

Fonte: EMBRAPA/CNPM

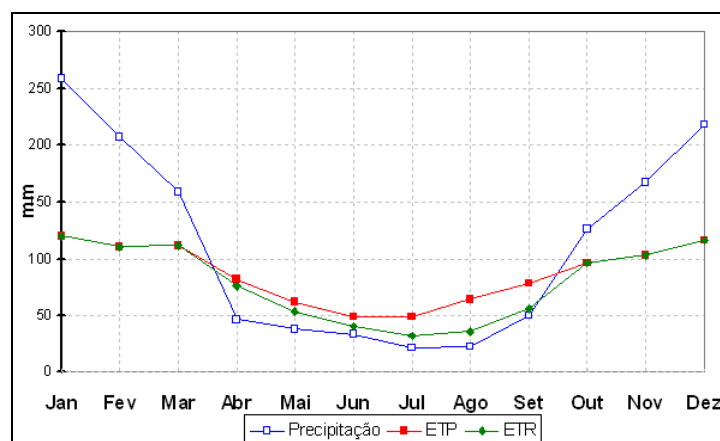


Figura 3. Balanço hídrico normal mensal do Município de Descalvado.

Fonte: EMBRAPA/CNPM

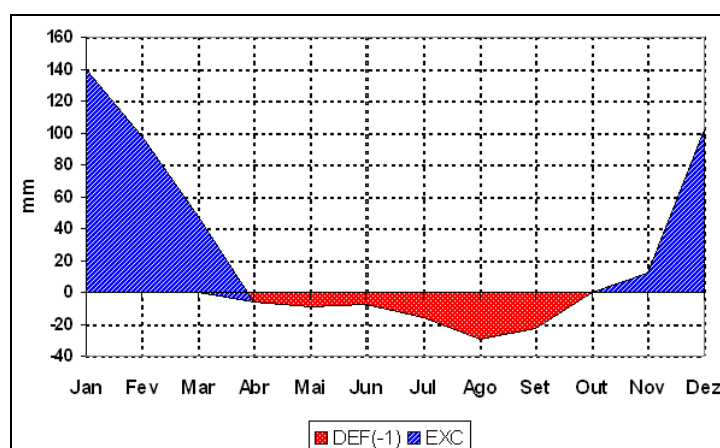


Figura 4. Extrato do balanço hídrico mensal do Município de Descalvado.

Fonte: EMBRAPA/CNPM

No município de Analândia, os valores de temperatura e precipitação são ligeiramente inferiores aos do município de Descalvado. As temperaturas mínimas também ocorrem no mês de Julho, com média em torno de 17,7 °C. As máximas também ocorrem no mês de Fevereiro, com médias em torno de 23,9 °C, resultando em uma temperatura média anual de 21,3°C. A precipitação total anual chega a valores médios em torno de 1.254 mm. O período chuvoso abrange os meses de novembro a março, ocorrendo deficiência hídrica entre os meses de abril até o final de outubro (ver Tabela 2). A Figura 5 mostra o balanço hídrico normal mensal e a Figura 6 mostra o extrato do balanço hídrico mensal ao longo do ano no Município de Analândia.

Tabela 2. Dados climáticos do município de Analândia (período de 1941 a 1970)

Mês	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	ARM (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Jan	23,8	239	117	100	117	0	122
Fev	23,9	208	108	100	108	0	100
Mar	23,4	140	109	100	109	0	31
Abr	21,4	46	80	71	75	5	0
Mai	19,1	38	60	57	52	8	0
Jun	17,9	35	48	50	42	6	0
Jul	17,7	20	48	38	32	16	0
Ago	19,5	25	62	26	37	25	0
Set	21,1	50	76	20	56	20	0
Out	22,1	121	93	48	93	0	0
Nov	22,7	139	101	87	101	0	0
Dez	23,2	193	113	100	113	0	67
TOTAIS	255,8	1.254	1.014	798	934	80	320
MÉDIAS	21,3	105	84	66	78	7	27

Fonte: EMBRAPA/CNPM

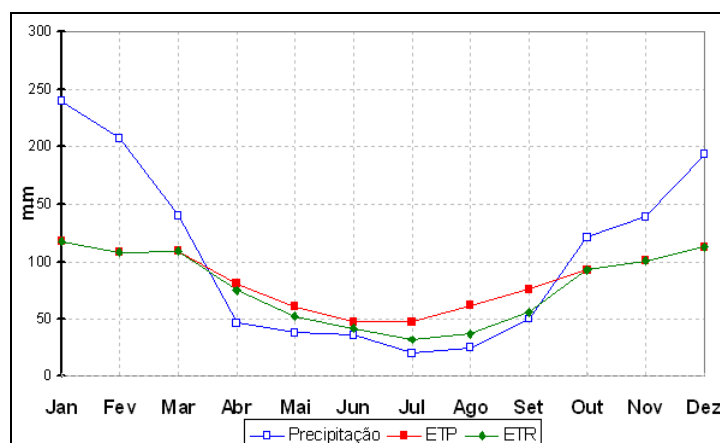


Figura 5. Balanço hídrico normal mensal do Município de Analândia.

Fonte: EMBRAPA/CNPM

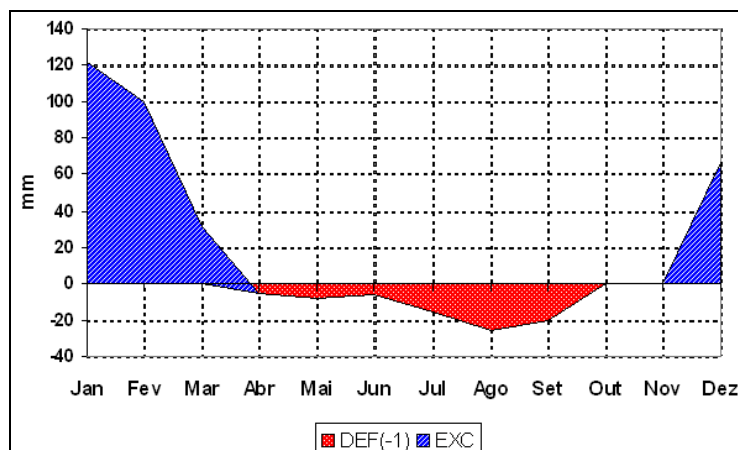


Figura 6. Extrato do balanço hídrico mensal do Município de Analândia.

Fonte: EMBRAPA/CNPM

6.6. HIDROGRAFIA

O Estado de São Paulo é dividido em 22 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRH). Essas UGRH foram criadas com o intuito de favorecer o planejamento e a utilização integrada dos recursos hídricos do Estado procurando a resolução de conflitos como o desequilíbrio entre demanda e disponibilidade de água e a manutenção de uma boa qualidade da água (FAPESP/Biota, 2000).

A área de estudo em questão está inserida nos limites de duas UGRH, as sub-bacias do Mogi-Guaçu e do Piracicaba-Capivari-Jundiaí. Os principais rios da área de estudo são listados a seguir, de acordo com sua respectiva UGRH:

- **UGRH do Mogi-Guaçu.** rio Bonito, ribeirão do Pântano e ribeirão Descaroador. Segundo SILVA (2002), a bacia hidrográfica do Mogi-Guaçu tem demonstrado diversos problemas ambientais devido ao processo de interiorização da indústria e do avanço tecnológico, aliado aos ganhos de produtividade agropecuária estadual. Em consequência disso, o rio Mogi-Guaçu tem recebido uma carga poluidora de, aproximadamente, 83,9 t DBO₅/dia, que provém de 46 municípios. Da mesma forma, outros contaminantes químicos industriais, gerados por aproximadamente 250 indústrias, bem como os agrícolas, têm contribuído de forma acelerada para a alteração da qualidade das águas desse rio.

MORAES & LORANDI (2004) analisaram as restrições legais ao uso do solo na Bacia do Rio Bonito e os principais impactos ambientais decorrentes desse uso, bem como a efetividade da legislação ambiental na proteção de seus recursos naturais. Os resultados mostram que a legislação brasileira, apesar de bastante abrangente, não tem sido respeitada, tornando-se incapaz de garantir a conservação de seus recursos naturais, visto que num período de vinte e sete anos, 24% das áreas de vegetação nativa (cerrado e mata) foram desmatadas, houve

um aumento de quase 300% nas atividades de extração de areia e a qualidade de seus corpos d'água não está de acordo com os parâmetros estabelecidos por lei.

- **UGRH do Piracicaba-Capivari-Jundiá:** rio Corumbataí, o qual vem sofrendo processo de assoreamento acelerado provocado por mineração de areia entre outras atividades, o que pode comprometer o abastecimento de água de cidades à jusante, bem como inundações; O rio Corumbataí nasce na região da Serra do Cuscuzeiro a 1058 metros de altitude no município de Analândia. Após 110 km de percurso, passando por 8 municípios, chega-se à foz no rio Piracicaba em aproximadamente 470 metros de altitude.

Segundo VALENTE (2001), o rio Corumbataí assume importância regional pelo seu potencial hídrico, capaz de abastecer municípios que estão em sua totalidade dentro da bacia do Corumbataí, e ainda, por apresentar condições para o abastecimento de municípios, onde existam problemas de abastecimento hídrico de qualidade e em quantidade, e que não estão totalmente em seus limites.

6.7. HIDROGEOLOGIA

Os recursos hídricos subterrâneos representam parcela do ciclo hidrológico que flui para o subsolo. A combinação do ciclo hidrológico com as características climáticas da região, responsáveis pelas condições de recarga e descarga hídricas nos sistemas hidrogeológicos, constitui a base da definição dos sistemas hidrogeológicos ou aquífero (SÃO PAULO-SMA, 1995).

Na área de estudo em questão ocorre o Aquífero Guarani, que é a principal reserva subterrânea de água doce da América do Sul e um dos maiores sistemas aquíferos do mundo, ocupando uma área total de 1,2 milhões de km² na Bacia do Paraná e parte da Bacia do Chaco-Paraná. Estende-se pelo Brasil (840.000 Km²), Paraguai (58.500 Km²), Uruguai (58.500 Km²) e Argentina, (255.000 Km²). Sua maior ocorrência se dá em território brasileiro (2/3 da área total), abrangendo os Estados de Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (SÃO PAULO-SMA, 2000).

O Aquífero Guarani constitui-se em uma importante reserva estratégica para o abastecimento da população, para o desenvolvimento das atividades econômicas e do lazer. Sua recarga natural anual (principalmente pelas chuvas) é de 160 Km³/ano, sendo que desta, 40 Km³/ano constitui o potencial explorável sem riscos para o sistema aquífero. As águas em geral são de boa qualidade para o abastecimento público e outros usos, sendo que em sua porção confinada, os poços têm cerca de 1.500 m de profundidade e podem produzir vazões superiores a 700 m³/h.

Segundo SÃO PAULO-SMA (1995) a vulnerabilidade de um aquífero à poluição significa sua maior ou menor suscetibilidade em ser afetado por carga contaminante, condicionada por fatores

naturais, como acessibilidade da zona saturada à penetração de poluentes e capacidade de atenuação da carga poluidora. IG/CETESB/DAEE (1993) *apud* SÃO PAULO-SMA (1995) considera que o Aquífero Guarani apresenta altos índices de vulnerabilidade, por sua constituição arenosa, com baixo teor de argila e caráter homogêneo. Os maiores índices ocorrem nas áreas onde os aquíferos estão a menos de 10 m de profundidade.

No que se refere à vulnerabilidade dos aquíferos, no local desta pesquisa, SÃO PAULO-IG (1997) apresentam as seguintes classificações (índice):

- a) Aquífero Botucatu: ALTO alto e MÉDIO alto;
- b) Aquífero Pirambóia: ALTO baixo, MÉDIO alto e MÉDIO baixo.

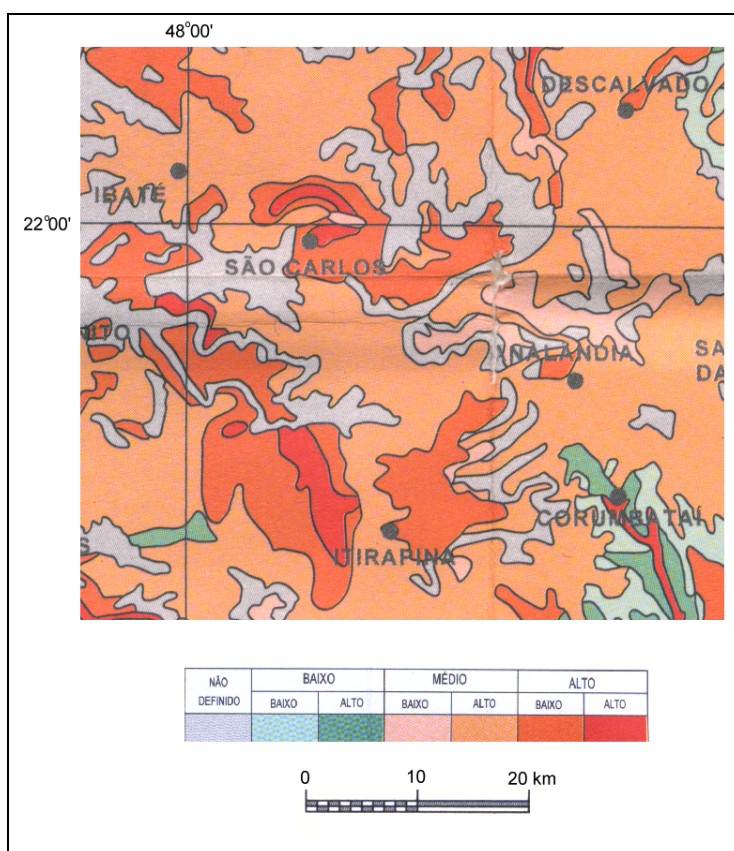


Figura 7. Detalhe do Mapa de Vulnerabilidade e Risco de Poluição das Águas Subterrâneas da área de estudo.

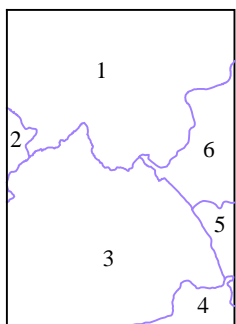
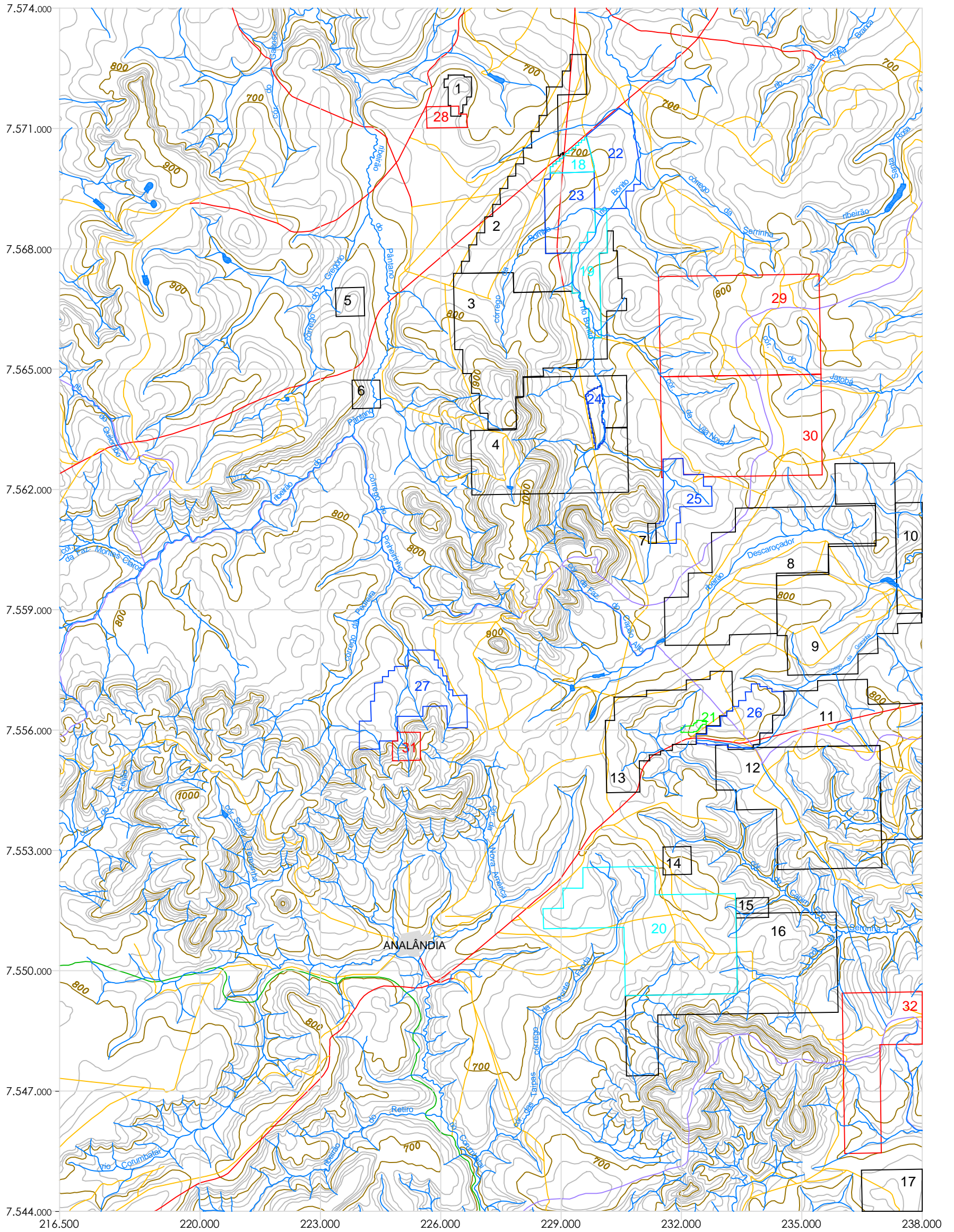
Fonte: modificado de São Paulo/Instituto Geológico. 1997.

Em 1988, o Conselho de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo – através da Deliberação CRN nº 18 – declarou como Área de Proteção Máxima (APM) “a região compreendida pelo afloramento do Aquífero Botucatu-Pirambóia e as áreas limítrofes com no mínimo 1 km de largura (...) localizadas nos compartimentos Médio Mogi Superior e Médio Pardo Superior...” (São Paulo; Deliberação CRH nº 18/98).

6.8. MAPA DE DOCUMENTAÇÃO

Foi produzido a partir da conversão das bases cartográficas analógicas em escala 1:50.000 das Folhas Descalvado (BRASIL-IBGE, 1971a) e Corumbataí (BRASIL-IBGE, 1971b), para o formato digital georreferenciado. Através de um “*scanner*”, foram gerados arquivos digitais de imagem no formato matricial (“*raster*”). Cada arquivo foi vetorizado através do software *CARTALINX versão 1.04* pelo procedimento de digitalização em tela (“*on-screen digitizing*”). Desse modo, para cada carta utilizada foram gerados três planos de informação: rede viária (estradas pavimentadas, não pavimentadas e estradas de ferro), hidrografia (cursos e corpos d’água) e topografia (curvas de nível). Um plano de informação representa uma coleção de feições geográficas e seus atributos (HAGAN, EASTMAN & AUBLE, 1998).

Cada plano de informação foi georreferenciado para o sistema Universal Transverso de Mercator (UTM) zona 23 e exportada em formato vetorial para poder ser analisada no *software IDRISI 32*. O Mapa de Documentação (ver Figura 8) contém informações sobre altimetria (curvas de nível), hidrografia (cursos e corpos d’água), rede viária (estradas pavimentadas e sem pavimentação), áreas urbanas e polígonos de processos de licenciamento mineral. Para fins de edição gráfica e impressão, o Mapa de Documentação foi finalizado no *software AutoCad*.

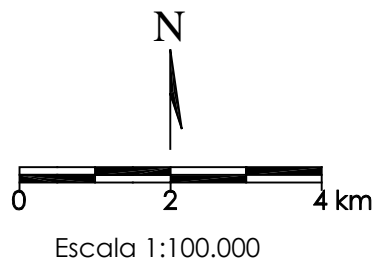


Limites municipais:
 1. Descalvado
 2. São Carlos
 3. Analândia
 4. Corumbataí
 5. Sta. Cruz da Conceição
 6. Pirassununga

SITUAÇÃO DOS PROCESSOS DE LICENCIAMENTO MINERÁRIO (SMA/IG, 2000)

- Autorização de Pesquisa
- Requerimento de Lavra
- Licenciamento
- Concessão de Lavra
- Requerimento de Pesquisa

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR
 Origem da quilometragem: Equador e Meridiano 45° W. Gr. acrescidas as constantes 10000 km e 500 km, respectivamente.
 Datum vertical: marégrafo Ibituba, SC
 Datum horizontal: Córrego Alegre, MG
 Equidistância das curvas de nível: 20 m
 Mapa produzido através da digitalização das Folhas Topográficas Descalvado e Corumbataí (BRASIL-IBGE, 1971)



- Estradas pavimentadas
- Estradas não pavimentadas
- Estrada de Ferro

Universidade Federal de São Carlos
 Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais
 Grupo de Geologia de Planejamento do Meio Físico - CNPq/DECiv

"Proposta Metodológica para Subsidiar a Determinação do Grau de Impacto Ambiental em Empreendimentos Minerários na Região de Descalvado e Analândia"

Fabio Enrique Torezan
 Reinaldo Lorandi (orientador)

MAPA DE DOCUMENTAÇÃO

6.9. ALTIMETRIA

A caracterização da altimetria da área de estudo foi realizada a partir da análise espacial das informações contidas nas bases cartográficas em escala 1:50.000 das Folhas Descalvado (BRASIL-IBGE, 1971a) e Corumbataí (BRASIL-IBGE, 1971b), de acordo com os procedimentos descritos a seguir.

6.9.1. Modelo numérico do terreno

O termo Modelo Numérico do Terreno (ou MNT) é utilizado para denotar a representação quantitativa de uma grandeza que varia continuamente no espaço. Comumente associados a altimetria, também podem ser utilizados para modelar grandezas geoquímicas, como o teor de minerais, ou propriedades do solo, como o teor de matéria orgânica, a acidez ou a condutividade elétrica. Pode ser definido como um modelo matemático que reproduz uma superfície real a partir de algoritmos e de um conjunto de pontos (x, y), em um referencial qualquer, com atributos denotados de z, que descrevem a variação contínua da superfície. (CÂMARA & MEDEIROS, 1996).

No presente estudo produziu-se um MNT associado a altimetria, ou seja, os valores de x e y representam as coordenadas geográficas no sistema UTM e os valores de z representam as altitudes em metros. Este MNT (Figura 9) foi elaborado no *SIG IDRISI 32*, a partir das curvas de nível que foram digitalizadas previamente, utilizando-se dos seguintes procedimentos:

- Geração de uma rede triangular irregular (“*triangulated irregular network*” – TIN), através do módulo DATA ENTRY → SURFACE INTERPOLATION → TIN INTERPOLATION → TIN;
- Geração do MNT propriamente dito, através do módulo DATA ENTRY → SURFACE INTERPOLATION → TIN INTERPOLATION → TINSURF, resultando em uma imagem “raster” composta por 716 colunas e 1000 linhas, apresentando uma resolução geométrica de 30 metros (isto é, cada “*pixel*” da imagem representa uma área no terreno de 0,09 ha).

A partir deste MNT foram produzidos a Carta de Declividades e um Modelo Ortogonal da área de estudo. As variações altimétricas encontradas na área de estudo situam-se entre a mínima de 574 m e máxima de 1053m, com um desnível total de 479 m e uma média de 782 m. As áreas de maior altitude ocorrem no topo dos relevos em forma de “cuestas”, como o Serrote de Descalvado, a Serra do Cuscuzeiro e a Serra do Atalaia. As áreas de menor altitude ocorrem nas várzeas do ribeirão do Pântano, rio Bonito e rio Corumbataí.

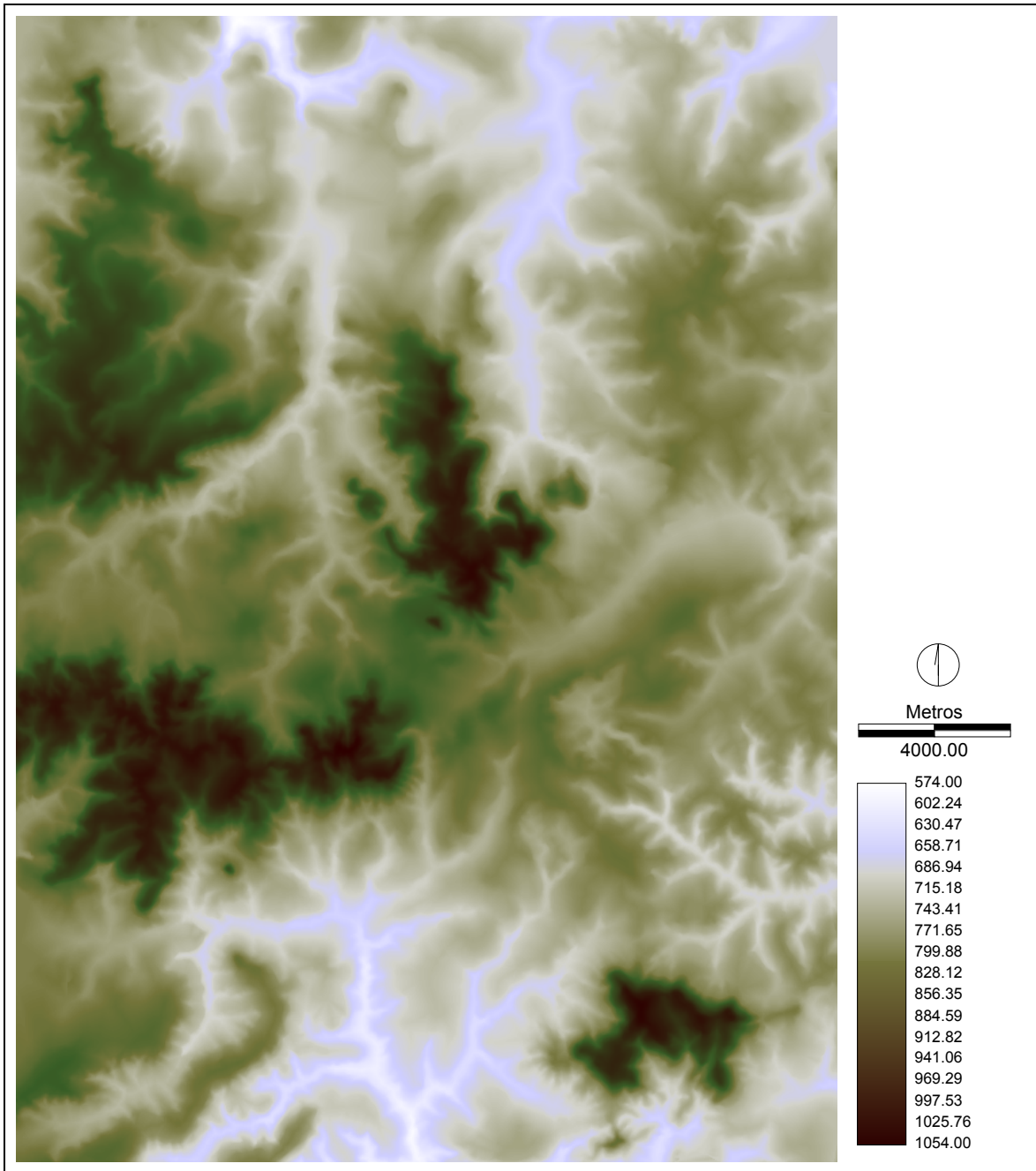


Figura 9. Modelo Numérico do Terreno (altitudes em metros).

A Figura 10 sintetiza a distribuição das classes hipsométricas na área de estudo, revelando que a maior parte da área (63%) abrange altitudes entre 717 e 861 m e as altitudes extremas (entre 573 e 621 m e superiores a 1005 m) limitam-se a menos de 2% da área.

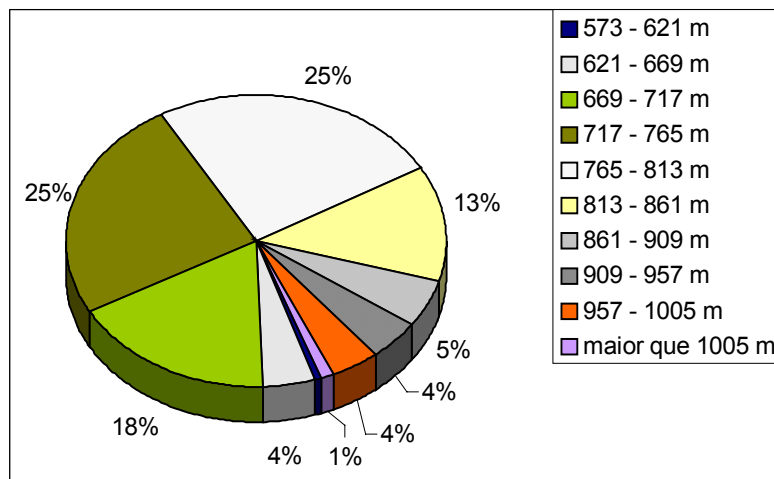


Figura 10. Distribuição relativa das classes hipsométricas na área de estudo.

6.9.2. Carta de declividades (clinometria)

A partir do Modelo Numérico do Terreno, foi elaborado a Carta de Declividades ou Clinométrica (Figura 12). As cartas de declividade têm se constituído em uma ferramenta de grande importância por representarem espacialmente as variações topográficas da superfície do terreno (GUERRA, 1998). Das técnicas mais utilizadas na elaboração das cartas de declividade destacam-se as propostas por WENTWORTH (1930), DE BIASI (1970) e outras, executadas por diferentes Sistemas de Informação Geográficas como o IDRISI e ARC-INFO.

Segundo GUERRA (1996), a elaboração das cartas de declividade através de sistemas de informação geográfica, considera a área trabalhada como uma matriz bidirecional e a determinação da declividade de cada célula (“*pixel*”) será função da distribuição das curvas de nível previamente digitalizadas. Os métodos computacionais apresentam como grande vantagem sua extrema rapidez, desde que, as curvas de nível tenham sido previamente digitalizadas. Entretanto, esta técnica não considera a influência dos vales fluviais na caracterização das zonas de isodeclividade, nem tampouco a existência de topos elevados.

Para facilitar a visualização das classes de declividade de forma mais abrangente e sintética, a imagem resultante da carta de declividades foi reclassificada adotando-se as seguintes classes: de 0 a 2%, de 2 a 5%, de 5 a 10%, de 10 a 15%, de 15 a 20%, de 20 a 30%, de 30 a 45% e maior que 45%.

A partir do SIG IDRISI, obteve-se a área que cada classe de declividade ocupa na área de estudo, através do módulo ANALYSIS → DATABASE QUERY → AREA. Os resultados (ver Figura 11) indicam a predominância (37% da área de estudo) de declividades entre 5 e 10%, seguida das classes de declividades mais suaves (entre 0 e 5%). As classes de declividade mais acentuada (superiores a 30%) ocupam 5% da área de estudo e estão localizadas predominantemente nas

escarpas dos relevos em forma de “*cuestas*” (Serra do Cuscuzeiro, Serra do Atalaia e Serrote de Descalvado).

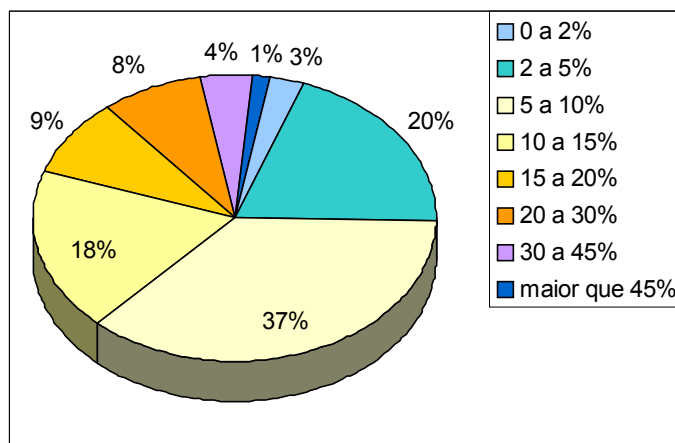
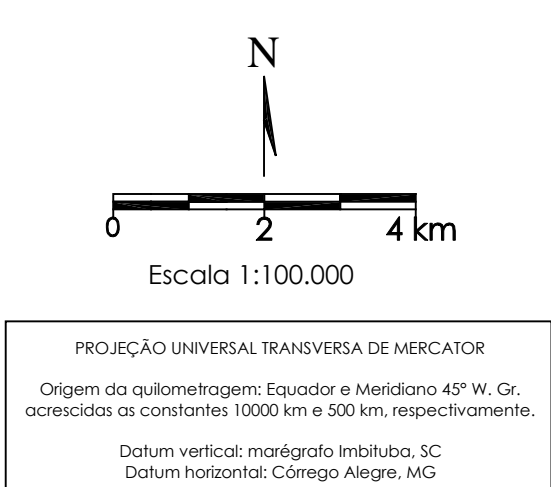
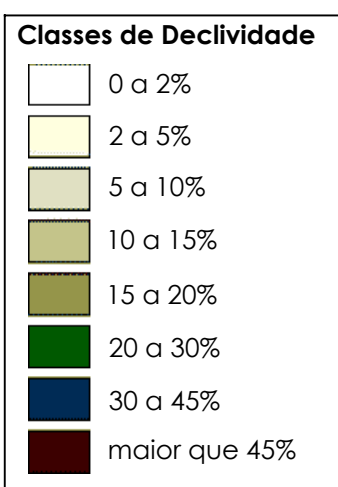
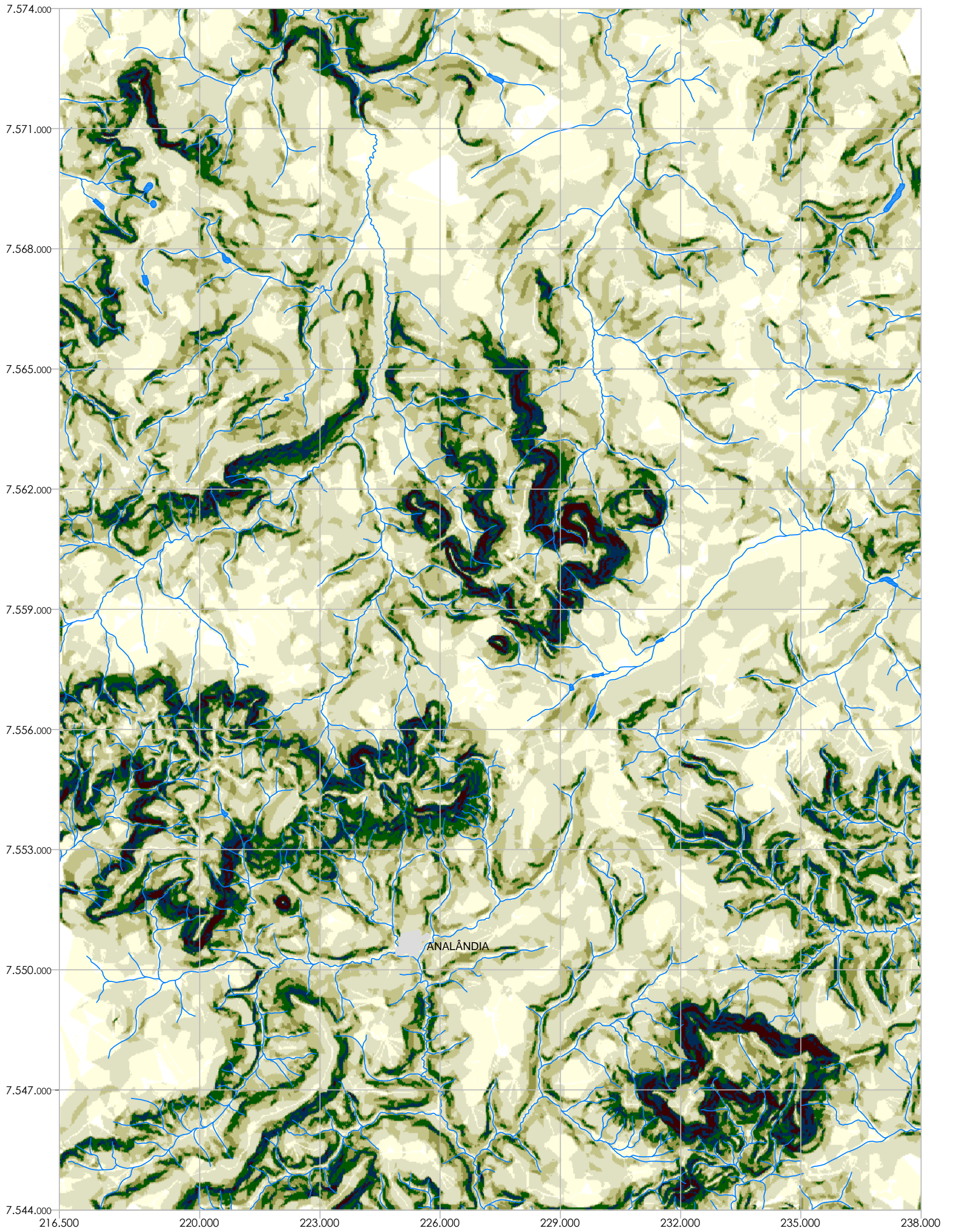


Figura 11. Distribuição relativa das classes de declividade na área de estudo.

6.9.3. Modelo Ortogonal da Área de Estudo

Para efeitos ilustrativos, através do SIG IDRISI produziu-se uma imagem tridimensional (modelo ortogonal) representando o relevo da área de estudo (Figura 13). Esta imagem foi composta a partir da associação do Modelo Numérico do Terreno (representando a altimetria da área) com uma composição colorida das bandas 1, 2 e 3 do satélite LANDSAT 7 ETM+, através do módulo DISPLAY → ORTHO. Este modelo dá uma visão geral da área de estudo, onde podem ser localizadas algumas feições como áreas de mineração, área urbana de Analândia e as *cuestas* da região (Serra do Cuscuzeiro, do Atalaia e Serrote de Descalvado).



Universidade Federal de São Carlos Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais Grupo de Geologia de Planejamento do Meio Físico - CNPq/DECiv
"Proposta Metodológica para Subsidiar a Determinação do Grau de Impacto Ambiental em Empreendimentos Minerários na Região de Descalvado e Analândia"
Fabio Enrique Torezan Reinaldo Lorandi (orientador)
CARTA DE DECLIVIDADES

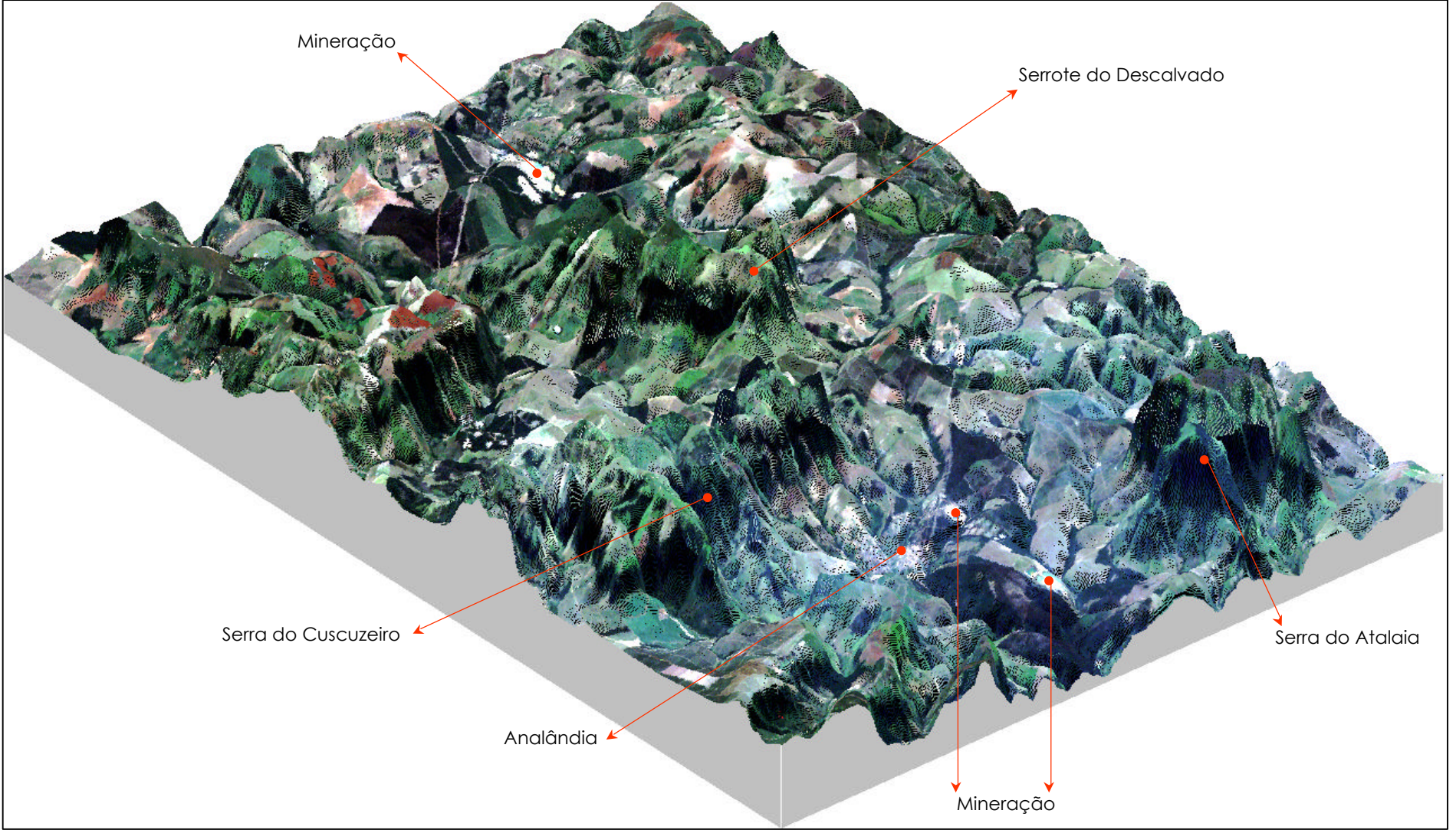


Figura 13. Modelo Ortogonal da Área de Estudo

6.10. GEOMORFOLOGIA

Quanto à geomorfologia, a área de estudo está inserida na Unidade Morfoestrutural Bacia Sedimentar do Paraná, na Unidade Morfoescultural do Planalto Ocidental Paulista.

Segundo LOCZY & LADEIRA (1976), a Bacia Sedimentar do Paraná abrange uma área de cerca de 1.600.000 km². Seu embasamento constitui-se principalmente de rochas cristalinas pré-Cambrianas e subordinadamente por rochas eo-paleozóicas afossilíferas. Sua estrutura tectônica é o resultado final de falhamentos verticais, inexistindo dobramentos tangenciais regionais. Quase todas as falhas profundas encontram-se preenchidas por diabásio, havendo abundantes e extensas soleiras (*sills*).

O Planalto Ocidental Paulista “...situa-se essencialmente sobre rochas do Grupo Bauru, que é constituído por diversas formações predominantemente areníticas, em algumas regiões cimentadas por carbonato de cálcio. Basaltos expõem-se nos vales dos principais rios em ocorrências descontínuas, exceto ao longo do Paranapanema e do Pardo, onde afloram extensivamente.” (IPT, 1981).

No Planalto Ocidental Paulista, a maior parte da área de estudo distribui-se sobre a unidade morfoescultural denominada Planalto Residual de São Carlos, tendo uma pequena porção inserida sobre a unidade morfoescultural denominada Patamares Estruturais de Ribeirão Preto.

O Planalto Residual de São Carlos “corresponde ao reverso da Cuesta no interflúvio Tietê/Mogi-Guaçu. Nesta unidade predominam formas de relevo denudacionais cujo modelado constitui-se basicamente por colinas de topos convexos (Dc) e tabulares(Dt). Os tipos de Padrões de Formas Semelhantes são Dc22, Dc23, Dc33, Dc34 com vales de entalhamento variando de 20 a 80 m e dimensão interfluvial média variando de 250 a 3750m e Dt11 com os vales com entalhamento inferior a 20m e dimensão interfluvial acima de 3750m. Apresenta formas de dissecção média, com vales entalhados e densidade de drenagem média a alta, o que implica, portanto em um nível de fragilidade potencial médio a baixo, para os terrenos pouco dissecados e alto a muito alto para os terrenos muito dissecados do tipo Dc23, Dc33 e Dc34” (ROSS & MOROZ, 1997).

A unidade morfoescultural denominada Patamares Estruturais de Ribeirão Preto apresenta formas de relevo denudacionais, cujo modelado constitui-se basicamente por colinas amplas e baixas com topos tabulares (Dt), tipos Dt11, Dt12 e Dt13, tendo os vales entalhamento médio com menos de 20m e a dimensão interfluvial varia de 750m até mais de 3750m. Por apresentar formas de relevo pouco dissecado com vales pouco entalhados, com vertentes de declividades baixas e solos argilosos e baixa densidade de drenagem esta unidade apresenta fragilidade potencial muito baixa, ou seja, com baixo potencial erosivo (ROSS & MOROZ, 1997).

OLIVEIRA (1995) realizou o diagnóstico morfopedológico da proposta Área de Proteção Ambiental de Descalvado, como uma forma de representar a divisão das terras em unidades

espaciais, caracterizadas pela análise integrada de fatores ambientais. Obteve-se como produto final o Mapa Morfopedológico, produzido com auxílio de imagem de satélite, levando-se em consideração a natureza e forma do material de superfície e com a análise integrada dos elementos de caráter biológico e antrópico. Através de uma abordagem analítica do meio foram identificadas unidades homogêneas quanto à dinâmica funcional das paisagens, fornecendo embasamento para análises sobre a aptidão de exploração agroeconômica e evidenciando para cada unidade os aspectos relevantes dentro da gestão ambiental. Assim, foram identificadas 4 unidades morfopedológicas e suas subunidades correspondentes:

- **Frente de Cuesta (Figura 14):** cobertura de cimeira, topos mistos, vertentes íngremes, escarpas mistas, glacis e morros basálticos;
- **Tabuleiros:** topos planos, patamares basálticos, escarpas ravinadas, glacis e vertentes, vertentes inferiores;
- **Reverso de Cuesta:** topos superiores, topos abaulados, glacis laterais e baixos glacis; e,
- **Entalhes Fluviais:** fundo de vale superior, fundo de vale inferior e terraços laterais.



Figura 14. Frente de cuesta da Serra do Cuscuzeiro (foto do autor)

Na área de estudo destacam-se na paisagem a Serra do Cuscuzeiro (Figura 14) - onde podem ser encontradas inúmeras cachoeiras, a Serra do Atalaia (Figura 15), os morros do Camelo e do Cuscuzeiro (Figura 16) e o Serrote de Descalvado.



Figura 15. Serra do Atalaia (foto do autor)



Figura 16. Morro do Camelo (primeiro plano) e Morro do Cuzuzeiro (foto do autor).



Figura 17. Serrote de Descalvado (foto do autor).

6.11. GEOLOGIA

Para a caracterização e diagnóstico ambiental da área de estudo foi produzido o Mapa de Formações Geológicas de Superfície (Figura 19) a partir da compilação dos Mapas Geológicos das folhas Descalvado (SÃO PAULO-IG, 1984) e Corumbataí (SÃO PAULO-IG, 1984b), ambos em escala 1:50.000.

Foram digitalizados os limites das unidades estratigráficas e outras feições geológicas como falhas e diques de diabásio, através do *software* CartaLinx, utilizando-se o método de digitalização “em tela” (*on screen digitizing*). Os vetores correspondentes às feições digitalizadas foram exportados para o SIG IDRISI e através do módulo REFORMAT → RASTER/VECTOR CONVERSION foi gerada uma imagem matricial, representando a superfície das diversas unidades estratigráficas ocorrentes na área, obtendo-se um mapa geológico digital abrangendo toda a área de estudo.

A partir do SIG IDRISI foi possível calcular a área abrangida por cada unidade estratigráfica na área de estudo, cujos resultados podem ser visualizados na Tabela 3 e Figura 18).

Tabela 3. Formações geológicas de superfície da área de estudo

Formações Geológicas de Superfície		Composição	Área (ha)	%	
CENOZÓICO	QUATERNÁRIO	Areias, Argilas e Cascalhos	707,61	1,10	
	TERCIÁRIO	Fm. Santa Rita do PassaQuatro	Areias e Cascalhos	37.038,95	57,42
		Fm. Piraçununga	Areias e Conglomerados	290,25	0,45
MESOZÓICO	CRETÁCEO/ TERCIÁRIO	Fm. Itaqueri	Arenitos e Arenitos Conglomeráticos	4.178,63	6,48
	JURA- CRETÁCEO	Fm. Serra Geral	Basaltos	6.726,65	10,43
			Diabásios	4.408,16	6,83
	TRIÁSSICO	Fm. Botucatu	Arenitos	4.163,04	6,45
			Fm. Pirambóia	Arenitos	6.963,39
PALEOZÓICO	PERMIANO	Fm. Corumbataí	Argilitos e Siltitos	23,33	0,04
TOTAL			64.500,00	100,00	

A partir dos resultados obtidos, verifica-se a predominância da Formação Santa Rita do Passa Quatro, abrangendo 58% da área de estudo. Segundo FERREIRA (1995), esta formação pode ser designada genericamente como Cobertura Cenozóica, onde estão agrupados depósitos arenosos de idade terci-quadernária, com origens extremamente diversas (marinhos, fluviais ou elúvio-colvionares). Ocorrem recobrimdo os sedimentos das Formações Pirambóia e Botucatu, o que levou alguns autores a considerá-los como simples produtos de alteração dessas unidades.

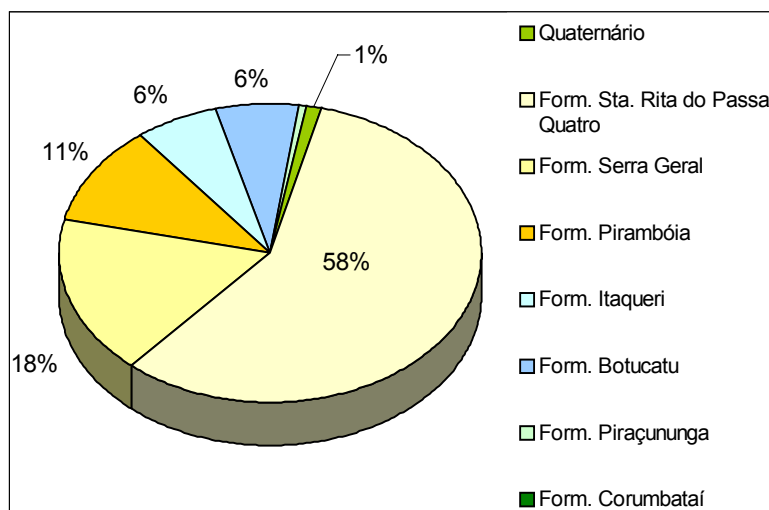


Figura 18. Distribuição relativa das formações geológicas de superfície.

Segundo MASSOLI (1981), a Formação Santa Rita do Passa Quatro é representada por um capeamento terciário com poucos metros de espessura, mas de grande distribuição horizontal. É constituída de areias sem qualquer tipo de estrutura sedimentar, exibindo, na base, uma linha de seixos ou cascalheira formada por seixos predominantemente de quartzo e fragmentos de limonita. Os sedimentos apresentam granulacão correspondente à fração areia fina (diâmetro médio = 0,1 mm). Os grãos, essencialmente de quartzo, são pobremente selecionados. Sua distribuição granulométrica constitui-se de 74 a 94% de areia, com matriz argilosa variando entre 6 e 19%. Ocorre em depósitos de espigões, ocupando altitudes que vão de 700 a 940m.

A Formação Pirambóia (Triássico) constitui-se de arenitos esbranquiçados, amarelados, avermelhados e róseos, médios a muito finos, ocasionalmente grosseiros, regularmente classificados, síltico-argilosos, quartzosos, com grãos subarredondados e intercalações de siltitos e argilitos. Mais raramente, observam-se ainda arenitos conglomeráticos, com seixos de quartzo e também de argila, com matriz areno-argilosa. Na seção inferior os arenitos tornam-se finos, predominando fácies bastante argilosa. Apresentam acamamento plano-paralelo e estratificação cruzada do tipo planar, menos comumente acanalada, de pequeno e médio porte (BRASIL-DNPM, 1979; SÃO PAULO-IG, 1981; e MELLO, 1995). Segundo ANDRADE & SOARES (1971) *apud* BRASIL-DNPM *op.cit.*, essa formação atinge uma espessura máxima de 260m, próximo a cidade de São Pedro, tendendo a diminuir em direção ao norte e, apresenta amplo domínio distributivo na área do projeto.

A Formação Itaqueri (Cretáceo/Terciário) foi definida por ALMEIDA & BARBOSA (1953) *apud* SÃO PAULO-IPT (1981), ocorrendo em manchas irregulares no reverso das cuestas basálticas,

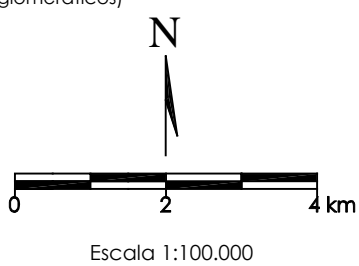
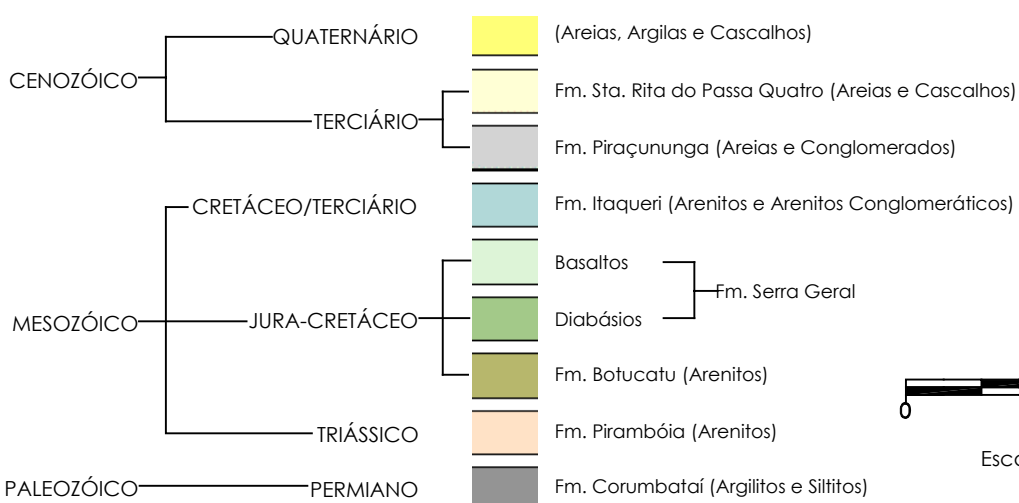
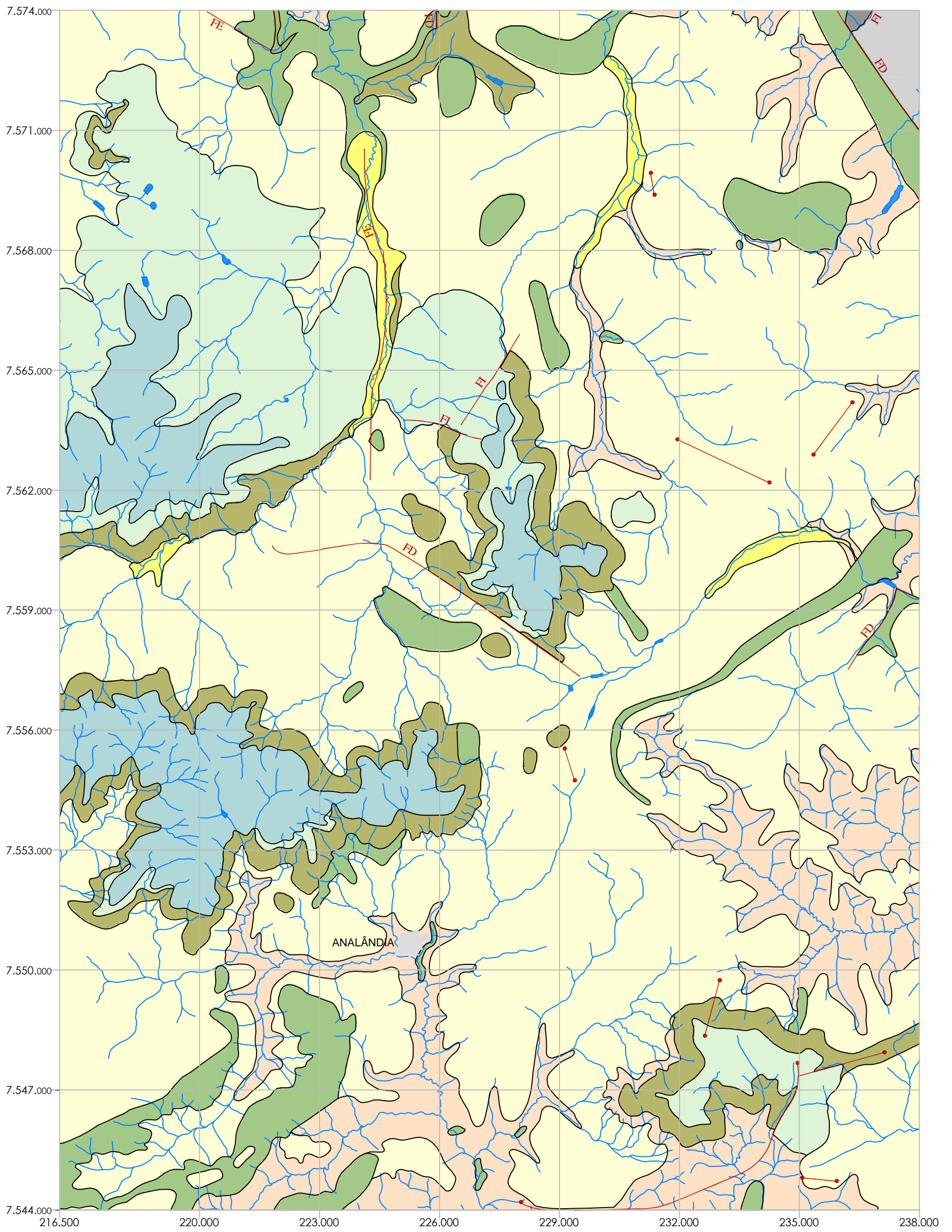
isolada de outras coberturas pós-trapianas, representando suas partes mais elevadas testemunhos da antiga extensão do Planalto Ocidental. Sua espessura máxima observada é de 125 metros e é litologicamente constituída por membros alternados de arenitos com cimento argiloso, folhelhos e conglomerados ferríferos ou não. Ocorre predominância dos arenitos, sendo que os demais depósitos de extensão limitada, geralmente na forma lenticular alongada.

A Formação Botucatu (Jura-Cretáceo) é constituída por arenitos róseos, avermelhados e esbranquiçados, finos a médios; e também muito finos, regularmente a bem classificados, friáveis a bem silicificados, com grãos arredondados e foscas, apresentando na base corpos de arenitos conglomeráticos e conglomerados. De acordo com SOARES (1975) *apud* BRASIL-DNPM *op. cit.*, essa formação apresenta espessura bastante variável, mas raramente ultrapassa os 150 m, sendo o valor médio da ordem de 50 a 70m. Na área de estudo ocorre nas encostas das Serras do Cuscuzeiro, do Atalaia e do Serrote de Descalvado.

A Formação Piraçununga (Terciário) é constituída por sedimentos arenosos inconsolidados, não estratificados e sem estrutura, verticalmente homogêneos, sobrepostos indiferentemente às formações mais antigas, em cuja base têm sido encontradas, por vezes, linhas de seixos subangulares e arredondados, de formas variadas, ou cascalheiras de espessura centimétrica, ambas compostas por seixos de quartzo, quartzito e limonitas (concreções). Sua espessura não ultrapassa vinte metros. A coloração predominante desses sedimentos é marron-avermelhada, com baixo grau de seleção, contendo minerais argilosos, grãos de quartzo com vários índices de arredondamento, às vezes com película de óxido de ferro secundário e minerais máficos. (BRASIL-DNPM, 1979; SÃO PAULO-IG, 1981; e MELLO,1995). Na área de estudo limita-se a uma pequena mancha de 290 ha.

A Formação Corumbataí (Permiano) é constituída, na sua seção inferior, de um pacote de argilitos, folhelhos e siltitos, com fraturas concoidais e concreções calcíferas e ainda um conjunto de argilitos e folhelhos cinza escuros, de aspecto rítmico, com ocasionais leitões de calcário silicificado, oolítico, além de níveis coquinóides. Na seção superior da formação, ocorre uma seqüência de argilitos e arenitos finos, argilosos, regular a bem classificados, esverdeados, arroxeados e avermelhados. Apresenta uma espessura de cerca de 180 m. nas proximidades da cidade de Charqueada e distribui-se espacialmente numa direção aproximadamente norte-nordeste, que se prolonga desde o sudeste de Laras até nordeste de Santa Rosa do Viterbo (BRASIL-DNPM, 1979; SÃO PAULO-IG, 1981; e MELLO,1995). Na área de estudo limita-se a uma pequena mancha de 23 ha.

Quanto ao Quaternário, são depósitos recentes de planícies aluvionares bem desenvolvidas e que ocorrem ao longo dos rios Bonito, ribeirão do Pântano e ribeirão Descaroçador. Esses depósitos, de várzeas e terraços, são constituídos de areias, argilas e cascalhos.



Universidade Federal de São Carlos
 Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais
 Grupo de Geologia de Planejamento do Meio Físico - CNPq/DECiv

"Proposta Metodológica para Subsidiar a Determinação do Grau de Impacto Ambiental em Empreendimentos Minerários na Região de Descalvado e Analândia"

Fabio Enrique Torezan
 Reinaldo Lorandi (orientador)

MAPA DE FORMAÇÕES GEOLÓGICAS DE SUPERFÍCIE

6.11. SOLOS

A caracterização e diagnóstico ambiental dos solos da área de estudo foi realizada a partir da compilação do mapeamento pedológico semidetalhado das quadriculas Descalvado (OLIVEIRA *et al.*, 1982) e São Carlos (OLIVEIRA *et al.*, 1981), abrangendo a área de estudo em questão.

OLIVEIRA (1999) considera que mapas pedológicos são documentos importantes na orientação de planejamentos regionais do uso da terra tanto para fins agro-silvo-pastoris como geotécnico e como material didático ao ensino da ciência do solo por apresentarem uma visão geral da distribuição espacial dos solos e por ressaltarem contrastes em outras regiões.

Para elaboração do mapa pedológico da área de estudo (Figura 21), as cartas pedológicas semidetalhadas das quadriculas Descalvado e São Carlos foram digitalizadas através do método de digitalização “em tela” (*on screen digitizing*), utilizando-se o *software* CARTALINX. Os polígonos de cada classe de solo em formato vetorial foram exportados para o IDRISI, sendo convertidos em um arquivo no formato imagem matricial (*raster*), mantendo-se a resolução previamente definida para os outros produtos cartográficos, ou seja, 30 metros.

As cartas pedológicas semidetalhadas das quadriculas Descalvado e São Carlos foram originalmente impressos em escala 1:100.000. Para adequá-las à escala adotada (1:50.000), foi necessário realizar alguns ajustes. Tais ajustes foram realizados inicialmente a partir da análise do mapa digitalizado sobrepondo-o à base topográfica, ajustando alguns limites dos polígonos de classe pedológica. Em uma segunda etapa ocorreu a verificação destes limites em campo, analisando-se variações de textura em perfis expostos.

A nomenclatura taxonômica também demandou atualização. As cartas das quadriculas Descalvado e São Carlos adotam a classificação descrita por Camargo *et al.* (1987), a qual foi adaptada seguindo a classificação definida por EMBRAPA (1999).

A Tabela 4 sintetiza os resultados quantitativos das classes de solo encontradas na área de estudo, considerando a classificação atual (EMBRAPA, 1999) e as classes originalmente definidas por CAMARGO *et al.* (1987). A Figura 20 sintetiza os resultados obtidos em forma gráfica.

Tabela 4. Quantificação das classes de solo da área de estudo

Classes (EMBRAPA, 1999)	Classes (Camargo et al., 1987)	Área (ha)	%
LATOSSOLOS	Latossolo Vermelho Amarelo	24.071,47	37,32
	Latossolo Roxo	8.506,97	13,19
	Latossolo Vermelho Escuro	3.083,57	4,78
	<i>Subtotal</i>	<i>35.662,01</i>	<i>55,29</i>
NEOSSOLOS	Areias Quartzosas Profundas	13.903,35	21,56
	Solos Litólicos	7.829,00	12,14
	<i>Subtotal</i>	<i>21.732,36</i>	<i>33,69</i>
ARGISSOLOS	Podzólico Vermelho Amarelo	6.096,87	9,45
GLEISSOLOS	Solos Hidromórficos	703,01	1,09
NITOSSOLOS	Terra Roxa Estruturada	305,74	0,47
TOTAL		64.500,00	100,00

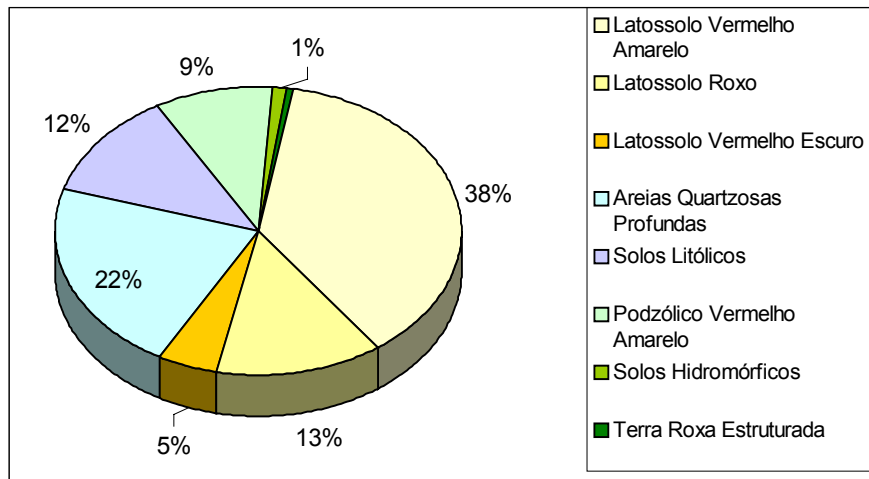
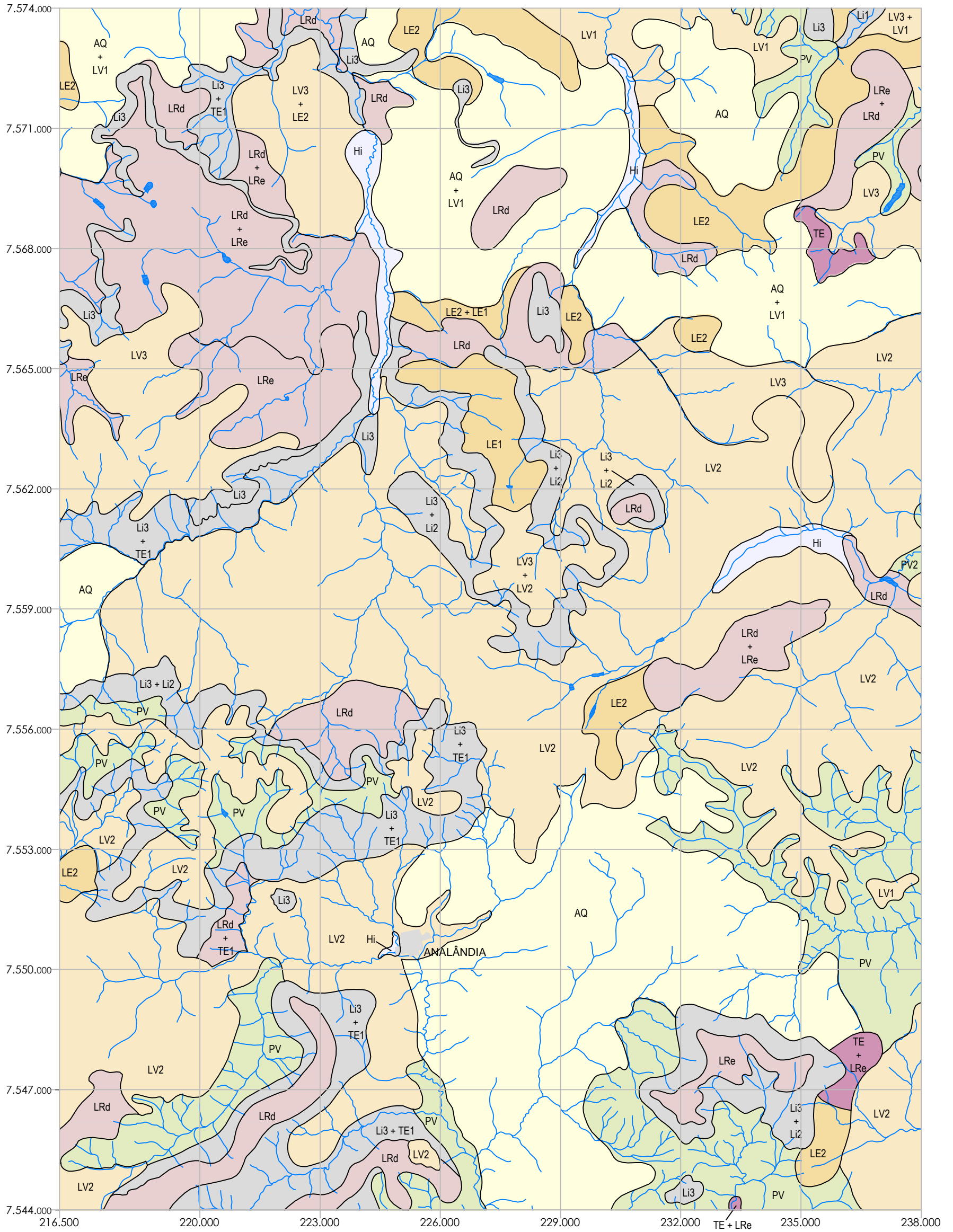
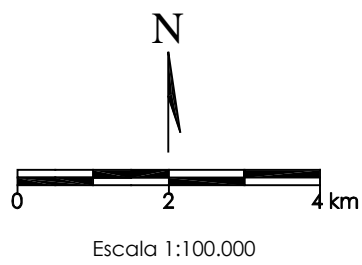


Figura 20. Distribuição relativa das classes de solo.



- NEOSSOLOS
 - AREIAS QUARTZOSAS PROFUNDAS (AQ)
 - SOLOS LITÓLICOS (Li1; Li2; Li3)
- LATOSSOLOS
 - LATOSSOLO VERMELHO AMARELO (LV1; LV2; LV3)
 - LATOSSOLO VERMELHO ESCURO (LE1; LE2)
 - LATOSSOLO ROXO (LRe; LRd1)
- NITOSSOLOS
 - TERRA ROXA EXTRUTURADA (TE)
- GLEISSOLOS
 - SOLOS HIDROMÓRFICOS (Hi)
- ARGISSOLOS
 - PODZÓLICO VERMELHO AMARELO (PV)



Universidade Federal de São Carlos
 Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais
 Grupo de Geologia de Planejamento do Meio Físico - CNPq/DECiv

"Proposta Metodológica para Subsidiar a Determinação do Grau de Impacto Ambiental em Empreendimentos Minerários na Região de Descalvado e Analândia"

Fabio Enrique Torezan
 Reinaldo Lorandi (orientador)

MAPA PEDOLÓGICO

A partir dos resultados obtidos, verifica-se a predominância de Latossolos (55,29% da área de estudo), seguidos pelos Neossolos (33,69%) e Argissolos (9,45%). Os Gleissolos (solos hidromórficos) restringem-se a 1,09% da área de estudo, localizados nas várzeas do ribeirão do Pântano, do rio Bonito, do ribeirão Descaroador e uma pequena área no rio Corumbataí, próximo ao núcleo urbano de Analândia. Os Nitossolos restringem-se a duas pequenas áreas próximas à Serra do Atalaia.

A seguir as classes de solo da área de estudo são descritas a partir da classificação definida por EMBRAPA (1999). Esta descrição foi baseada em OLIVEIRA (1999).

6.11.1. Latossolos

Os Latossolos são solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte B latossólico, imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte A, dentro de 200 cm da superfície do solo ou dentro de 300 cm, se o horizonte A apresentar mais de 150 cm de espessura.

A classe dos Latossolos constitui o agrupamento de solos mais extenso do Estado de São Paulo, correspondendo a cerca de 52% da área do Estado. São, em geral, solos com boas propriedades físicas e situados, na maioria dos casos, em relevo favorável ao uso intensivo de máquinas agrícolas, exceção daqueles situados nas regiões serranas. Apresentam elevada porosidade total, sendo comuns valores entre 50 e 60%. Apresentam boa drenagem interna, mesmo nos de textura argilosa. Sua elevada friabilidade permite que sejam facilmente preparados para o cultivo. São qualificados como os solos mais adequados à agricultura extensiva no Estado de São Paulo. Sua principal limitação se prende à baixa disponibilidade de nutrientes nos solos distróficos e à toxicidade por Al^{3+} quando álicos. Nesses casos, praticamente, é impossível obter-se boas produções com baixo nível de manejo. Uma vez eliminada tais limitações tornam-se bastante produtivos.

Segundo LOMBARDI NETO & BERTONI (1975), os Latossolos apresentam boa tolerância à perda por erosão e baixa relação de erosão. Tais dados acrescidos da boa permeabilidade interna e capacidade de infiltração, além do relevo pouco declivoso, levaram OLIVEIRA & BERG (1985) a considerá-los, quando de textura argilosa, como solos com baixa erodibilidade. Os Latossolos de textura franco arenosa, devido às baixas coesão e adesão são mais suscetíveis à erosão. Tal fato, contudo, é amenizado pelo relevo geralmente aplainado ou suave ondulado onde se encontram tais solos.

Os Latossolos Vermelho-Amarelos argissólicos apresentam em geral relação textural ligeiramente superior aos Latossolos típicos, fato que lhes confere uma erodibilidade um pouco maior. A baixa atividade das argilas dos Latossolos confere-lhes diminuta expansibilidade e

contratibilidade qualificando, os de textura argilosa, como excelente material para piso de estradas. Por serem solos fáceis de serem escavados e ainda bastante profundos e porosos, são bastante apropriados para cemitérios e aterros sanitários.

Na área de estudo foram encontradas as seguintes subclasses e associações de Latossolos:

- ***Latossolo Vermelho-Escuro:***
 - LE1: álico, A moderado, textura média. Unidade Dois Córregos (*Quartzipsammentic Haplorthox* e *Typic Haplorthox*);
 - LE2: álico, A moderado, textura média. Unidade Hortolândia (*Typic Haplorthox*);
- ***Latossolo Vermelho-Amarelo:***
 - LV1: álico, A moderado, textura média. Unidade Coqueiro (*Quartzipsammentic Haplorthox* e *Typic Haplorthox*);
 - LV2: álico, A moderado, textura média. Unidade Lagoa Bonita (*Quartzipsammentic Haplorthox*);
 - LV3: álico, A moderado, textura média. Unidade Laranja Azeda (*Typic Haplorthox*);
- ***Latossolo Roxo:***
 - LRe: eutrófico, A moderado, textura argilosa ou muito argilosa. Unidade Ribeirão Preto (*Typic Eutrorthox*);
 - LRd: distrófico, A moderado, textura argilosa ou muito argilosa. Unidade Barão Geraldo (*Typic Haplorthox* e *Haplic Acrorthox*).

6.11.2. Neossolos

São constituídos por material mineral ou orgânico com menos de 40 cm de espessura, não apresentando qualquer tipo de horizonte B diagnóstico e satisfazendo os seguintes requisitos:

- Ausência de horizonte glei, exceto no caso de solos com textura areia ou areia franca, dentro de 50 cm da superfície do solo, ou entre 50 a 120 cm de profundidade, se os horizontes sobrejacentes apresentarem mosqueados de redução em quantidade abundante;
- Ausência de horizonte vértico imediatamente abaixo do horizonte A;

- Ausência de horizonte plúntico dentro de 40 cm, ou dentro de 200 cm da superfície, se imediatamente abaixo de horizonte E ou procedidos de horizontes de coloração variegada ou mosqueados em quantidade abundante;
- Ausência de A chernozêmico conjugado a horizonte cálcico ou C carbonático.

Na área de estudo foram registradas as subordens denominadas “Neossolos Litólicos” (Solos Litólicos) e “Neossolos Quartzarênicos” (Areias Quartzosas Profundas).

Os Neossolos Litólicos apresentam horizonte A ou O hístico com menos de 40 cm de espessura assente diretamente sobre rocha ou sobre horizonte C ou Cr ou sobre material com 90% (por volume) ou mais de sua massa constituída por fragmentos de rocha com diâmetro maior que 2 mm (cascalhos, calhaus e matacões) e que apresentam caráter litóide dentro de 50 cm da superfície do solo. Admite um horizonte B em início de formação cuja espessura não satisfaz a qualquer tipo de horizonte B diagnóstico.

Os Neossolos Litólicos são por definição solos que apresentam reduzida profundidade efetiva, limitando seu uso para agricultura devido ao reduzido volume de terá disponível para o ancoramento das plantas e para a retenção da umidade. Como a maioria dos Neossolos Litólicos ocorrem em relevo forte ondulado ou montanhoso, são muito suscetíveis à erosão e apresentam sérias limitações à trafegabilidade. Seu uso requer, portanto, atenção especial no que diz respeito aos tratos conservacionistas.

São solos bem providos de nutrientes, especialmente aqueles que derivam dos sedimentos do Grupo Passa Dois e de rochas básicas (basalto e diabásio).

A pequena espessura desqualifica-os como locais para aterros sanitários. A presença de reduzida zona de aeração, aliada à presença de acentuado fraturamento em muitos desses solos, torna-os inadequados como áreas para recebimento de grandes cargas de efluentes devido ao perigo de contaminação dos aquíferos.

Na área de estudo foram registrados os seguintes tipos de Neossolos Litólicos:

- Li1: eutróficos ou distróficos, A moderado, textura indiscriminada, substrato sedimentos finos do permiano (*Typic Udorthent*);
- Li2: eutróficos ou distróficos, A moderado, textura indiscriminada, substrato arenito Botucatu Pirambóia (*Typic Udorthent*);
- Li3: eutróficos, A moderado ou chernozêmico, textura argilosa ou muito argilosa, substrato basalto ou diabásico (*Lithic Udorthent*, *Typic Udorthent* e *Lithic Hapludolf*);

Na área de estudo também ocorrem Neossolos Quartzarênicos, representados pelas Areias Quartzosas Profundas. Estes solos apresentam seqüência de horizonte AC, sem caráter litóide dentro de 50 cm de profundidade, apresentando textura areia ou areia franca nos horizontes até, no mínimo, à profundidade de 150 cm a partir da superfície ou até presença de caráter litóide; essencialmente quartzosos, tendo nas frações areia grossa e areia fina 95% ou mais de quartzo e, praticamente ausência de minerais primários alteráveis (menos resistentes ao intemperismo).

Os Neossolos Quartzarênicos são virtualmente desprovidos de minerais primários intemperizáveis, apresentando atividade coloidal muito baixa, além de baixa capacidade de retenção de nutrientes e de água. Devido à baixa adesão e coesão apresentam elevada erodibilidade, sendo muito profundos.

Sua pobreza em nutrientes torna imprescindível a aplicação de insumos para que sejam possíveis produções satisfatórias. Seu baixo poder tampão, contudo, demanda que as aplicações de insumos sejam efetuadas parceladamente de forma a minimizar as perdas e evitar saturação do complexo sortivo.

Em conseqüência da textura grosseira, são muito porosos e com elevada permeabilidade. Tal atributo, juntamente com a baixa capacidade adsortiva, caracteriza-os como material pouco adequado para receber efluentes que contenham produtos prejudiciais às plantas, aos animais e ao homem, e para aterros sanitários, lagoas de decantação e outros usos correlatos devido à facilidade de contaminação dos aquíferos. Durante o período seco, podem apresentar limitações quanto à trafegabilidade; são usados como fonte de areia para construções.

Na área de estudo, os Neossolos Quartzarênicos são constituídos por Areias Quartzosas com horizonte A moderado, moderadamente a excessivamente drenada (*Typic Quartzipsammentic*).

6.11.3. Argissolos

São solos constituídos por material mineral com argila de atividade baixa e horizonte B textural imediatamente abaixo de horizonte A ou E e apresentando, ainda, os seguintes requisitos:

- Horizonte plântico, se presente, não está acima nem é coincidente com a parte superficial do horizonte B textural;
- Horizonte glei, se presente, não está acima nem é coincidente com a parte superficial do horizonte B textural.

Os Argissolos constituem depois dos Latossolos a classe de maior expressão espacial no Estado de São Paulo. No Mapa Pedológico de 1960, cerca de 29% da área do Estado continha esses solos.

O acréscimo de argila em profundidade e a capacidade de troca de cátions inferior a 27 cmol/kg de solo são os principais atributos diagnóstico válidos para todos os Argissolos. Em níveis categóricos mais baixos são usados outros critérios diagnósticos, alguns dos quais, são de grande importância agronômica.

A cor vermelha está relacionada, especialmente nos solos de textura argilosa, à presença de solos originados de rochas básicas ou ricas em minerais ferromagnesianos, apresentando por isso, em geral, teores mais elevados em cátions trocáveis e em micronutrientes em comparação com solos menos vermelhos. Deve-se acrescentar ainda que esses teores em bases trocáveis mantêm-se relativamente elevados ao longo do perfil, proporcionando-lhes notável reserva em nutrientes.

Os Argissolos Vermelho-Amarelos (correspondente aos Podzólicos Vermelho-Amarelos, ocorrentes na área de estudo) apresentam em geral maior relação textura entre os horizontes A ou E e o horizonte B textural do que os Argissolos Vermelhos, sendo por isso, em igualdade de condições de relevo, de cobertura vegetal e de manejo, mais suscetíveis à erosão do que estes. A erodibilidade é, em geral, exacerbada nos solos que apresentam mudança textural abrupta.

LOMBARDI *et al.* (1991) colocam os solos com mudança textural abrupta, nas classes C e D, quanto a resistência à erosão, isto é, nas classes de solos com baixa ou muito baixa resistência à erosão, preconizando para tais casos, terraços em desnível.

Os Argissolos são, na sua maioria, solos muito profundos, não apresentando qualquer impedimento à penetração do sistema radicular pelo menos até 200 cm de profundidade. A presença de saprolitos a menos de 200 cm de profundidade em geral não apresenta impedimento físico ao enraizamento posto que nesses casos tais camadas são espessas e a rocha intemperizada é branda. É possível que os saprolitos apresentem maior teor de minerais primários intemperizáveis que os horizontes superiores, constituindo-se em importante zona de reserva potencial em nutrientes.

O declive, quando superior a 8%, torna-se fator limitante para aterro sanitário, fato agravado pela espessura do solo em geral inferior a 3-4 m. Pode-se considerar os solos de textura argilosa como material de boa qualidade para piso de estradas, mas seu potencial agrícola, quando situados em relevo adequado, desaconselha tal uso.

Na área de estudo foi registrado o Argissolo Vermelho-Amarelo do tipo PV2 - abruptico, álico, A moderado espesso, textura arenosa/média, Unidade Serrinha (*Arenic Abruptic Paleudalf*);

6.11.4. Gleissolos

São solos constituídos por material mineral, com horizonte glei dentro dos primeiros 50 cm da superfície ou entre 50 e 125 cm desde que imediatamente abaixo de horizonte A ou E, ou precedido por horizonte B incipiente, B textural ou horizonte C com presença de mosqueados abundantes com cores de redução e satisfazendo, ainda, os seguintes requisitos:

- Ausência de qualquer tipo de horizonte B diagnóstico acima do horizonte glei;
- Ausência de horizonte vértico ou plúntico acima do horizonte glei ou coincidente com este;
- Ausência de horizonte B textural com mudança textural abrupta;
- Ausência de horizonte hístico com 40 cm ou mais de espessura.

Os Gleissolos apresetam sérias limitações impostas pela presença de lençol freático a pouca profundidade. A aeração inadequada aumenta a resistência da difusão dos gases do solo para a atmosfera e vice-versa, consumindo rapidamente o oxigênio do solo pelos microorganismos e plantas, inibindo o crescimento das raízes; ocorre, então, diminuição da absorção de água apesar do ambiente encharcado, e redução da fotossíntese (WILLEY, 1970). Além disso, há importante perda de N mineralizado e o ambiente redutor facilita a formação de compostos bivalentes de Fe e Mn, os quais são tóxicos. A utilização de tais solos com plantas mesófilas requer que sejam drenados a fim de melhorar as condições de aeração na zona da rizosfera.

A maioria dos Gleissolos é distróficos e bastante ácidos, requerendo a aplicação de corretivos e fertilizantes para a obtenção de colheitas satisfatórias. Devido aos teores relativamente elevados de matéria orgânica, a quantidade de calcário necessária para corrigir a acidez é elevada. Tais solos apresentam também limitação à trafegabilidade de máquinas em razão de sua menor capacidade de suporte.

Por estarem situados em várzeas, os Gleissolos oferecem limitações quanto ao risco de inundações e encontram-se em áreas onde (nas regiões frias) há acúmulo de ar frio, sendo por isso mais sujeitos aos efeitos de geada.

São solos inadequados para a construção de aterros sanitários e como local para recebimento de efluentes pela inexpressiva zona de aeração e a facilidade de contaminação dos aquíferos. Dependendo da qualidade da argila, alguns são muito apreciados para cerâmica.

Na área de estudo foi registrada a ocorrência de Gleissolos do tipo “solos hidromórficos” (Hi: gley pouco húmico e gley húmico).

6.11.5. Nitossolos

São solos constituídos por material mineral, que apresentam horizonte B nítico com argila de atividade baixa, imediatamente abaixo do horizonte A ou dentro dos primeiros 50 cm do horizonte B.

Apresentam sempre estrutura em blocos ou prismática bem desenvolvidas no horizonte B. as principais limitações desses solos se relacionam com a erodibilidade relativamente alta, sendo, por isso comum ocorrer erosão acentuada nas áreas inadequadamente utilizadas. Tem-se observado que em igualdade de condições, esses solos apresentam maior risco à erosão que os Latossolos Vermelhos de textura argilosa, sendo, por isso, necessário o emprego de práticas conservacionistas mais complexas.

São solos com discreto aumento de argila em profundidade, apresentando, apesar de argilosos, boa drenagem interna. Apresentam expressiva capacidade de adsorção de fósforo. Tal fato pode ser de importância na planificação de emprego de insumos em áreas porventura ainda não agricultadas.

Os Nitossolos apresentam espessa zona de aeração, o que os qualifica, quando o declive não é superior a 10%, como adequados para aterros sanitários e outras formas de deposição de resíduos, apesar da baixa atividade da fração coloidal. Esses solos apresentam, contudo, bom potencial agrícola sendo por isso preferível não usá-los para tais fins.

Na área de estudo foi registrado o Nitossolo do tipo Terra Roxa Estruturada da Unidade Estruturada (eutrófica, A moderado, *Rhodic Paleudalf*).

6.12. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

O mapeamento do uso e ocupação do solo foi realizado através da interpretação de imagens de sensoriamento remoto do satélite LANDSAT 7, sensor ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus), de 27 de abril de 2002, tendo como objetivo identificar, mapear e quantificar as classes de uso econômico e as classes de remanescentes de vegetação natural ocorrentes na área de estudo. O termo *uso do solo* pode ser entendido tanto como a maneira como as características biofísicas da terra são manipuladas como o objetivo desta manipulação (TURNER *et al.*, 1995).

Segundo CÂMARA & MEDEIROS (1996), o uso de imagens de Sensoriamento Remoto como fonte atualizada de informação para produção de novos mapas é um dos grandes impulsionadores de inovação na área de Geoprocessamento e o grande interesse em seu uso advém da temporalidade da informação e de seu custo relativamente baixo. Esses dados são uma das melhores fontes para auxiliar a determinação do uso e cobertura do solo. Como a cobertura atual

do solo é modificada principalmente pela ação do homem, a interpretação de imagens de satélite é uma forma indireta de inserir, num ambiente de Geoprocessamento, a espacialização dos processos econômicos e sociais.

Uma imagem LANDSAT 7 ETM+ é composta por 8 bandas espectrais que podem ser combinadas em inúmeras possibilidades de composições coloridas e opções de processamento. Entre as principais melhorias técnicas, se comparado ao seu antecessor, o satélite LANDSAT 5 TM, destacam-se a adição de uma banda espectral (banda Pancromática) com resolução de 15 m, perfeitamente registrada com as demais bandas, melhorias nas características geométricas e radiométricas, e o aumento da resolução espacial da banda termal para 60 m. Esses avanços tecnológicos permitem qualificar o LANDSAT 7 como sendo o satélite mais interessante para a geração de imagens de satélites com aplicações diretas até a escala 1:25.000, em áreas rurais principalmente, mesmo em grandes extensões de território, como acontece freqüentemente no Brasil³.

Com o objetivo de se obter uma composição colorida da área de estudo, atribuiu-se as cores vermelho, verde e azul respectivamente às bandas 1, 2 e 3. Isto foi feito no SIG *IDRISI for Windows 2.0*, através do módulo ANALYSIS → IMAGE PROCESSING → ENHANCEMENT → COMPOSIT, obtendo-se assim uma imagem com características visuais semelhantes a uma fotografia colorida convencional. Esta imagem foi bastante útil no auxílio das atividades de campo e localização de “amostras de treinamento” para a classificação da imagem LANDSAT.

A próxima etapa foi o georreferenciamento das várias bandas para o Sistema Universal Transverso de Mercator (UTM), zona 23. Para o georreferenciamento foram utilizados doze pontos de controle identificáveis tanto nas cartas topográficas como na imagem de satélite, obtendo-se assim doze pares de dados, os quais foram utilizados na criação de um arquivo de correspondência entre as coordenadas da imagem e as coordenadas do sistema UTM. O georreferenciamento foi feito no SIG *IDRISI* através do módulo REFORMAT → RESAMPLE, através da função de mapeamento linear e reamostragem do tipo “vizinho mais próximo”. A resolução da imagem georreferenciada foi mantida em 30 metros, de modo a não modificar a resolução da imagem original. Desse modo, foi estabelecido o número de 716 colunas e 1000 linhas para as bandas georreferenciadas, mantendo-se os mesmos limites geográficos previamente definidos para a área de estudo.

Antes de se proceder à classificação da imagem é necessário estabelecer quais as classes de usos a serem consideradas, o que foi determinado percorrendo-se em campo toda a área de estudo e observando-se os diversos tipos de uso do solo. Neste primeiro reconhecimento em campo

³ LANDSAT 7. **Science data users handbook**.
http://ftpwww.gsfc.nasa.gov/IAS/handbook/handbook_toc.html

verificou-se a predominância de áreas de pastagens, áreas cultivadas com cana-de-açúcar e áreas de cultivo de laranja. Ocupando uma menor proporção, observou-se a ocorrência de culturas de milho, soja, mamona, café, algodão e mandioca. Quanto à vegetação natural, reconheceram-se as seguintes fitofisionomias: Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Estacional Submontana, Floresta Estacional Aluvial (Mata Ciliar), Cerrado e Cerradão.

Este trabalho de reconhecimento das classes de uso do solo em campo foi realizado com o apoio de um receptor GPS acoplado a um microcomputador portátil, utilizando-se o *software* CARTALINX 1.04. Este *software* permite a digitalização de feições vetoriais tendo com fundo uma imagem matricial (“*raster*”). Neste caso foi utilizado como imagem de fundo a composição colorida georreferenciada com o objetivo de facilitar a sua visualização.

Utilizando-se o método de digitalização através de GPS (metodologia descrita em HAGAN, EASTMAN, & AUBLE, 1998) é possível identificar na imagem georreferenciada a posição exata das feições em campo. Desse modo, foram digitalizados 223 pontos representando várias amostras de diferentes classes de uso do solo e remanescentes de vegetação nativa. Este método revelou-se bastante eficiente e prático, possibilitando relacionar com exatidão o que é observado na imagem com a realidade em campo. O armazenamento das informações em formato digital também se revelou bastante prático, reduzindo significativamente as anotações em papel e o tempo gasto com essas anotações e localização de feições em produtos cartográficos analógicos.

Segundo RICHARDS (1993), os métodos de classificação digital podem ser agrupados em função da presença ou não de uma fase de treinamento. O método é dito não-supervisionado quando o classificador não utiliza nenhum conhecimento sobre as classes existentes na imagem e define, sem a interferência do analista, a estratificação da cena, atribuindo a cada *pixel* uma determinada classe. O algoritmo define estas classes com base em regras estatísticas pré-selecionadas.

O método de classificação é dito supervisionado quando existe um conhecimento prévio da área de trabalho, o que permite a seleção de amostras de treinamento confiáveis, sendo que o algoritmo opera com base na distribuição de probabilidade de cada classe previamente selecionada (ADENIYI, 1985).

Segundo LILLESAND & KIEFER (1994), o método de classificação supervisionada envolve basicamente três etapas: (i) seleção das amostras de treinamento; (ii) classificação propriamente dita; e (iii) produção de mapas temáticos e/ou tabelas sumarizando os resultados da classificação. CAMPBELL (1987) acrescenta a estas etapas o processo de refinamento das amostras de treinamento e avaliação da exatidão da classificação.

VENTURIERI & SANTOS (1998) afirmam que as amostras de treinamento constituem a etapa da classificação supervisionada onde o sistema computacional é treinado para reconhecer os padrões nos dados, por meio de critérios estatísticos. A definição desses critérios é realizada exatamente no momento da tomada das amostras de treinamento, com a digitalização na imagem sobre as feições que representam as classes de interesse.

No presente estudo, para a classificação definitiva da imagem foi utilizado o método de classificação supervisionada, onde o usuário desenvolve assinaturas espectrais de categorias de uso conhecidas e então o *software* atribui a cada “*pixel*” da imagem a categoria à qual sua assinatura é mais semelhante (EASTMAN, 1997). A classificação supervisionada envolveu as seguintes etapas:

- Localizar exemplos representativos de cada tipo de cobertura do solo que podem ser identificados na imagem, estes exemplos são chamados de “amostras de treinamento” (“*training sites*”), os quais foram determinados através dos 223 pontos levantados em campo;
- Digitalizar polígonos cobrindo cada amostra de treinamento e atribuindo um único identificador para cada classe de uso. Esta digitalização foi feita sobre a imagem resultante da composição colorida, pois ela apresentava uma maior facilidade de visualização das diferentes classes;
- Analisar os “*pixels*” associados às amostras de treinamento e criar assinaturas espectrais para cada classe de uso. As assinaturas espectrais contêm informações estatísticas sobre os valores de reflectância dos “*pixels*” associados a cada amostra de treinamento. Estas assinaturas foram desenvolvidas no SIG IDRISI através do módulo ANALYSIS → IMAGE PROCESSING → SIGNATURE DEVELOPMENT → MAKESIG, utilizando-se as imagens georreferenciadas correspondentes às bandas 1, 2, 3, 4 e 5;
- Classificação propriamente dita da imagem, considerando cada “*pixel*”, um a um, e comparando sua assinatura particular a cada um dos conjuntos de assinaturas determinados na etapa anterior. Foi utilizado o algoritmo classificador de máxima verossimilhança (MAXLIKE), onde a distribuição dos valores de reflectância em um local de treinamento é descrita por uma função de probabilidade de densidades, desenvolvida com base na estatística de *Bayes*. Este é o classificador mais lento, mas se as amostras de treinamento forem confiáveis obtêm-se um resultado mais apurado (EASTMAN, 1997).

CAMPBELL (1987) afirma que a ampla utilização do algoritmo de máxima verossimilhança se deve aos resultados satisfatórios que apresenta, pois o mesmo se diferencia dos outros métodos de classificação, que não consideram a variação que pode estar presente pela sobreposição dos valores espectrais da distribuição de frequência.

Ao mesmo tempo, esse algoritmo avalia quantitativamente a variância e a covariância dos padrões de resposta da categoria espectral, quando classifica um pixel desconhecido, assumindo para tal uma distribuição normal dos dados de treinamento para cada categoria (VILELA, 1998).

Com base nos resultados obtidos no levantamento em campo, foram determinadas as seguintes classes de uso e ocupação do solo: Solo exposto (áreas onde o solo apresenta-se desprovido de vegetação ou algum outro tipo de ocupação, incluindo áreas de preparo do solo para cultivos, loteamentos sem cobertura vegetal, etc.); Cultivo de cana-de-açúcar; Cultivo de laranja; Outras culturas (incluindo cultivos de milho, soja, mandioca, mamona, café, algodão, dentre outros que ocorrem com menor representatividade); Reflorestamento (áreas de cultivo de espécies de reflorestamento, predominando variedades de *Eucalyptus* e, em uma proporção bastante reduzida, variedades de *Pinus*); Pastagens; Cerrado; Cerradão; Floresta Estacional Semidecidual; Floresta Estacional Submontana; Floresta Estacional Aluvial (Mata Ciliar); Mineração; Área urbana (núcleo urbano de Analândia e pequena porção de Descalvado).

Em uma primeira tentativa de classificação da imagem do satélite foram consideradas as classes descritas acima e verificou-se que algumas classes se confundiam com outras, não correspondendo muito bem à realidade observada em campo. Assim, áreas de solo exposto, áreas urbana e de mineração estavam apresentando valores de reflectância muito semelhantes, o mesmo ocorrendo entre as áreas de mata ciliar, floresta estacional semidecidual e floresta estacional submontana. O mesmo ocorreu com as classes de Cerrado e Cerradão.

Para resolver este problema, as áreas de mata ciliar, floresta estacional semidecidual e floresta estacional submontana foram agrupadas em uma única classe denominada como “MATA”. As áreas de Cerrado e Cerradão foram agrupadas em uma única classe denominada “cerrado”. As áreas com cultivo de cana-de-açúcar e outras culturas anuais como milho e soja foram agrupadas em uma única classe denominada como “culturas anuais”. As áreas com cultivo de laranja, limão e outras culturas perenes foram agrupadas em uma única classe denominada como “culturas perenes”. As áreas de mineração e áreas urbanizadas foram digitalizadas manualmente sobre a imagem, através do método de digitalização “em tela” (“*on-screen digitizing*”), criando-se polígonos vetoriais que foram convertidos em imagem matricial e sobrepostos à imagem classificada, através do módulo OVERLAY do SIG IDRISI.

A imagem classificada foi editada no software AutoCad R-14, adicionando-se a grade do sistema UTM, escala gráfica e legenda, resultando na Carta de Uso e Ocupação do Solo (Figura 23). Através do módulo AREA do SIG IDRISI calculou-se a área ocupada por cada classe de uso do solo na área de estudo, cujos resultados estão sintetizados na Figura 22.

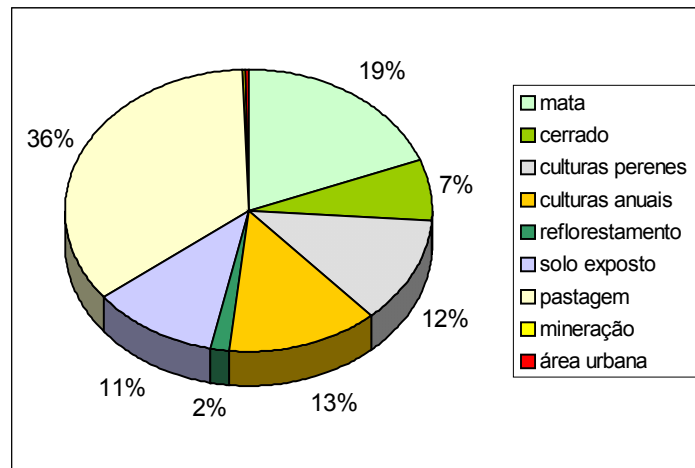
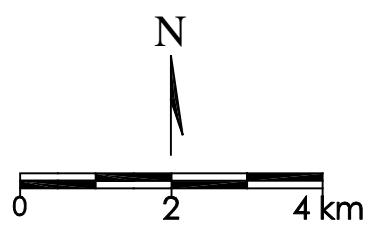
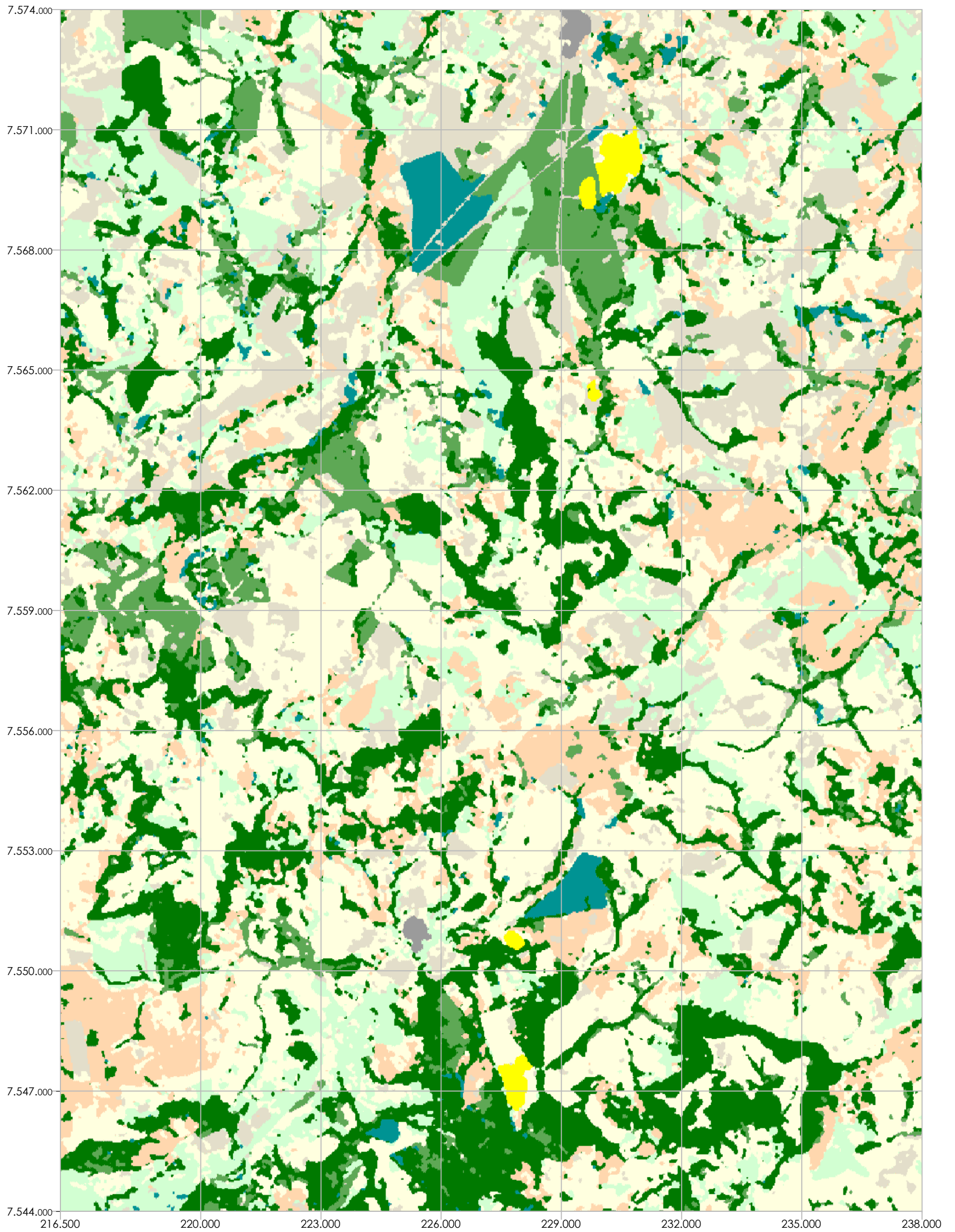


Figura 22. Distribuição relativa das classes de uso e ocupação do solo.



Escala 1:100.000

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR
 Origem da quilometragem: Equador e Meridiano 45° W. Gr.
 acrescidas as constantes 10000 km e 500 km, respectivamente.
 Datum vertical: marégrafo Imbituba, SC
 Datum horizontal: Córrego Alegre, MG

Universidade Federal de São Carlos
 Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais
 Grupo de Geologia de Planejamento do Meio Físico - CNPq/DECiv

"Proposta Metodológica para Subsidiar a Determinação do Grau de Impacto Ambiental em Empreendimentos Minerários na Região de Descalvado e Analândia"

Fabio Enrique Torezan
 Reinaldo Lorandi (orientador)

CARTA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Analisando os resultados obtidos (Tabela 5) verifica-se que as pastagens são o tipo de uso predominante na área de estudo, abrangendo uma área de 22.546 ha, o que representa 35% da área total. As culturas anuais ocupam o segundo lugar em termos de uso antrópico (14% da área de estudo). Deve-se ressaltar que grande parte das áreas classificadas como “solo exposto” na verdade correspondem a áreas em que no momento do registro da imagem pelo satélite, estavam sendo preparadas para o plantio de culturas anuais, predominantemente cana-de-açúcar. Desta forma, as áreas com culturas anuais representam mais que 14% da área de estudo.

As áreas urbanas abrangem somente 105 ha da área de estudo, revelando o baixo grau de urbanização. Já as áreas de mineração de areia atualmente em operação correspondem a mais que o dobro das áreas urbanas, cerca de 257 ha.

Os remanescentes de vegetação de cerrado, mata ciliar e floresta estacional semidecidual, revelaram um valor bastante representativo de 26% da área de estudo (16.888 ha), ressaltando a importância em termos de biodiversidade da área selecionada, o que implica em demandas de ações conservacionistas no processo de tomadas de decisão para o planejamento da área.

Tabela 5. Distribuição das classes de uso e ocupação do solo

Classes de uso	Área (ha)	%
mata	12.349,23	19,15
cerrado	4.539,14	7,04
culturas perenes	7.773,15	12,05
culturas anuais	8.658,49	13,42
reflorestamento	1.075,51	1,67
solo exposto	7.195,62	11,16
pastagem	22.546,08	34,96
mineração	257,73	0,40
área urbana	105,04	0,16
TOTAL	64.500,00	100,00

6.13. VEGETAÇÃO

O diagnóstico da vegetação da área de estudo inicia-se a partir da coleta de informações secundárias (pesquisa bibliográfica), procurando abranger áreas próximas ou coincidentes da área de estudo. Posteriormente, a partir dos dados resultantes do mapa de uso e ocupação do solo foram realizadas análises sobre a distribuição dos remanescentes de vegetação nativa.

Através da interpretação de imagens de satélite, OLIVEIRA (1995) identificou e classificou as formações vegetais remanescentes na área da proposta APA de Descalvado. As principais formações identificadas foram o cerrado (cerradão e cerrado “*senso estrito*”), a mata mesófila (floresta estacional semidecidual) e a mata ciliar. Esses remanescentes ocupam cerca de 24% da área total da

APA de Descalvado e estão dispersos em manchas relativamente isoladas no meio da matriz de ocupação agrícola, onde a maior reserva atinge cerca de 1.000 ha.

De acordo com mapeamento do uso do solo da bacia do rio Bonito, realizado por MORAES & LORANDI (2004) a partir de fotografias aéreas do ano de 1972, aproximadamente 18,8% da bacia era coberta por vegetação arbustiva (cerrado e capoeira) e 16,8% por formações florestais (cerradão, mata semidecídua e mata ciliar), 17% correspondia às áreas de cultivos agrícolas e 43% aos campos naturais e/ou antrópicos. Entre os períodos de 1972 a 1999 os autores constataram o desmatamento de 1.000 ha de mata ciliar e em torno de 1.200 ha de formações florestais como o cerradão e a mata semidecídua.

TOREZAN & LORANDI (2000) avaliaram as áreas remanescentes de vegetação natural (cerrado, cerradão, floresta estacional e mata ciliar) da bacia do rio Bonito verificando que elas ocupam cerca de 22% (49 km²) da área da bacia em relação a outros usos. Apesar de se tratar de um valor bastante expressivo, essas áreas de vegetação natural ocorrem de forma bastante fragmentada, na forma de fragmentos florestais, ocupando principalmente áreas de declividade acentuada (como nas encostas da Serra Grande) e circundando alguns corpos d'água.

A análise das áreas individuais de cada fragmento revelou que ocorre a predominância de fragmentos com área menor que 1 km² (60% da área total de fragmentos). Para os fragmentos maiores que 1 km² verificou-se a ocorrência de quatro fragmentos com área entre 1 e 2 km² e um único fragmento com área de 4, 25 km². Esta análise também permitiu identificar um único fragmento com área de 9,6 km² (19% da área total de fragmentos), revelando a importância do mesmo. Este fragmento está localizado bem próximo às minerações Jundu e Descalvado, o que representa uma ameaça à sua integridade caso haja uma expansão dessas áreas de mineração (TOREZAN & LORANDI, 2000).

MENDES (2004) realizou a caracterização fitogeográfica da bacia do rio Corumbataí, utilizando-se de técnicas de interpretação de imagens orbitais digitais, checagens de campo e reconhecimento aéreo. Paralelamente foi realizado um amplo levantamento bibliográfico no qual obtiveram-se as informações necessárias para a identificação dos aspectos fisionômicos das formações florestais e a realização das análises de composição florística e similaridade (Índice de *Jaccard* e Coeficiente de Aglomeração). Ao todo foram identificadas sete formações florestais pertencentes à composição fitogeográfica da bacia, sendo: Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Estacional Semidecidual Aluvial, Floresta Estacional Semidecidual Submontana, Floresta Estacional Decidual, Floresta Paludosa, Cerradão e Cerrado.

A análise geral da composição florística realizada MENDES (2004) demonstrou a ocorrência de uma alta diversidade nesse mosaico florestal, no qual foram identificadas 487 espécies arbóreas-

arbustivas pertencentes a 72 famílias e 212 gêneros. Também foi constatado que do total de espécies, apenas 10 são generalistas, ou seja, ocorrem em todas as formações e 163 espécies são exclusivas, ou seja, ocorrem numa formação específica. A análise da similaridade demonstrou que as maiores semelhanças florísticas ocorrem entre as florestas Semidecidual e Semidecidual Aluvial e entre o Cerrado e o Cerradão. Os resultados do coeficiente de aglomeração demonstraram haver alta heterogeneidade florística entre as formações e que estas se organizam em dois grandes grupos, o das Florestas Estacionais com Floresta Paludosa e o do Cerrado com o Cerradão.

Através do mapeamento dos pontos de ocorrência das formações fitogeográficas, MENDES (2004) concluiu que as florestas Semidecidual, Semidecidual Aluvial e Paludosa ocorrem em toda a extensão da bacia do rio Corumbataí; a floresta Semidecidual Submontana, o Cerrado e o Cerradão ocorrem com maior frequência nas regiões leste e norte; e a floresta Estacional Decidual ocorre no sul, precisamente no município de Piracicaba.

Em 1995, PAGANI fez o levantamento florístico e fitossociológico da mata mesófila semidecídua do Morro do Cuscuzeiro através do método dos quadrantes, onde foram amostrados indivíduos com perímetro a altura do peito (PAP) superior a 10 cm. Os resultados revelaram a ocorrência de 24 famílias, pertencentes a 34 gêneros e 40 espécies.

Em 2003, LEITE realizou outro levantamento fitossociológico na mata do Morro do Cuscuzeiro, encontrando 67 espécies distribuídas em 51 gêneros e 29 famílias. As famílias que contribuíram com maior número de espécies foram Myrtaceae, Annonaceae, Euphorbiaceae, Caesalpinonaceae, Fabaceae e Rutaceae. Este estudo incrementou o levantamento realizado por PAGANI (1995), aumentando a riqueza de espécies conhecidas, o que pode vir a contribuir para uma futura recuperação das áreas degradadas próximas a esta mata.

ALMEIDA-SCABBIA (2001) analisou uma mata da Fazenda Pedra Vermelha, em Analândia, e encontrou 135 espécies, distribuídas em 94 gêneros e 44 famílias. A autora também analisou a distribuição da vegetação em três cotas altimétricas e concluiu que há diferença significativa da vegetação nas diferentes cotas, além de uma estreita correlação da florística, da estrutura e da dinâmica vegetal com os fatores do solo.

A partir de levantamentos em campo, a presente pesquisa identificou as seguintes fitofisionomias ocorrentes na área de estudo: Floresta Estacional (formações Semidecidual, Submontana e Aluvial), Cerradão e Cerrado, as quais são descritas a seguir.

6.13.1. Floresta Estacional Semidecidual

Segundo VELOSO (1992), o conceito ecológico desta formação relaciona-se com as condições climáticas da região de ocorrência, caracterizada por apresentar duas estações distintas, uma chuvosa e outra seca, ou com acentuada variação térmica.

O termo estacional menciona as transformações de aspecto ou comportamento da comunidade conforme as estações do ano. Semidecidual refere-se a deciduidade, ou seja, a capacidade de perda foliar parcial na estação seca, observada em algumas espécies típicas desta formação (RODRIGUES, 1999). A porcentagem das árvores caducifólias na composição florestal, no período desfavorável, pode variar entre 20 e 50% (VELOSO, 1992).

Em relação aos fatores condicionantes, verifica-se que esta formação florestal ocupa as mais variadas condições edáficas, ocorrendo tanto em solos mais argilosos quanto em solos arenosos. Entretanto, apesar de visualmente apresentar as mesmas características fisionômicas, existem particularidades florísticas e estruturais devido às características do solo nas quais essas formações se situam (RODRIGUES, 1999).

Algumas famílias de espécies arbóreas que caracterizam de forma marcante o estrato arbóreo superior das matas de planalto, por apresentar uma maior diversidade de espécies são: Fabaceae, Meliaceae, Rutaceae, Euphorbiaceae, Lauraceae e Myrtaceae. Da mesma forma, no estrato inferior (sub-bosque), algumas famílias marcantes são: Rubiaceae, Myrtaceae, Euphorbiaceae e Rutaceae (LEITÃO FILHO, 1982). Em relação à dominância de alguns gêneros neste tipo de formação, destacam-se: *Parapiptadenia*, *Peltophorium*, *Cariniana*, *Tabebuia* e *Astronium*, entre outros de menor importância fisionômica (VELOSO, 1992).

6.13.2. Floresta Estacional Semidecidual Submontana

Esta denominação foi utilizada pela Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística para especificar uma formação fitogeográfica que ocorre em áreas com declividades mais acentuadas em relação às áreas de ocorrência da Floresta Estacional Semidecidual. Verifica-se a ocorrência desta formação florestal nas encostas interioranas e nos planaltos centrais capeados pelos Arenitos Botucatu e Bauru (VELOSO, 1992).

Num estudo realizado num trecho de Floresta Estacional Semidecidual Submontana na Serra de Itaqueri (SP), KOTCHETKOFF-HENRIQUES (1989) concluiu que a dinâmica natural das espécies arbóreas, a sua composição florística e a sua característica estrutural estão diretamente relacionadas com a ocorrência freqüente de perturbações no local, como os escorregamentos periódicos de solo.

Em relação à composição florística, esta formação sofre influência de outras formações fitogeográficas como a Floresta Estacional Semidecidual e o Cerradão. Entre os gêneros que caracterizam esta floresta nos planaltos areníticos, destacam-se: *Euterpe*, *Cariniana*, *Cedrela*, *Hymenaea*, *Copaifera*, *Peltophorum*, *Astronium* e, principalmente no oeste do Estado de São Paulo, o gênero *Aspidosperma* (VELOSO, 1992).

6.13.3. Floresta Estacional Semidecidual Aluvial

Entre as diversas denominações já empregadas para esta formação, LEITÃO FILHO (1982) consagrou o termo Mata Ciliar ao defini-la como Floresta Latifoliada Higrófila com inundações temporárias. Atualmente este termo apresenta um amplo uso popular referindo-se a qualquer formação florestal ao longo dos cursos d'água, ou seja, uma aplicação com base nas características físicas das áreas de ocorrência. Assim, esta formação compreende um mosaico florestal abrangendo desde florestas estacionais e florestas paludosas até cerrados e cerradão (LEITÃO FILHO, 1982; MANTOVANI, 1989 e RODRIGUES, 1999).

O mosaico florestal que circunda a Floresta Estacional Semidecidual Aluvial promove a mistura de espécies vegetais de diferentes formações. Isto faz com que esta fitofisionomia apresente uma elevada e complexa diversidade de espécies, além de uma significativa heterogeneidade estrutural. Alguns gêneros de espécies arbóreas e arbustivas consideradas típicas desta formação são: *Ficus*, *Croton*, *Inga*, *Genipa*, *Calophyllum*, *Cyclobalium*, *Hymenaea*, *Copaifera*, *Talauma*, *Tapirira*, *Eugenia*, *Alchornea* e *Terminalia* (RODRIGUES, 1999).

6.13.4. Cerrado

A ocorrência desta formação nas regiões da Amazônia, Nordeste e Central do Brasil está associada climatologicamente a uma estação seca que varia entre 5 e 7 meses e precipitação anual por volta de 1400 a 1500 mm (JOLY, 1970).

No sudeste e no Sul, nota-se que o cerrado ocorre em regiões que apresentam precipitações menores e com temperaturas médias muito inferiores ao das outras regiões, podendo ocorrer geadas freqüentes e rigorosas. Quanto às condições edáficas, nota-se que os cerrados ocorrem em solos com diferentes qualidades físicas e químicas, prevalecendo, entretanto, a ocorrência em solos profundos e bem drenados. No que diz respeito à topografia, há também uma grande variação, porém, prevalece a ocorrência em terrenos planos. Quanto à fisionomia da vegetação do cerrado, esta é formada por árvores com troncos tortuosos e de casca grossa. Não há árvores de porte elevado, raramente ultrapassando os 10 metros de altura (FERRI, 1980).

Em relação à composição florística de espécies arbóreas, alguns gêneros característicos da região de cerrado são: *Tabebuia*, *Kielmeyera*, *Vochysia*, *Dimorphandra* e *Stryphnodendron*. Há ocorrência

também de gêneros comuns em outras formações fitogeográficas, como *Copaifera*, *Hymenaea*, *Piptadenia*, *Bowdichia* e *Platypodium* (JOLY, 1970).

6.13.5. Cerradão

Em áreas de cerrado, às vezes encostado a uma Floresta Estacional Semidecidual, pode-se encontrar um tipo de floresta muito peculiar denominado Cerradão. Esta formação fitogeográfica distingue-se ao longo das matas estacionais pelo aspecto ou fisionomia e, principalmente, pela sua composição florística (RIZZINI, 1997). A semelhança estrutural entre o Cerradão e as demais formações florestais que constituem a sua vizinhança, muitas vezes dificulta a delimitação ou mapeamento das suas áreas de ocorrência, quando utiliza-se apenas o aspecto visual (VELOSO, 1992).

A denominação Savana Florestada foi adotada por RIZZINI (1997) para diferenciar o Cerradão do Cerrado (Savana Arborizada). Neste caso, considerou-se como Savana Florestada a formação constituída por árvores e arvoretas aproximadas sobre um sub-bosque arbustivo, formando uma cobertura rala onde as copas das árvores podem se tocar ou não. Cerrado ou Savana Arborizada é constituído por arvoretas e arbustos esparsos sobre uma cobertura de solo densa de gramíneas, onde as copas não se tocam.

RIZZINI (1997) ressaltou que muitas espécies arbóreas que constituem os cerradões também ocorrem no cerrado. Contudo, quando se compara a estrutura dessas duas formações, nota-se que os indivíduos da mesma espécie no cerradão são em geral mais altos, com fustes bem desenvolvidos e mais retilíneos e apresentando ramificações mais altas.

A altura do estrato superior do cerradão pode chegar aos 18 metros, mas em geral esta formação florestal possui entre 8 e 12 metros. A estratificação da composição arbórea é muito simples, apresentando três andares mais ou menos distintos. O primeiro andar ou superior é constituído por árvores que podem ultrapassar os 15 metros de altura. O estrato intermediário, ou segundo andar, apresenta uma composição arbustiva bem nítida, não raramente bastante densa, constituída na sua maioria por arbustos esclerofilos. O terceiro estrato, ou inferior, é o herbáceo contendo poucas espécies de gramíneas, pequenos arbustos e plantas jovens (RIZZINI, 1997).

Alguns gêneros de espécies arbóreas característicos desta formação fitogeográfica são: *Caryocar*, *Bowdichia*, *Dimorphandra*, *Qualea*, *Anadenanthera* e *Kielmeyera* (VELOSO, 1992). Observa-se que estes gêneros também ocorrem em outras formações fitogeográficas. Desta forma, é conveniente ressaltar que os cerradões, as matas estacionais semidecíduais e o cerrado coexistem lado a lado e trocam elementos florísticos (RIZZINI, 1997).

6.14. CONTEXTUALIZAÇÃO DA MINERAÇÃO NA ÁREA DE ESTUDO

SMA/IG (2002) caracterizou algumas áreas de especial interesse quanto a aspectos relacionados à exploração atual, potencial de incremento na atividade, conflitos ou proximidade a áreas urbanas ou Unidades de Conservação. Uma dessas áreas – a área de interesse especial nº 9 - abrange a área de estudo objeto da presente tese. Esta área foi delimitada por se tratar de uma das regiões com expressiva concentração de processos junto ao DNPM de Requerimentos e Autorizações de Pesquisa mineral principalmente para areia industrial.

Em termos da legislação minerária, que regula o aproveitamento privado do subsolo – pertencente à União – os empreendimentos minerários na região estudada podem ser classificados em duas situações, derivadas da existência de dois regimes jurídicos que regulam e permitem a exploração: Regime de Licenciamento e Regime de Autorização e Concessão, definidos pelo Código de Mineração, seu Regulamento e legislação correlativa. Vale lembrar que se encontra em formulação e discussão um novo Código de Mineração que potencializa profundas alterações no quadro jurídico atual. Em sua origem, o primeiro se referia aos bens minerais de emprego na construção civil e o segundo aos demais, excluindo-se os vinculados a outros regimes (monopólio ou garimpo). O regime de Licenciamento é de competência da Prefeitura Municipal, seja na concessão de Licença específica para extração do bem mineral, seja na fiscalização, para coibir a lavra irregular ou clandestina. O regime de Autorização e Concessão é de competência da União, através do Departamento Nacional de Produção Mineral, seja na expedição de diplomas legais, como *Autorização (Alvará) de Pesquisa, Guia de Utilização* (que permite alguma lavra já na fase de pesquisa mineral) e *Concessão de Lavra*, seja na fiscalização da atividade. Refere-se a jazimentos mais complexos, que requerem estudos técnicos de maior detalhe e complexidade.

Após a promulgação da Lei 8.982, de 24/01/1995, passou a ser facultado ao interessado em desenvolver a atividade minerária das substâncias de emprego na construção civil, optar pelo regime de aproveitamento ao qual irá se vincular. Assim, um porto de areia pode, hoje, requerer uma área pelo Regime de Autorização e Concessão de Lavra, o que com um maior investimento técnico e financeiro, permite obter um título (direito) mais estável ao longo do tempo. No regime de Licenciamento, o interessado deverá requerer a renovação da Licença Específica, concedida pelo poder público municipal, continuamente, a intervalos, geralmente, de um ano ou dois. Por outro lado, frente às características deste tipo de empreendimento (na maioria das vezes de pequeno porte, sem estruturas técnico-administrativas, etc.), ainda persiste a associação de minerações de areia para construção civil e argila para cerâmica vermelha com o Regime de Licenciamento.

Outra característica relevante entre os dois regimes jurídicos, refere-se à superfície do terreno que é bloqueada pelo interesse minerário. O Regime de Licenciamento concede direito

minerário a áreas de no máximo 50 ha, enquanto o Regime de Autorização e Concessão normalmente estende-se a glebas de até 1.000 ha nas fases iniciais, diminuindo a delimitação da jazida quando da Concessão de Lavra. Em termos de Licenciamento Ambiental, é necessária a expedição de Licenças de Instalação e Funcionamento para os dois regimes jurídicos citados. As exigências técnicas para cada situação, porém, são diferenciadas, de acordo com normatizações e procedimentos legais a cargo dos órgãos responsáveis pelo licenciamento ambiental.

A partir dos dados apresentados por SMA/IG (2002), tendo como fonte de informação DNPM (1999), os polígonos dos processos de licenciamento minerário da área de estudo foram selecionados, digitalizados e adicionados ao Mapa de Documentação (ver Figura 8). Os dados do DNPM sugerem alta potencialidade dos arenitos associados à Formação Botucatu/Pirambóia para areias de uso industrial (vidro, fundição e outros). Além disso, esses arenitos formam bons sistemas aquíferos com alta potencialidade para a exploração de água. Os basaltos e diabásios, nessa área, têm potencial para exploração de brita.

Os dados (ver Tabela 6) mostram que, quanto à situação dos processos junto ao Sistema Títulos Minerários, esta área exibe um total de 32 processos minerários, abrangendo uma área total de 13.200,25 ha, correspondendo a 20,46% da área de estudo. Quanto às fases em que se encontravam os processos minerários, predominam processos de Autorização de Pesquisa, tanto em termos de número quanto em termos de área abrangida, seguido de processos de Requerimento de Pesquisa.

Quanto aos minerais em licenciamento (ver Figura 24), ocorre predominância das areias – industriais, para vidro e fundição - (81%, em termos de área). Os processos para areia de construção e cascalho não chegam a representar 1% da área total dos processos em licenciamento. Entre os empreendimentos atualmente em atividade destacam-se a Mineração Descalvado e a Mineração Jundu, sendo esta última a maior mineração de areia industrial do país.

Tabela 6. Processos de licenciamento mineral na área de estudo

<i>Fase do Processo</i>	<i>Polígono</i>	<i>nº Processo</i>	<i>Mineral</i>	<i>área (ha)</i>	<i>% (área)</i>
	1	800374	Basalto	44,50	0,34
	2	820237	Areia de fundição	647,61	4,91
	3	820236	Areia de fundição	970,11	7,35
	4	820506	Areia de fundição	929,66	7,04
	5	820048	Cascalho	51,89	0,39
	6	820505	Água Mineral	48,92	0,37
	7	820834	Areia de fundição	9,82	0,07
	8	820015	Areia de fundição	982,63	7,44
Autorização de Pesquisa	9	820058	Areia Industrial	999,75	7,57
	10	820059	Areia Industrial	178,55	1,35
	11	821289	Argila	742,29	5,62
	12	821288	Argila	998,31	7,56
	13	820062	Areia de fundição	505,55	3,83
	14	820735	Água Mineral	48,10	0,36
	15	820057	Água Mineral	29,64	0,22
	16	820879	Areia de fundição	885,07	6,70
	17	820907	Areia de fundição	156,39	1,18
	Sub-total			8.228,79	62,34
Requerimento de Lavra	18	813284	Areia para vidro	55,49	0,42
	19	809668	Areia para vidro	157,92	1,20
	20	820931	Areia de fundição	981,01	7,43
	Sub-total			1.194,42	9,05
Licenciamento	21	820354	Areia construção	9,73	0,07
	22	008889	Areia de fundição	240,43	1,82
	23	809167	Areia para vidro	232,87	1,76
	24	004692	Areia para vidro	45,58	0,35
Concessão de Lavra	25	808929	Areia de fundição	154,31	1,17
	26	007358	Areia de fundição	186,20	1,41
	27	820779	Areia para vidro	331,60	2,51
	Sub-total			1.191,00	9,02
	28	821812	Basalto	48,10	0,36
	29	820461	Areia de fundição	999,75	7,57
Requerimento de Pesquisa	30	820460	Areia de fundição	977,86	7,41
	31	820739	Água Mineral	45,31	0,34
	32	821290	Argila	505,28	3,83
	Sub-total			2.576,31	19,52
TOTAL				13.200,25	100,00

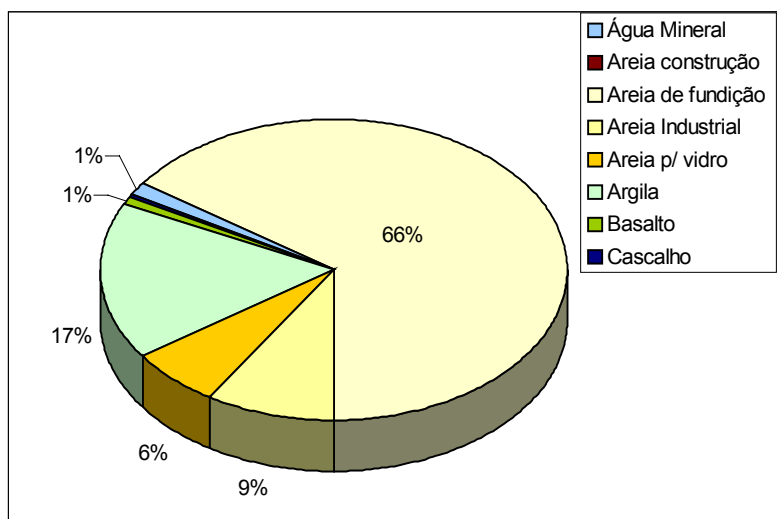


Figura 24. Grupos minerais em licenciamento na área de estudo (percentuais relativos à área total dos processos).

A Mineração Descalvado (ver Figura 25) encontra-se em extração até o nível d'água, cuja geologia constitui-se de um pacote de arenitos brancos, amarelos e castanhos, com cerca de 35 metros, contendo da base para o topo, cerca de: 05 metros de arenitos da Formação Pirambóia, 16 metros de arenitos da Formação Botucatu e 12 metros de sedimentos arenosos da Formação Santa Rita do Passa Quatro. A jazida iniciou suas atividades em 1986. Atualmente os arenitos da Formação Santa Rita do Passa Quatro não são mais usados para fundição e serão utilizados na recuperação da área minerada. Utiliza circuito fechado de água, mas usa química no beneficiamento (ácido sulfúrico e outros produtos com zinco, etc.). Cerca de 20% da produção abastecem a construção civil e 70%, as indústrias de vidro (SMA/IG, 2002).



Figura 25. Mineração Descalvado (SMA/IG, 2002).

A Mineração Jundu (Figura 26) encontra-se em franca produção, contando com reservas para várias décadas (mais de 30 anos). Seu tipo de lavra é em cava seca, mas com rebaixamento do lençol freático (já rebaixado em 8 a 10 metros), apresentando bancadas de 15 a 20 metros. Sua geologia é composta de Arenitos de cores creme a castanha, pertencentes da base para o topo a: Formação Pirambóia, Formação Botucatu e Formação Santa Rita do Passa Quatro. Ocorrem, em diversos níveis desse pacote de arenitos, porções lixiviadas, onde o teor de ferro é muito baixo e condicionando a cor branca dessas areias. Sua produção está em torno de 1,5 milhão de ton/ano, onde 10% é rejeito e 15% dessa produção é para uso na construção civil e a maior parte se destina à indústria, vidro e fundição. No seu beneficiamento são utilizados lagoas de decantação, com ácido sulfúrico e soda cáustica para tratamento dos efluentes (SMA/IG, 2002).



Figura 26. Mineração Jundu (foto do autor)

Na Mineração Jundu destaca-se a ocorrência de um impacto ambiental que é pouco relatado em trabalhos de avaliação de impactos de mineração. Neste caso, a exploração da jazida de areia já atingiu o nível do lençol freático e o fluxo de água ocasionou a formação de uma caverna no interior da jazida, implicando no risco de colapso do teto desta caverna, conforme relatado por PORSANI & MALAGUTTI FILHO (1999).

Segundo DOURADO *et al.* (2001), parte dos arenitos situa-se abaixo do nível freático (NF) local original e, para que a lavra dos mesmos fosse possível, o NF foi sendo rebaixado gradativamente, causando a depressão deste junto à base do talude da bancada inferior. Com este procedimento, o gradiente do lençol freático aumentou, aumentando também a velocidade de escoamento da água subterrânea, que aflora na nova superfície do terreno. Inicialmente a água aflora igualmente por toda a base do talude. Em seguida, em função da existência de pontos de

maior permeabilidade, devido à granulometria do arenito ou à pequenos falhamentos, a água passa a aflorar preferencialmente por estes pontos de forma concentrada, originando nascentes. Estes fluxos de água passam a erodir o arenito que é friável, iniciando o processo de formação das cavidades. Com a evolução deste processo, as cavidades formadas podem aumentar bastante, se transformando em cavernas. O tráfego dos veículos e máquinas utilizados na lavra dos arenitos, no piso superior desta bancada, pode provocar o abatimento do teto destas cavernas, implicando em sérios riscos.

7. CONVERSÃO DAS INFORMAÇÕES ESPACIAIS EM INDICADORES DE GRAU DE IMPACTO AMBIENTAL

Conforme relatado no Capítulo V, item 5.2, as informações espaciais de cada componente ambiental foram convertidas em indicadores de grau de impacto ambiental. Um indicador de grau de impacto ambiental reflete, quantitativamente, a suscetibilidade potencial ao desencadeamento de determinado impacto ambiental, ou então, o grau de relevância que este impacto assumirá de acordo com os parâmetros ambientais considerados.

Assim, cada indicador de grau de impacto será composto por um ou mais parâmetros ambientais, sendo que tais parâmetros serão padronizados em uma escala contínua compreendida no intervalo de um *byte*, ou seja, entre 0 e 255 GI, onde GI é a unidade de grau de impacto ambiental adotada. O valor de 0 GI corresponde ao mínimo grau de impacto ambiental e o valor de 255 GI corresponde ao máximo grau de impacto ambiental.

Os parâmetros ambientais foram selecionados a partir dos produtos cartográficos gerados na etapa de diagnóstico ambiental e a sua conversão em grau de impacto foi realizada através de modelagem difusa (“*fuzzy*”). Para cada indicador de grau de impacto foram atribuídos pesos aos seus respectivos parâmetros ambientais, através do processo analítico hierárquico (AHP – *Analytical Hierarchy Process*), o que possibilitou realizar uma avaliação por critérios múltiplos (MCE – *Multi Criteria Evaluation*), aplicando-se o método de Combinação Linear Ponderada (WLC – *Weighted Linear Combination*). Este método permite não apenas reter toda a variabilidade dos dados contínuos, mas oferece também a possibilidade dos parâmetros ambientais compensarem-se uns com os outros. Um baixo valor de grau de impacto em determinado parâmetro para uma área qualquer pode ser compensado por um alto valor para outro parâmetro. A forma como ocorre a compensação de um parâmetro com o outro será determinada por um conjunto de pesos dos parâmetros, indicando a importância relativa de cada um.

Desta forma, foram selecionados indicadores de grau de impacto relacionados à erosão, a impactos sobre os recursos hídricos e a impactos sobre a biodiversidade.

7.1. INDICADOR DE GRAU DE IMPACTO AMBIENTAL RELACIONADO À EROSÃO

Um dos impactos mais relevantes decorrentes da atividade minerária é o desencadeamento e intensificação de processos erosivos. Segundo GUERRA & CUNHA, (1995), a erosão dos solos não causa problemas apenas nas áreas onde ocorre, mas pode reduzir a fertilidade dos solos e criar ravinas e voçorocas, o que torna, às vezes, impossível sua utilização agrícola. A erosão causa, quase sempre, uma série de problemas ambientais, em nível local ou até mesmo em grandes áreas. Por exemplo, o material que é erodido em uma bacia hidrográfica pode causar o assoreamento de rios e reservatórios. Além disso, as partículas transportadas pela água, em uma área agrícola, podem estar impregnadas de agroquímicos e contaminar as águas dos rios. O desmatamento e a erosão dos solos podem provocar o desaparecimento de mananciais, bem como acentuar os efeitos das inundações. Enfim, a erosão causa uma grande gama de impactos ambientais, desde a sua própria degradação, passando por problemas ambientais de uma forma geral.

A estimativa de perda de solo por erosão para uma determinada área é o princípio para planejar ações corretivas, contudo, existem dificuldades para se avaliar de forma exata e precisa a extensão, magnitude e taxas da erosão acelerada, assim como os seus impactos ambientais e econômicos. Além das dificuldades técnicas, a pesquisa em erosão é cara e morosa, pois os processos erosivos variam no tempo e espaço sobre a ação de numerosas variáveis físicas e de manejo que determinam as condições específicas de um local (WEILL, 1999).

Os fatores erosivos mais importantes, ou seja, condições naturais ou antrópicas que exercem grande influência no aparecimento, desenvolvimento e resultado dos processos erosivos, incluem condições naturais climáticas, hidrológicas, topográficas, geológicas, pedológicas e de vegetação, assim como condições de ordem sócioeconômica e técnica (DVORAK & NOVÁK, 1994).

Segundo FUJIHARA (2002), a construção de modelos com fatores erosivos mais significativos têm sido desenvolvidos para estimar a perda de solo em condições atuais e simuladas para prever e controlar o risco de erosão. Um dos modelos empíricos mais utilizados em todo o mundo corresponde à Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS), também conhecida por *USLE* (*Universal Soil Loss Equation*). A EUPS foi desenvolvida em 1954 no *National Runoff and Soil Loss Data Center* pela *Agricultural Research Service*, em colaboração com a Universidade de Purdue (USA) e, posteriormente, revisada por WISCHMEIER & SMITH (1978). Devido às limitações do modelo original, a EUPS vem sofrendo modificações (MUSLE, WATEM, etc) e revisões (RUSLE2), além de servir de base para a criação de novos modelos como *CREAMS* (*Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems Model*) e o *WEPP* (*Water Erosion Prediction Project*).

Entre os parâmetros do método USLE, destaca-se o fator K, definido como a quantidade de solo perdida por unidade de área por unidade de índice de erosividade adotados, em condições

padrão (WISCHMEIER *et al.*, 1971), como o único parâmetro do método intrínseco ao solo. A erodibilidade é uma propriedade do solo, resultante da interação entre suas características físicas, químicas, mineralógicas e biológicas. Reflete a perda diferencial que os solos apresentam quando os demais fatores que influenciam a erosão permanecem constantes, sendo influenciada principalmente por aquelas características que afetam a capacidade de infiltração e permeabilidade do solo e sua capacidade de resistir ao desprendimento e transporte de partículas pela chuva e enxurrada (LOMBARDI NETO & BERTONI, 1975).

A resistência do solo à erosão depende de fatores extrínsecos e intrínsecos aos solos. Como fatores intrínsecos ao solo são consideradas as propriedades físicas (textura, estrutura, permeabilidade, densidade), químicas, mineralógicas e biológicas do solo. Entre os fatores extrínsecos ao solo, temos o comprimento, a forma e o declive de rampa, além do sistema de manejo adotado e o tipo de cobertura do solo. A textura é um dos fatores de caráter físico que influi na maior ou menor quantidade de solo arrastado pela erosão. Segundo FERREIRA (1992), a distribuição do tamanho das partículas é um dos maiores determinantes da erodibilidade. As partículas mais finas do solo são mais facilmente transportadas, enquanto partículas maiores resistem à remoção tendendo a se acumular na superfície (RESENDE, 1985).

A estrutura influencia a resistência do solo à erosão através das propriedades físico-químicas da argila que faz com que os agregados permaneçam estáveis em presença de água e de propriedades biológicas devido à presença de matéria orgânica humificada. Quanto maior a estabilidade dos agregados em água, maior a permeabilidade do solo e menor a desagregação e, portanto, menor o escoamento superficial e o arraste de partículas individualizadas pela água. A maior força de coesão das partículas nos solos argilosos torna estes solos mais resistentes à erosão (CORRECHEL, 2003).

FERES (2002) considera que os instrumentos da pedologia e da geotecnia podem ser largamente empregados para a produção de cartas que auxiliem na quantificação da perda de solo e na prevenção de riscos por processos erosivos. A partir das informações mapeadas para uma dada região, tornam-se possíveis ações de planejamento urbano e regional que minimizem os efeitos desastrosos da erosão do solo e assoreamento dos cursos e reservatórios de água.

A partir de ferramentas de mapeamento geotécnico, PEJON (1992) desenvolveu metodologia para elaboração de cartas de risco potencial à erosão, a qual consiste basicamente na hierarquização e atribuição de pontos aos diversos fatores intervenientes no processo erosivo (ver Quadro 4), incluindo características do material inconsolidado (textura, profundidade, erodibilidade, permeabilidade) bem como características ambientais, como o potencial ao escoamento superficial (ver Quadro 5), que por sua vez considera atributos como a litologia, declividade, densidade de drenagem e feições favoráveis ao armazenamento superficial.

Quadro 4. Pontuação dos atributos considerados na elaboração da carta de risco potencial à erosão (PEJON, 1992).

Material Inconsolidado	Textura	Argilo-siltosa (5)			Silto-argilosa (10)		Arenosa (<30% finos) (20)			Arenosa (<20% finos) (30)	
	Profundidade (m)	<0,5 (5)			0,5-3 (10)		3 a 5 (20)			>5 (30)	
	Índice de Erodibilidade	Não Erodível (5)					Erodível (20)				
Potencial ao escoamento superficial*		1 (5)	2 (8)	3 (10)	4 (13)	5 (15)	6 (20)	7 (25)	8 (30)	9 (35)	10 (40)
Total de pontos de cada classe		20-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-100	101-110	111-120
Classes de risco potencial à erosão		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

*ver Quadro 5

Quadro 5. Pontuação dos atributos do meio físico utilizados na classificação do potencial ao escoamento superficial (PEJON, 1992).

Classes de Escoamento superficial	Potencial de escoamento aumenta									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Total de pontos das classes	70-89	90-109	110-129	130-149	150-169	170-189	190-209	210-229	230-249	250-272
Classes de declividade	A1 (15)	A2 (24)	B1 (36)	B2 (45)	C1 (60)	C2 (66)	C3 (75)	C4 (90)		
Litologia	Arenitos Fm. Pirambóia, Botucatu, Sta. Rita* e Piraçununga* (10)		Arenitos Fm. Itaqueri e Itararé (16)		Arenitos/Siltitos arenosos/ Diamectitos Fm. Itararé e Tatuí (20)		Argilitos/Siltitos - Fm. Itararé Magmatitos Básicos - Fm. Serra Geral (30)		Argilitos/Siltitos/ Folhelhos Fm. Irati e Corumbataí (40)	
Material inconsolidado	Textura Gênese	Arenoso (<20% finos) Res. e Retrab. (10)		Arenoso (<30% finos) Res. e Retrab. (14)		Argiloso poroso Retrab. (20)		Argilo-siltoso Residual (30)		Silto-argiloso Residual (40)
	Espessura (m)	Maior que 5 (10)			3 a 5 (16)		0,50 a 3 (20)		Menor que 0,50 (30)	
	Permeabilidade (m/s)	Maior que 10 ⁻⁴ (5)			10 ⁻⁵ (6)		10 ⁻⁶ (7)		10 ⁻⁷ (8)	> que 10 ⁻⁷ (12)
Densidade de drenagem (canais/km)	Menos que 2 (10)				2 a 5 (20)			Mais que 5 (30)		
Feições favoráveis ao armazenamento superficial	Lagoas, pequenas depressões (grande quantidade) (10)				Lagoas, pequenas depressões (pequena quantidade) (20)			Não apresenta (30)		

*Modificado

A metodologia proposta por PEJON (1992) foi aplicada por TOREZAN (2000) para elaboração da Carta de Risco Potencial à Erosão Acelerada da bacia do rio Bonito (Descalvado, SP). Esta carta foi utilizada na identificação de áreas nas quais atividades impactantes como a mineração seriam inviáveis do ponto de vista ambiental, devendo nesses casos serem destinadas a

usos conservacionistas, constituindo-se num importante subsídio para o planeamento do meio físico da área em questão.

Os resultados indicaram tendência a alta potencialidade à erosão na bacia do rio Bonito, sendo que as áreas de maior risco correspondiam à Formação Piraçununga e Pirambóia e às áreas de declividades acentuadas, como nas escarpas do Serrote de Descalvado.

7.1.1. Parâmetro Ambiental Declividade

O Mapa de Declividades da área de estudo foi convertido em valores de grau de impacto ambiental através do conceito probabilístico de lógica difusa (“fuzzy”), adotando-se uma função sigmoideal crescente, disponível no SIG IDRISI. Considerou-se que para declividades com valores de até 2%, o grau de impacto relativo à erosão é mínimo (GI=0) e a partir de 2%, o valor de grau de impacto começa a se elevar. Para valores de declividade a partir de 45%, o grau de impacto é máximo (GI=255). A Figura 27 representa graficamente a função adotada. A conversão destes valores resultou em um plano de informação representando a espacialização do parâmetro ambiental declividade (Figura 28), no formato de imagem matricial (“raster”).

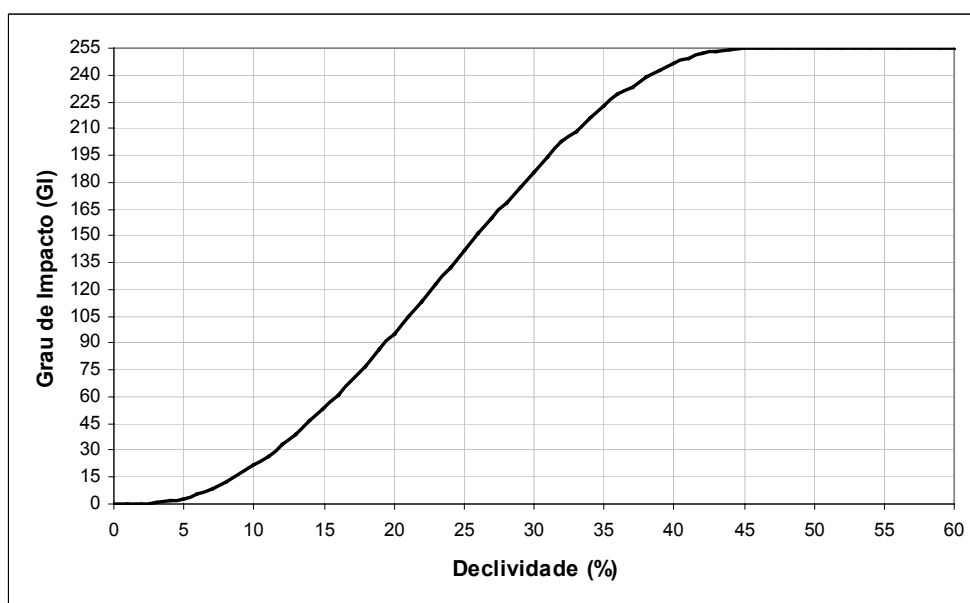


Figura 27. Gráfico representando a relação entre declividade e grau de impacto ambiental.

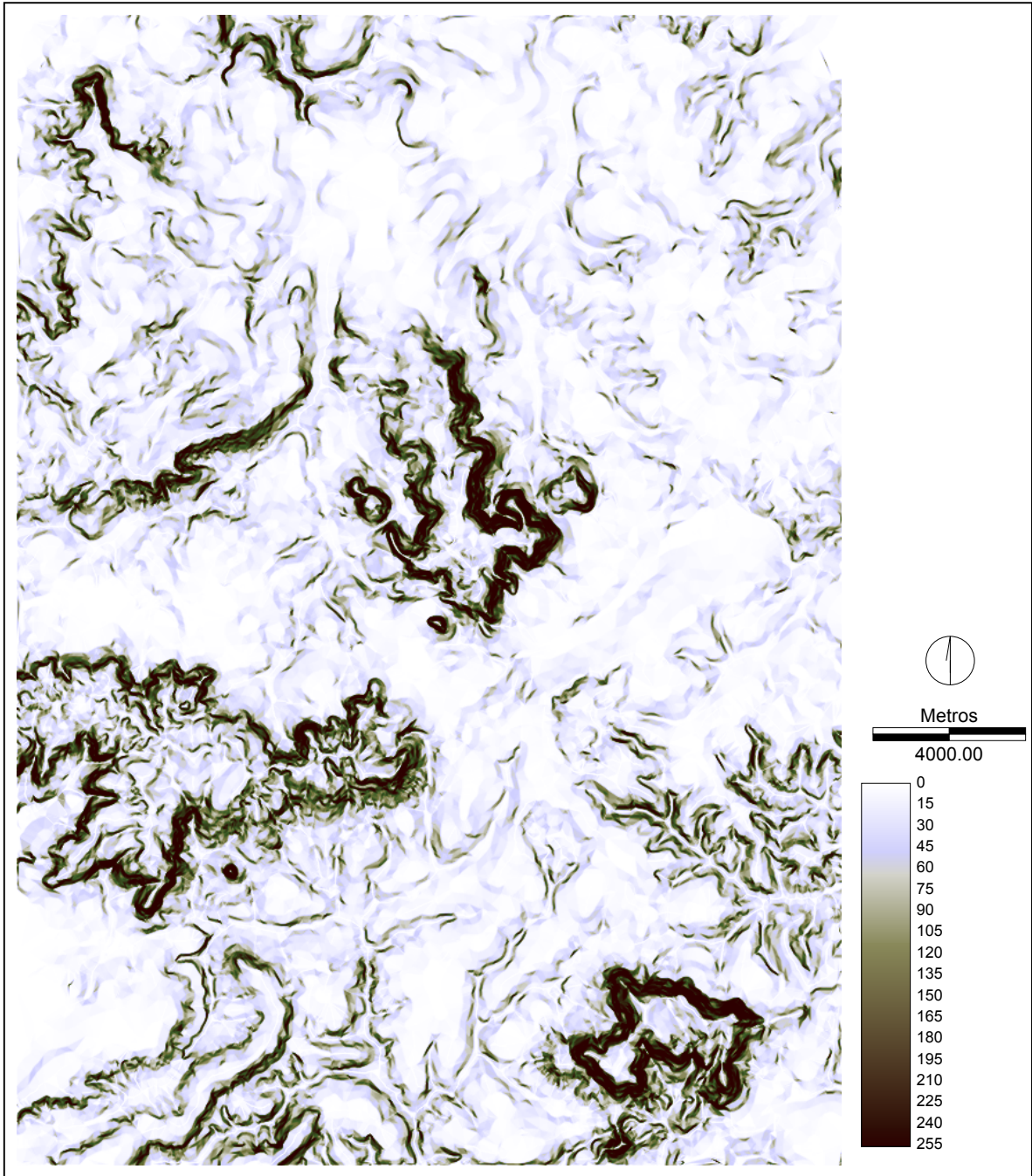


Figura 28. Espacialização do Parâmetro Ambiental Declividade.

7.1.2. Parâmetro Ambiental Litologia

A composição litológica das Formações Geológicas de superfície é um dos parâmetros considerados por PEJON (1992) como responsável por influenciar o potencial ao escoamento superficial e, conseqüentemente, o potencial à intensificação de processos erosivos.

O Mapa de Formações Geológicas de Superfície foi reclassificado atribuindo-se os valores descritos no Quadro 6, a partir de modificação da proposta de PEJON (1992), onde quanto maior o valor, maior será o potencial ao escoamento superficial. Esta conversão foi realizada através do conceito probabilístico de lógica difusa (“fuzzy”), adotando-se uma função linear crescente, disponível no SIG IDRISI. O mapa reclassificado foi convertido em valores de grau de impacto ambiental. Considerou-se que para valores iguais a 5, o seu grau de impacto relativo à erosão é mínimo (GI=0) e a partir de valores iguais a 40, o seu grau de impacto é máximo (GI=255). A conversão destes valores resultou em um plano de informação representando a espacialização do parâmetro ambiental litologia (Figura 29).

Quadro 6. Atribuição de valores ao potencial de escoamento superficial relacionado à litologia

Formação	Litologia	Potencial de escoamento superficial
Quaternário	Areias, Argilas e Cascalhos	5
Fm. Santa Rita do PassaQuatro	Areias e Cascalhos	10
Fm. Piraçununga	Areias e Conglomerados	10
Fm. Itaqueri	Arenitos e Arenitos Conglomeráticos	16
Fm. Serra Geral	Basaltos	30
	Diabásios	30
Fm. Botucatu	Arenitos	10
Fm. Pirambóia	Arenitos	10
Fm. Corumbataí	Argilitos e Siltitos	40

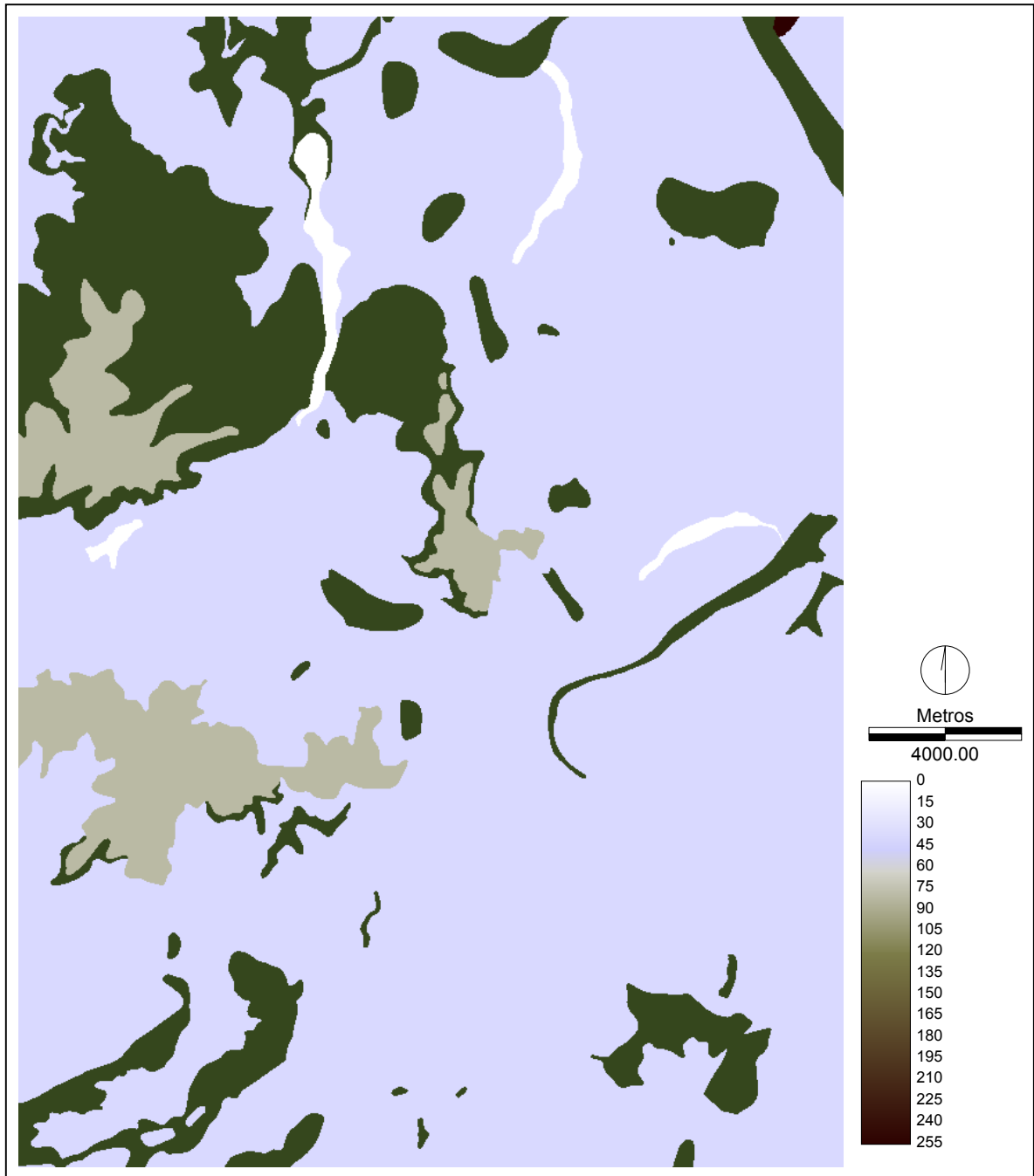


Figura 29. Espacialização do Parâmetro Ambiental Litologia

7.1.3. Parâmetro Ambiental Erodibilidade

O Parâmetro Ambiental Erodibilidade, também conhecido como fator K, indica a maior ou menor facilidade com que as partículas são destacadas do solo e transportadas, representando o efeito integrado dos processos que regulam a infiltração de água e resistência do solo à desagregação e transporte de partículas, portanto, reflete a suscetibilidade à erosão de determinado tipo de solo. É o fator que tem despertado o maior interesse na pesquisa de erosão, por ser governado pelos atributos intrínsecos do solo, os quais podem variar de solo para solo e com o tipo de manejo (Silva *et al.*, 2000).

Os autores dividem os métodos de determinação da erodibilidade do solo basicamente em três grupos. O primeiro envolve a determinação do fator K em condições de campo, sob chuva natural; entretanto, este método é oneroso e muito demorado. O segundo é semelhante ao primeiro, porém baseia-se na quantificação do fator K em razão das perdas de solo e do fator erosividade, sob condições de chuva simulada. Estes dois métodos são considerados padrões e refletem a erodibilidade do solo como é preconizada pela Equação Universal de Perdas de Solo (WISCHMEIER & SMITH, 1978). O terceiro método baseia-se em regressões múltiplas que contenham como variáveis independentes atributos morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos do solo ou relações destes, correlacionados com o fator K obtido pelos métodos padrões.

De acordo com MARQUES *et al.* (1997) *apud* ROSALEM (2002), no Brasil já existe um grande número de solos em que o valor de K foi determinado através de parcelas experimentais. Um dos trabalhos precursores da determinação de K de maneira direta, foi realizado por LOMBARDI NETO & BERTONI (1975), que obtiveram esses valores para os principais solos do Estado de São Paulo, adaptando a metodologia de MIDDLETON (1930).

No presente estudo, a análise do parâmetro erodibilidade dos solos foi realizada com base no Mapa Pedológico, o qual foi reclassificado a partir de valores de erodibilidade disponíveis em literatura – LOMBARDI NETO (1994 e 1995) *apud* KUNTSCHIK (1996); LOMBARDI NETO (2001) *apud* BUENO *et al.* (2001). Os valores de erodibilidade adotados para as diversas classes e associações de solos da área de estudo estão relacionados na Tabela 7)

Para a conversão da erodibilidade em grau de impacto ambiental adotou-se uma função linear crescente, considerando-se que para valores de erodibilidade iguais a 0, o seu grau de impacto relativo à erosão é mínimo (GI=0) e, a partir de valores iguais a 0,05, o seu grau de impacto é máximo (GI=255). A conversão destes valores resultou em um plano de informação representando a espacialização do parâmetro ambiental litologia (Figura 30) no formato de imagem matricial (“*raster*”).

Tabela 7. Valores de erodibilidade adotados

Solo	Erodibilidade (t.h/MM.mm)	Solo	Erodibilidade (t.h/MM.mm)
AQ	0,0296	LRd + TE	0,0154
AQ + LV1	0,0203	LRe	0,0098
Hi	0,0085	LRe + LRd	0,0127
LE1	0,0183	LV1	0,0220
LE2	0,0175	LV2	0,0220
LE2 + LE1	0,0180	LV3	0,0132
Li1	0,0362	LV3 + LE2	0,0156
Li3	0,0394	LV3 + LV1	0,0179
Li3 + Li2	0,0346	LV3 + LV2	0,0179
Li3 + TE	0,0223	PV	0,0462
LRd	0,0128	TE	0,0181
LRd + LRe	0,0116	TE + LRe	0,0159

Onde:

AQ: areias quartzosas;

Hi: solos hidromórficos;

LE1: latossolo vermelho-escuro Unidade Dois Córregos;

LE2: latossolo vermelho-escuro Unidade Hortolândia;

Li1: litossolos sedimentos finos do Permiano;

Li2: litossolos substrato arenito Botucatu-Pirambóia;

Li3: litossolos substrato basalto/diabásio;

LRd: latossolo roxo Unidade Barão Geraldo;

LRe: latossolo roxo Unidade Ribeirão Preto;

LV1: latossolo vermelho-amarelo Unidade Coqueiro;

LV2: latossolo vermelho-amarelo Unidade Lagoa Bonita;

LV3: latossolo vermelho-amarelo Unidade Laranja Azeda;

PV: podzólico vermelho-amarelo;

TE: terra roxa estruturada.

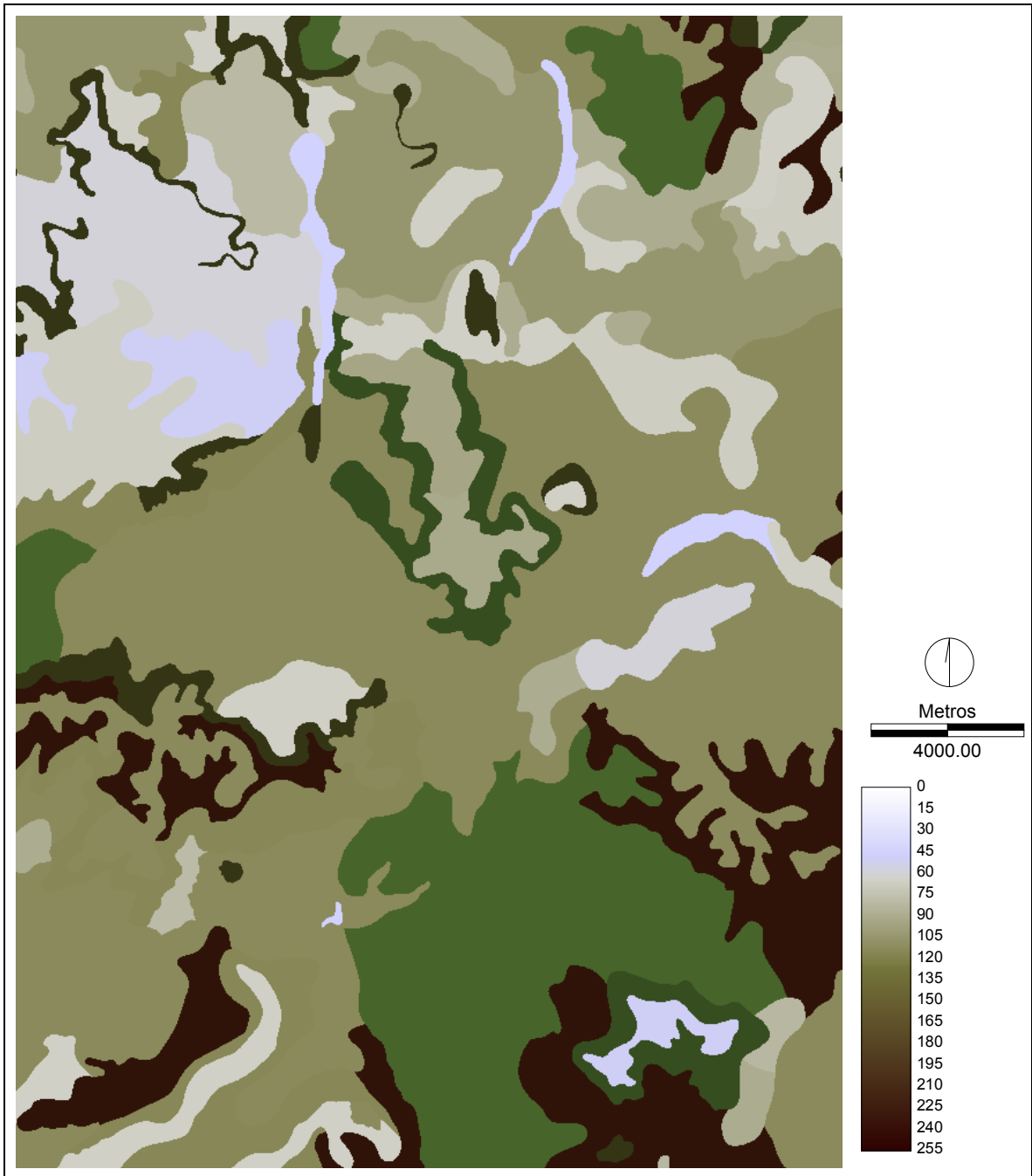


Figura 30. Espacialização do Parâmetro Ambiental Erodibilidade.

7.1.4. Grau de Impacto Ambiental Relacionado à Erosão

O Grau de Impacto Ambiental Relacionado à Erosão foi determinado através da avaliação por critérios múltiplos (MCE – *Multi Criteria Evaluation*), aplicando-se o método de Combinação Linear Ponderada (WLC – *Weighted Linear Combination*). A atribuição de pesos aos parâmetros ambientais foi realizada através do módulo WEIGHT, que utiliza o processo analítico hierárquico (AHP – *Analytical Hierarchy Process*), onde os parâmetros são comparados de acordo com sua importância relativa (ver Tabela 8) através de uma escala de comparação pareada (Quadro 7). Desta forma, considerou-se que os parâmetros declividade e erodibilidade têm a mesma importância no desencadeamento de processos erosivos. Já o parâmetro litologia, é moderadamente menos importante que a declividade e a erodibilidade.

Tabela 8. Atribuição de pesos para análise do grau de impacto relacionado à erosão

	Declividade	Erodibilidade	Litologia
Declividade	1		
Erodibilidade	1	1	
Litologia	1/3	1/3	1

Quadro 7. Escala de comparação pareada

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Extremamente	Muito fortemente	Fortemente	Moderadamente	Igualmente importante	Moderadamente	Fortemente	Muito fortemente	Extremamente
Menos importante					Mais importante			

A comparação entre os três parâmetros resultou nos seguintes pesos a serem atribuídos na análise do grau de impacto relacionado à erosão:

- Declividade: 0,4286
- Erodibilidade: 0,4286
- Litologia: 0,1428

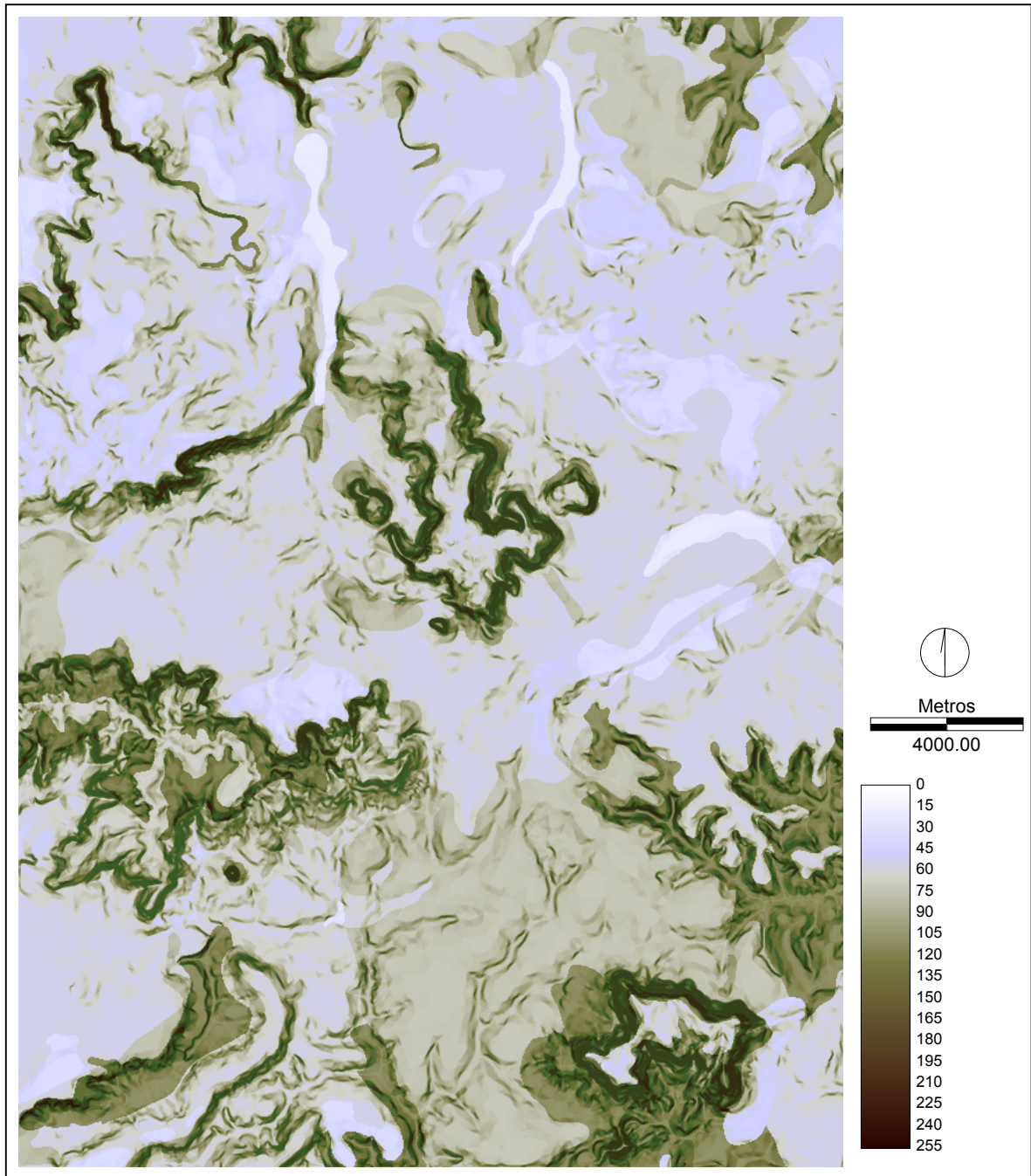


Figura 31. Espacialização do grau de impacto ambiental relacionado à erosão.

7.2. INDICADOR DE GRAU DE IMPACTO AMBIENTAL RELACIONADO À PERDA DE BIODIVERSIDADE

Este indicador reflete a relevância de impactos decorrentes da supressão e fragmentação de remanescentes de vegetação natural que são inerentes a toda e qualquer atividade de mineração, exceto aquelas realizadas em áreas onde a vegetação natural já foi substituída por outros tipos de uso antrópico.

Com base em conceitos de ecologia da paisagem, foram selecionados parâmetros que pudessem refletir a importância ambiental, em termos de grau de conservação e biodiversidade, dos diversos remanescentes de vegetação que ainda ocorrem na área de estudo. Desta forma, quanto maior o grau de conservação e importância ambiental de um determinado remanescente, maior será a relevância do impacto relacionado à sua supressão ou fragmentação, e, conseqüentemente, maior será o grau de impacto ambiental.

VIANA & PINHEIRO (1998) consideram que o desafio de conservar a biodiversidade regional em paisagens intensamente cultivadas tem como principal limitante o processo de degradação de fragmentos florestais. Tamanho, forma, grau de isolamento, tipo de vizinhança e histórico de perturbações apresentam relações com fenômenos biológicos e, conseqüentemente, afetam a dinâmica dos fragmentos florestais. Isto se reflete no mosaico de eco-unidades que diferem entre si quanto à diversidade, mortalidade e natalidade de espécies arbóreas. A análise destes fatores e da estrutura e dinâmica de eco-unidades é fundamental para identificar estratégias conservacionistas e prioridades para pesquisa.

VIANA & PINHEIRO (1998) afirmam ainda, que, a fragmentação de habitats introduz uma série de novos fatores na história evolutiva de populações naturais de plantas e animais. Essas mudanças afetam de forma diferenciada os parâmetros demográficos de mortalidade e natalidade de diferentes espécies e, portanto, a estrutura e dinâmica de ecossistemas. No caso de espécies arbóreas, a alteração na abundância de polinizadores, dispersores, predadores e patógenos alteram as taxas de recrutamento de plântulas; e os incêndios e mudanças microclimáticas, que atingem de forma mais intensa as bordas dos fragmentos, alteram as taxas de mortalidade das árvores.

As alterações ambientais decorrentes da fragmentação referem-se não só à redução da área florestal, mas também à qualidade do ambiente remanescente. Destaca-se neste sentido o efeito de borda – alterações microclimáticas que ocorrem nos limites dos fragmentos e que afetam toda a região periférica, acarretando em maior luminosidade, menor umidade relativa do ar e maiores danos mecânicos provocados por ventos, entre outros. Estas alterações criam um novo mosaico ambiental, tendo reflexos na composição de espécies (TURNER, 1989; MURCIA, 1995; TURNER & CORLETT, 1996; TABARELLI *et al.*, 1998; SILVA & TABARELLI, 2000; HILL & CURRAN, 2001),

favorecendo espécies heliófitas, generalistas e típicas de áreas abertas em detrimento das espécies típicas do interior de florestas, mais exigentes quanto ao padrão microclimático e, em geral, dependentes de interações com animais para polinização e dispersão.

A fauna também é afetada pela fragmentação, o que pode provocar um efeito em cascata nos processos de extinção (SILVA & TABARELLI, 2000; TABARELLI & PERES, 2002). As alterações na composição de espécies têm reflexo nas guildas de sucessão e dispersão (TABARELLI *et al.*, 1998, 1999; TABARELLI & PERES, 2002).

Para VIANA *et al.* (1992), os principais fatores que afetam a dinâmica de fragmentos florestais são: tamanho, forma, grau de isolamento, tipo de vizinhança e histórico de perturbações.

KOTCHETIKOFF-HENRIQUES (2003) realizou o diagnóstico da vegetação natural do município de Ribeirão Preto, revelando a ocorrência de 102 fragmentos florestais. A riqueza de espécies encontrada em cada fragmento variou de 13 a 134 espécies, havendo um grande número de espécies com ocorrência rara – 275 espécies (52,38%) ocorrem em menos de 5% dos fragmentos, e nove espécies (1,71%) ocorrem em mais de 50% dos remanescentes. Há espécies com ocorrência rara em todos os fragmentos, mas elas tendem a ocorrer em maior número nos fragmentos maiores. Cada fragmento apresenta uma pequena porcentagem do total de espécies da formação, indicando que, para conservar a diversidade de espécies, todos os fragmentos são importantes.

Em sua pesquisa, a análise do componente principal (PCA) mostrou que a área e a área *core* (área nuclear), fator de forma e dimensão fractal, e os índices de proximidade e similaridade são, respectivamente, os principais fatores atuantes nos três primeiros eixos. A área e a área *core* apresentaram correlação significativa e positiva com a riqueza de espécies nas Matas Mesófilas e Decíduas. A forma e o isolamento não apresentaram correlação com a riqueza de espécies. O autor chegou às seguintes conclusões:

- espécies mais frequentes ocorrem na maioria dos fragmentos, independente da sua área. As espécies com ocorrência rara, por outro lado, tendem a concentrar-se nos fragmentos maiores. Desta forma, a riqueza mais elevada observada nos fragmentos maiores pode ser relacionada com a maior ocorrência de espécies com distribuição restrita a poucos fragmentos;
- fragmentos maiores e com maior área *core* geralmente apresentam maior número de espécies. Áreas maiores também tendem a apresentar maior número de espécies dos estágios finais de sucessão, zoocóricas e com ocorrência rara;

- a forma do fragmento não apresentou correlação clara com a riqueza ou ocorrência de espécies de guildas de sucessão ou dispersão. Entretanto, a forma do fragmento influi na proporção de área core (formas alongadas apresentam menor proporção de área *core*);
- o isolamento apresentou pouca influência na riqueza de espécies, embora os dados de literatura indiquem que a conectividade seja um parâmetro importante relacionado com a riqueza (METZGER, 1997).

A partir destes pressupostos, foram selecionados os seguintes parâmetros ambientais para compor o indicador de grau de impacto ambiental relacionado à perda de biodiversidade: área dos fragmentos, área nuclear dos fragmentos, forma dos fragmentos e isolamento entre os fragmentos.

7.2.1. Parâmetro Ambiental Área dos Fragmentos

A área do fragmento é, em geral, o parâmetro mais importante na explicação da riqueza de espécies (METZGER, 1999). De acordo com HARRIS (1984), qualquer diminuição em área de um fragmento florestal pode levar a uma diminuição exponencial do número de espécies e afetar a dinâmica de populações de plantas e animais, podendo comprometer a regeneração natural das espécies e, por sua vez, a sustentabilidade do ecossistema.

Para FARINA (1998), a diminuição em área de um fragmento florestal irá repercutir na perda imediata da biodiversidade regional, em função da diminuição no número de espécies que o compõem e da alteração de sua estrutura interna. Quanto menor o fragmento, maior a influência dos fatores externos sobre ele.

Em fragmentos pequenos, a dinâmica do ecossistema provavelmente é determinada por forças externas e não internas (SAUNDERS *et al.*, 1991). Diversos estudos ressaltam uma maior intensidade dos efeitos de borda em fragmentos pequenos, com aumento na mortalidade de árvores e nas taxas de substituição, modificação nas taxas de recrutamento, além de alterações microclimáticas severas exibidas na temperatura e intensidade dos ventos (MMA/SBF, 2003).

Em situações nas quais a fragmentação e a perda de hábitat criam um grande número de fragmentos a partir de um sistema contínuo, as espécies do interior deverão sofrer um declínio em sua população, pois estarão atuando em conjunto os efeitos do tamanho do fragmento e da perda de hábitat. Este padrão continuará com o declínio do tamanho do fragmento, até que todo o fragmento seja constituído por *habitats* com características de borda (BENDER *et al.*, 1998). Entretanto, deve-se ressaltar que fragmentos pequenos podem ser importantes na paisagem por representarem uma amostra da heterogeneidade espacial original do ambiente. Adicionalmente, pequenos fragmentos podem desempenhar papel fundamental na conexão entre fragmentos maiores e áreas contínuas, contribuindo para o fluxo de genes entre populações (MMA/SBF, 2003).

Analisando a relação entre a área do fragmento e a riqueza de plantas vasculares, NILSSON & NILSSON (1978) concluíram que a área do habitat pode explicar mais 80% da variância da riqueza. A riqueza de espécies diminui de acordo com a redução da área do habitat. A redução do tamanho dos fragmentos também diminui a heterogeneidade interna dos mesmos e, conseqüentemente, os recursos disponíveis (KOHN & WALSH, 1994; MA et al. 2002; OERTLI *et al.*, 2002). Isto acarreta na redução do tamanho das populações e, conseqüentemente, redução da variabilidade genética (METZGER, 1999; ZUIDEMA *et al.*, 1996). Além destes fatores, as alterações nas relações entre organismos, como mutualismo, comensalismo, predação, ou interações inseto-planta, também aumentam a possibilidade de extinção de espécies (TURNER, 1996).

Segundo METZGER (1995), o tamanho considerado como mínimo necessário para a estabilidade de um fragmento de floresta semidecídua, tendo em vista a sua florística, é de 25 ha. O tamanho dos fragmentos, aos quais a maioria das espécies de insetos, mamíferos e pássaros tornam-se sensíveis, são respectivamente, 1 ha, 10 ha e 100 ha (FARINA, 1998).

Entretanto, VALENTE (2002) ressalta que os fragmentos de menor tamanho (sem área nuclear suficiente) não devem ser desconsiderados em uma paisagem, porque desempenham um papel importante na conservação de sua estrutura florestal, que é a conexão entre os fragmentos.

METZGER (1997) ressalta a importância da proximidade entre remanescente de floresta e cita que os fragmentos com área superior a 0,72 ha têm condições de assumir uma importante função na conexão florestal, visto serem úteis à locomoção de animais e dispersão de sementes na paisagem.

Quanto menor o fragmento, maior a influência dos fatores externos sobre ele. Em fragmentos pequenos, a dinâmica do ecossistema provavelmente é determinada por forças externas e não internas (SAUNDERS *et al.*, 1991). Diversos estudos ressaltam uma maior intensidade dos efeitos de borda em fragmentos pequenos, com aumento na mortalidade de árvores e nas taxas de substituição, modificação nas taxas de recrutamento, além de alterações microclimáticas severas exibidas na temperatura e intensidade dos ventos (MMA/SBF, 2003).

O parâmetro ambiental área dos fragmentos foi analisado a partir das informações provenientes do Mapa de Uso e Ocupação do Solo, o qual foi reclassificado com o objetivo de gerar um novo plano de informação contendo somente os remanescentes de floresta estacional e cerrado. Após a reclassificação, foi utilizada a função de agrupamento (GROUP) do SIG IDRISI, onde cada fragmento foi isolado atribuindo-se um identificador específico para cada um. Desta forma, foi possível calcular a área de cada fragmento, gerando-se uma nova imagem onde cada fragmento está vinculado à sua área.

Os resultados (ver Tabela 9) revelaram a ocorrência de 1135 fragmentos na área de estudo. A área média dos fragmentos é de 14,88 ha e o maior fragmento possui área de aproximadamente 2.224 ha, localizado ao sul da área urbana de Analândia e nas proximidades da Serra do Atalaia. Este único fragmento representa cerca de 13% somatória da área total dos fragmentos (ver Figura 33). A grande maioria dos fragmentos (569) possui área menor que 1 ha, representando apenas 1% da área total dos fragmentos, revelando o alto grau de fragmentação e pressão sobre os remanescentes de cerrado e floresta estacional. A somatória da área total dos fragmentos corresponde a 16.888 ha, representando 26% da área de estudo.

A partir do plano de informação representando a área dos fragmentos, aplicou-se modelagem difusa, considerando-se como grau de impacto mínimo fragmentos com áreas até 1 ha (GI=0) e para áreas maiores que 1000 ha foram atribuídos valores de grau de impacto máximo (GI=255). Considerou-se o valor de 100 ha como a área onde o grau de impacto ambiental seria correspondente a um valor intermediário de grau de impacto. A atribuição do valor de mínimo grau de impacto para áreas menores que 1 ha justifica-se pelo fato de que tais fragmentos já se encontram bastante alterados devido ao intenso efeito de borda resultante das atividades agrícolas em seu entorno. A Figura 32 representa a função aplicada na modelagem difusa, resultando em uma imagem representando a espacialização do Parâmetro Ambiental Área dos Fragmentos (Figura 35).

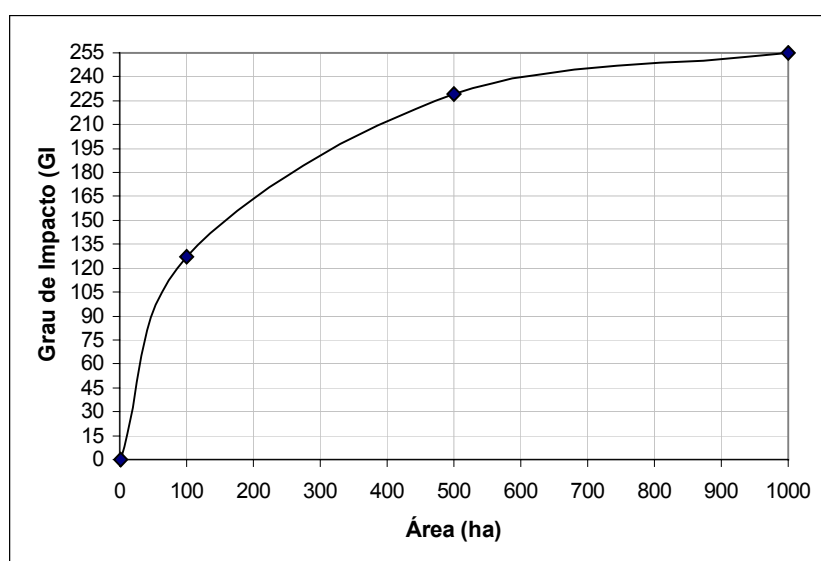


Figura 32. Gráfico representando a relação entre área do fragmento e grau de impacto ambiental.

Tabela 9. Número de fragmentos agrupados por classes de área

Classes de área	Nº de Fragmentos	Área (ha)	%*
>2000	1	2.223,99	13,17
1000 a 2000	2	2.328,67	13,79
500 a 1000	4	2.999,34	17,76
300 a 500	2	703,46	4,17
200 a 300	7	1.653,31	9,79
100 a 200	10	1.694,30	10,03
50 a 100	22	1.525,39	9,03
30 a 50	16	589,15	3,49
20 a 30	27	686,98	4,07
10 a 20	60	884,71	5,24
5 a 10	81	568,16	3,36
4 a 5	36	159,08	0,94
3 a 4	61	211,43	1,25
2 a 3	87	216,20	1,28
1 a 2	150	215,21	1,27
< 1	569	228,99	1,36
TOTAL	1135	16.888,37	100,00

*% em relação à área total dos fragmentos

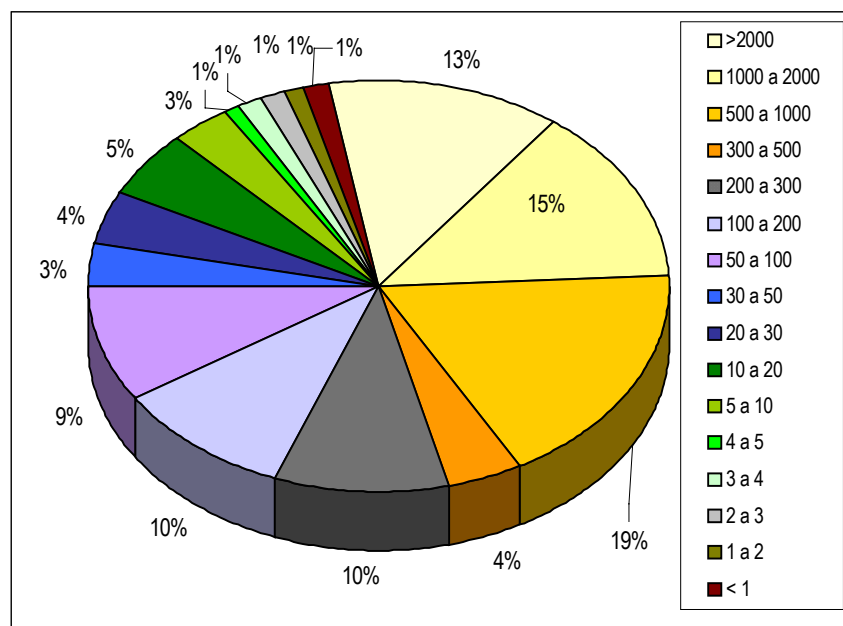


Figura 33. Percentual das classes de área relativo à área total dos fragmentos.

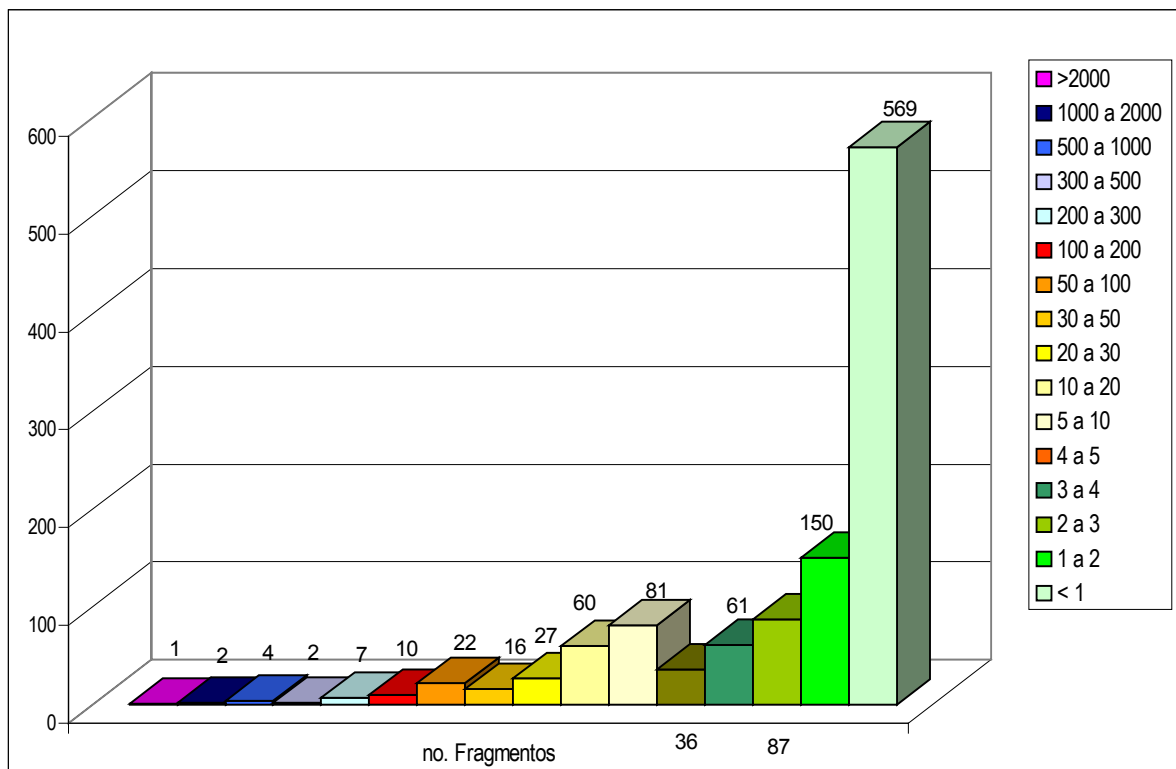


Figura 34. Número de fragmentos agrupados por clases de área (ha).

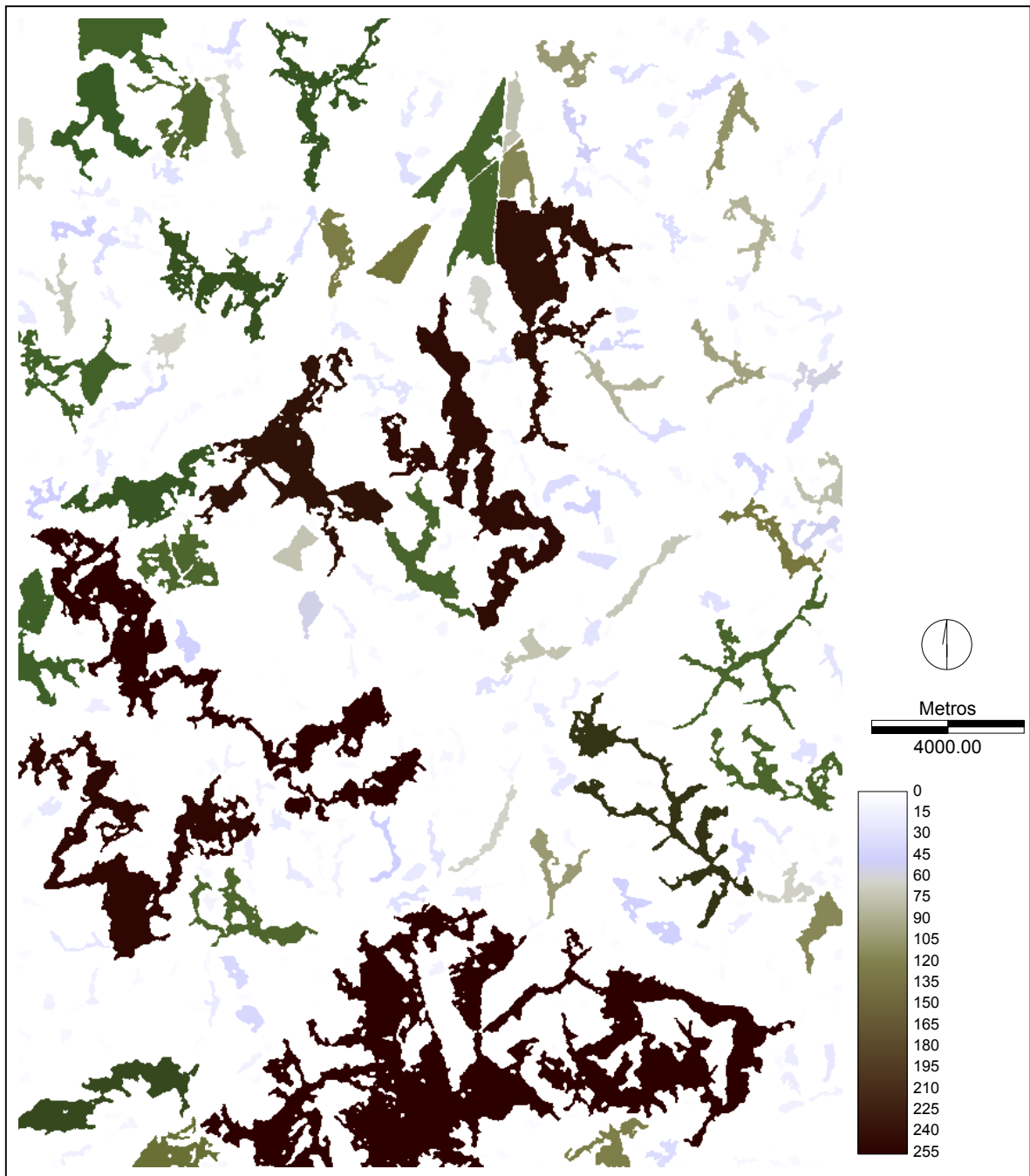


Figura 35. Espacialização do Parâmetro Ambiental Área dos Fragmentos.

7.2.2. Parâmetro Ambiental Área Nuclear dos Fragmentos

A área do fragmento não influenciada pelas bordas constitui a área nuclear (“área *core*”), a qual mantém condições semelhantes às áreas contínuas, onde é possível a permanência das espécies de interior, sensíveis à fragmentação. Quanto maior a proporção de área *core*, maior a possibilidade de conservação destas espécies (MCGARIGAL *et al.*, 2002).

Segundo TEMPLE (1986), a área nuclear é um indicativo melhor da qualidade dos fragmentos que sua área total, sendo afetado diretamente pela forma e borda dos fragmentos. Deste modo, um fragmento pode ter área suficientemente grande para suportar algumas espécies, mas não conter área nuclear suficiente para manter a integridade de sua estrutura natural (TURNER & GARDNER, 1990).

As mudanças microclimáticas que ocorrem nas bordas dos fragmentos parecem estar limitadas a uma zona entre 15 e 60 metros da borda, mas algumas alterações bióticas podem estender-se muito além deste limite (LAURENCE & BIERRGARD, 1997).

O efeito de borda foi avaliado por RODRIGUES (1998a, b) em florestas mesófilas na região de Londrina, PR, utilizando dados microclimáticos e a composição de espécies em bordas diferentes. Os resultados indicam que a umidade do ar próxima à borda é mais elevada e apresenta maior flutuação, estabilizando a 35 m da borda. A composição de espécies variou bastante entre 0 e 35 m e apresentou variação menor entre 35-100 m. A diversidade de espécies tendeu a ser elevada antes de 35 m, apresentou um pico em 35 m e foi mais baixa depois desta distância. A intensidade luminosa correlacionou-se negativamente com a densidade de arvoretas até 35 m e correlacionou-se negativamente com as árvores depois de 35 m, indicando que o controle da radiação solar que incide sobre o fragmento é exercido por arvoretas de até 35 m e, depois disso, por árvores. A convergência destes fatores indica que a borda para vários aspectos ligados à vegetação tem 35 m de largura (RODRIGUES, 1998a, b).

VALENTE (2002) considerou uma faixa de 20 m de largura para avaliação da área nuclear dos fragmentos florestais das sub-bacias pertencentes à bacia do rio Corumbataí, assumindo uma área nuclear mínima de 30 ha como aquela necessária para que um fragmento possa ser considerado como um remanescente de biodiversidade e “foco” de irradiação e colonização de áreas adjacentes.

No presente estudo adotou-se a faixa de 60 m de largura para avaliação da área nuclear dos fragmentos da região de Descalvado/Analândia. Este valor foi adotado devido à escala de trabalho e conseqüentemente devido à resolução espacial dos planos de informação (30 m), estando de acordo com LAURENCE & BIERRGARD (1997).

A partir do plano de informação representando os remanescentes de vegetação natural da área de estudo, aplicou-se a função “BUFFER” do SIG IDRISI, onde foram subtraídas as bordas dos fragmentos dentro de uma faixa de 60 m. Fragmentos com áreas menores que 1 ha foram excluídos da análise pelo fato de já se encontram bastante alterados devido ao intenso efeito de borda resultante das atividades agrícolas em seu entorno. Após a aplicação da função “BUFFER”, aplicou-se a função “AREA” para os fragmentos remanescentes resultando em uma imagem representando a área nuclear em hectares de cada fragmento.

Após a aplicação deste procedimento, os resultados indicam a ocorrência de 1.253 fragmentos com área nuclear, com uma área média de 8 ha. O fragmento de maior área nuclear corresponde a 1.515,84 ha, representando quase 15% da somatória da área nuclear de todos os fragmentos.

VALENTE (2002) assumiu uma área nuclear mínima de 30 ha como aquela necessária para que um fragmento possa ser considerado como um remanescente de biodiversidade e “foco” de irradiação e colonização de áreas adjacentes, considerando uma faixa de 20 m de largura para avaliação da área nuclear. Como no presente estudo considerou-se uma faixa de 60 m para área nuclear, adotou-se o valor de 10 ha como a “área necessária para que um fragmento possa ser considerado como um remanescente de biodiversidade”.

Os resultados (ver Tabela 10) indicam que de um total de 1.253 fragmentos, apenas 110 possuem área nuclear maior que 10 ha, com uma área total de 8.895 ha, indicando o alto grau de fragmentação dos remanescentes da área de estudo.

Tabela 10. Número de fragmentos com área nuclear agrupados por classes de área

Classes de área	Nº de Fragmentos	Área (ha)	%
> 1000	1	1.515,84	14,87
500 a 1000	1	763,37	7,49
300 a 500	5	2.161,47	21,21
100 a 300	11	1.628,53	15,98
50 a 100	18	1.335,22	13,10
40 a 50	4	169,54	1,66
30 a 40	8	259,44	2,55
20 a 30	17	428,17	4,20
10 a 20	45	633,65	6,22
< 10	1.143	1.296,13	12,72
TOTAL	1.253	10.191,36	100

Para determinação do grau de impacto ambiental do Parâmetro Área Nuclear dos Fragmentos, aplicou-se modelagem difusa, considerando-se como grau de impacto mínimo fragmentos com área nuclear de até 10 ha (GI=0) e para áreas maiores que 300 ha foram atribuídos valores de grau de impacto máximo (GI=255). Considerou-se o valor de 50 ha como a área nuclear onde o grau de impacto ambiental seria correspondente a um valor intermediário de grau de impacto. A atribuição do valor de mínimo grau de impacto para fragmentos com área nuclear menor que 10 ha justifica-se pelo fato de que tais fragmentos já se encontram bastante alterados devido ao intenso efeito de borda resultante das atividades agrícolas em seu entorno. A Figura 36 representa a função aplicada na modelagem difusa, resultando em uma imagem representando a espacialização do Parâmetro Ambiental Área dos Fragmentos (Figura 37).

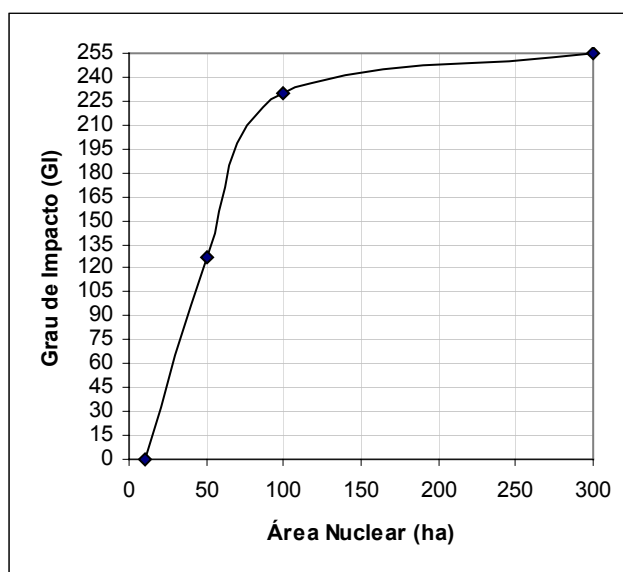


Figura 36. Gráfico representando a relação entre área nuclear do fragmento e grau de impacto ambiental.

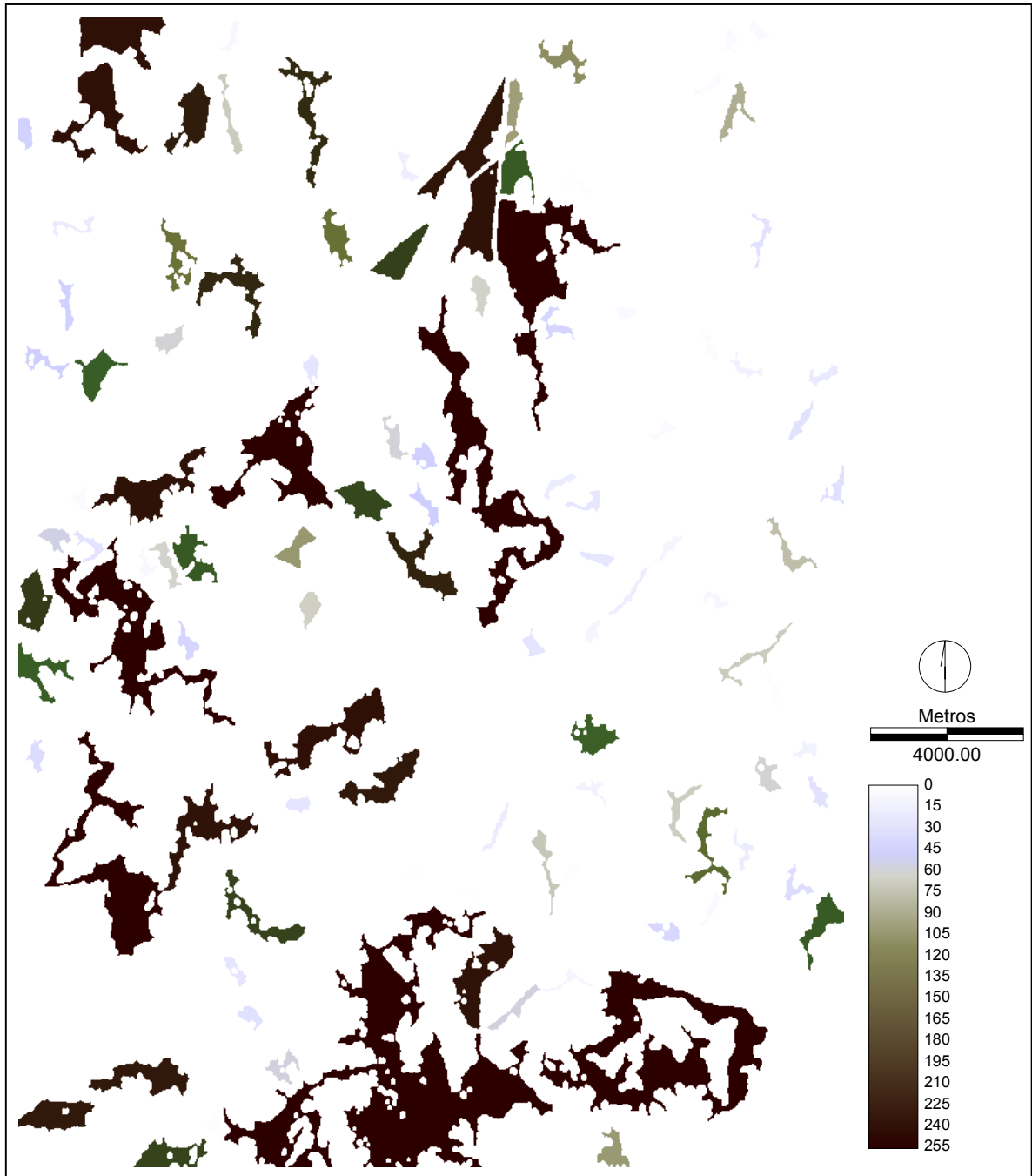


Figura 37. Espacialização do Parâmetro Ambiental Área Nuclear dos Fragmentos.

7.2.3. Parâmetro Ambiental Isolamento dos Fragmentos

O isolamento do hábitat explica pequena porção da variação na riqueza de espécies, porém, em geral, esta relação é significativa (METZGER, 1995, 1999). O isolamento atua negativamente sobre a riqueza, diminuindo a possibilidade de migração e, conseqüentemente, a recolonização da área (TURNER, 1989, 1996). Quanto mais distantes entre si estão os *habitats*, menores as taxas de migração, e maiores os riscos de extinção. O isolamento depende, além da distância, da área dos fragmentos, bem como de características do ambiente entre os fragmentos – também conhecida como matriz (METZGER, 1995, 1999). Fragmentos do mesmo tipo e maiores são mais favoráveis para a migração que os menores, influenciando o isolamento funcional (MCGARICAL *et al.*, 2002). Outros processos ecológicos fundamentais, como polinização e dispersão, também são afetados negativamente pelo isolamento dos fragmentos.

O entorno do fragmento, conhecido como matriz, determina a possibilidade de deslocamento das espécies entre os fragmentos e o estabelecimento de plantas na própria matriz. Para espécies cuja dispersão de propágulos é zoocórica, as limitações à dispersão são maiores que para aquelas dispersas pelo vento (anemocóricas), pois os animais dispersores de propágulos podem estar ausentes ou em baixo número na área, ou até mesmo não se deslocarem pela matriz. De modo geral, quanto mais próximos entre si estiverem os fragmentos, maior a probabilidade de que ocorram movimentos de propágulos entre os mesmos (MMA/SBF, 2003).

A distância entre os fragmentos e o isolamento entre estes, são responsáveis pelo grau de conectividade entre os fragmentos e o hábitat contínuo. Populações de plantas e animais em fragmentos isolados têm menores taxas de migração e dispersão e, em geral, com o tempo sofrem problemas de troca gênica e declínio populacional. Caso exista dificuldade na migração devido ao processo de fragmentação, existirá também dificuldade no fluxo gênico entre as populações da região e, conseqüentemente, extinções locais serão mais freqüentes.

Para a análise do Parâmetro Ambiental Isolamento dos Fragmentos, foi aplicado o módulo DISTANCE do SIG IDRISI sobre a imagem representando os fragmentos de vegetação natural, gerando-se uma nova imagem representando a distância entre os fragmentos. Fragmentos com áreas menores que 1 ha foram excluídos da análise pelo fato de já se encontram bastante alterados devido ao intenso efeito de borda resultante das atividades agrícolas em seu entorno.

Admitiu-se para este parâmetro que quanto menor a distância entre os fragmentos maior seria a possibilidade de fluxo gênico entre os mesmos e, conseqüentemente, maior seria o seu grau de conservação, implicando em impactos mais significativos decorrentes de uma provável supressão ou fragmentação. A distância máxima encontrada entre os fragmentos foi de 1.142 m.

Sobre a imagem representando a distância entre os fragmentos foi aplicada modelagem difusa para convertê-la em grau de impacto ambiental. Desta forma, considerou-se como grau de

impacto mínimo (0 GI) áreas onde a distância entre os fragmentos fosse maior que 500 metros. O grau de impacto máximo (255 GI) corresponde a áreas onde a distância entre os fragmentos se aproxima de zero. Considerou-se o valor de 100 m como a distância onde o grau de impacto ambiental seria correspondente a um valor intermediário de grau de impacto. A Figura 38 representa a função aplicada na modelagem difusa.

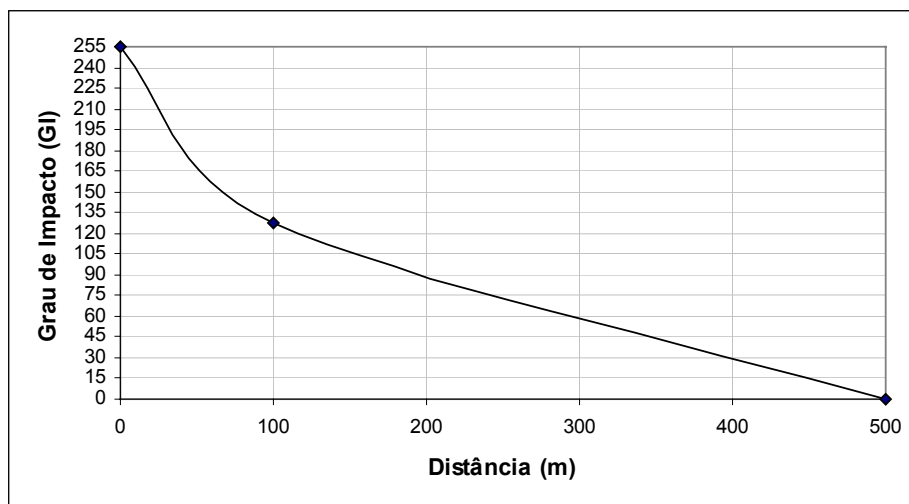


Figura 38. Função aplicada para conversão da distância entre os fragmentos em grau de impacto ambiental.

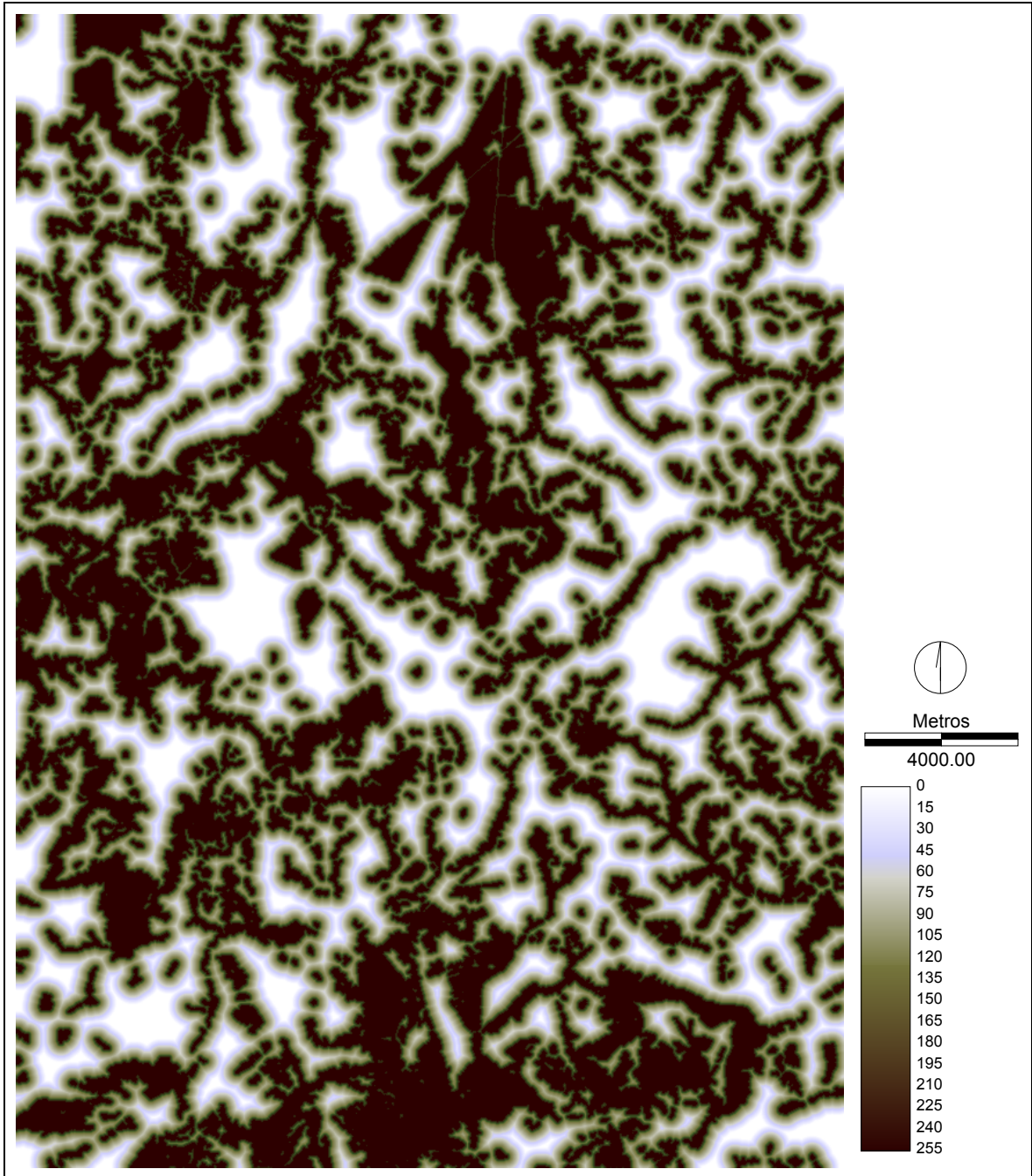


Figura 39. Espacialização do Parâmetro Ambiental Isolamento dos Fragmentos.

7.2.4. Parâmetro Ambiental Forma dos Fragmentos

Além do tamanho, a forma dos fragmentos influencia a extensão do efeito de borda – formas irregulares apresentam maior relação perímetro/área e, portanto, maior proporção de bordas e menor proporção de área nuclear (MC GARICAL *et al.* 2002) e, portanto, maior a área do fragmento sob o efeito de borda.

Segundo VIANA (1990), os efeitos da forma dos fragmentos sobre a diversidade biológica e sustentabilidade da floresta podem ser tão marcantes como os do tamanho. Curiosamente, muito pouco se sabe sobre os efeitos da forma dos fragmentos sobre a dinâmica de populações, comunidades e ecossistemas. Fragmentos de área arredondada ou circular apresentam uma baixa razão borda/interior, enquanto que fragmentos alongados apresentam uma alta razão borda/interior. A razão borda/interior é importante, pois indica a fração da área do fragmento que se encontra sob o efeito de borda.

Para avaliação do Parâmetro Ambiental Forma dos Fragmentos da área de estudo, foi aplicado o fator de forma proposto por VALENTE (2001). Este fator mede a complexidade da forma do fragmento baseada na comparação com uma forma padrão do mesmo tamanho. No caso de utilização de imagens matriciais (formato “*raster*”), esta forma padrão é um quadrado. A aplicação deste fator minimiza a dependência com o tamanho do fragmento, o que já não acontece com a razão borda/interior (perímetro/área). Este fator tende a 1 quando a forma do fragmento aproxima-se da forma regular (quadrado), e aumenta de acordo com o aumento da irregularidade da forma. O fator forma é expresso pela seguinte função:

$$\text{FORMA} = \frac{0,25 \times \text{perímetro}}{\sqrt{\text{área}}}$$

A imagem contendo os remanescentes de vegetação foi utilizada para o cálculo do perímetro de cada fragmento e, através da função PERIM do SIG IDRISI, gerou-se uma nova imagem representando cada fragmento associado ao seu perímetro. Através do módulo “*image calculator*”, foi aplicado a função de forma, resultando em uma nova imagem onde cada fragmento apresenta um valor relacionado à sua forma. A análise dos resultados revelou que, na área de estudo, estes valores variam entre 1 e 8. Quanto mais próximo de 1, menor será o efeito de borda, maior será sua qualidade ambiental e maior será o seu grau de impacto. Deste modo, considerou-se como grau de impacto mínimo (0 GI) áreas onde o índice de forma dos fragmentos fosse maior que 10. O grau de impacto máximo (255 GI) corresponde a áreas onde o índice de forma dos se aproxima de 1. A partir destes pressupostos, aplicou-se modelagem difusa através de uma função sigmoideal decrescente (ver Figura 40), resultando em uma imagem representando a espacialização do Parâmetro Ambiental Forma dos Fragmentos.

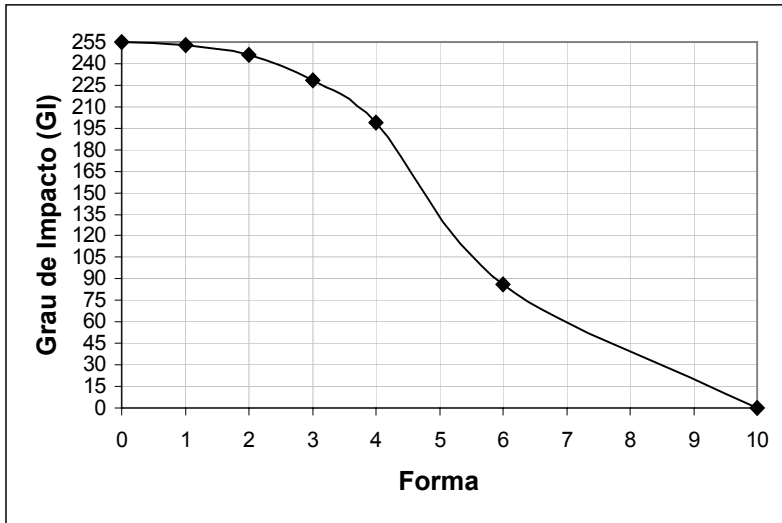


Figura 40. Representação gráfica da função aplicada relacionando o fator forma com grau de impacto

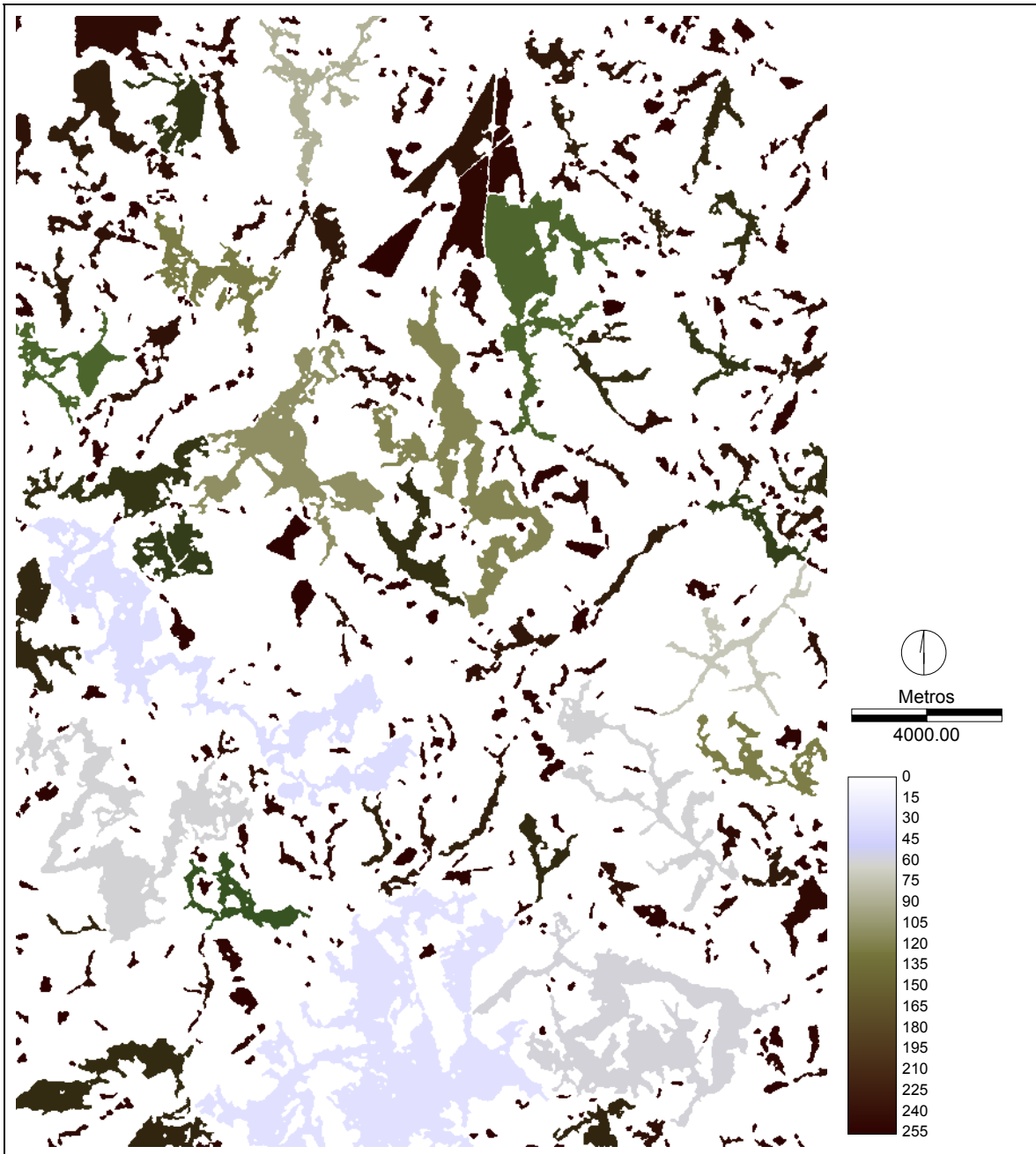


Figura 41. Espacialização do Parâmetro Ambiental Forma dos Fragmentos.

7.2.5. Grau de Impacto Ambiental relacionado à Perda de Biodiversidade

O Grau de Impacto Ambiental Relacionado à Perda de Biodiversidade foi determinado através da avaliação por critérios múltiplos (MCE – *Multi Criteria Evaluation*), aplicando-se o método de Combinação Linear Ponderada (WLC – *Weighted Linear Combination*). A atribuição de pesos aos parâmetros ambientais foi realizada através do módulo WEIGHT, que utiliza o processo analítico hierárquico (AHP – *Analytical Hierarchy Process*), onde os parâmetros são comparados de acordo com sua importância relativa (ver Tabela 11), através de uma escala de comparação pareada. Desta forma, considerou-se como parâmetro mais importante a área nuclear dos fragmentos, seguido pela área do fragmento. Para os parâmetros forma e isolamento dos fragmentos, foram atribuídos valores menores de importância.

Tabela 11. Atribuição de pesos para análise do grau de impacto relacionado à perda de biodiversidade

	Área Nuclear	Área	Forma	Isolamento
Área Nuclear	1			
Área	1/3	1		
Forma	1/5	1/3	1	
Isolamento	1/5	1/3	1	1

A comparação entre os quatro parâmetros resultou nos seguintes pesos a serem atribuídos na análise do grau de impacto relacionado à perda de biodiversidade, cujo resultado pode ser visto na Figura 42:

- Área Nuclear: 0,5278
- Área: 0,2618
- Forma: 0,1052
- Isolamento: 0,1052

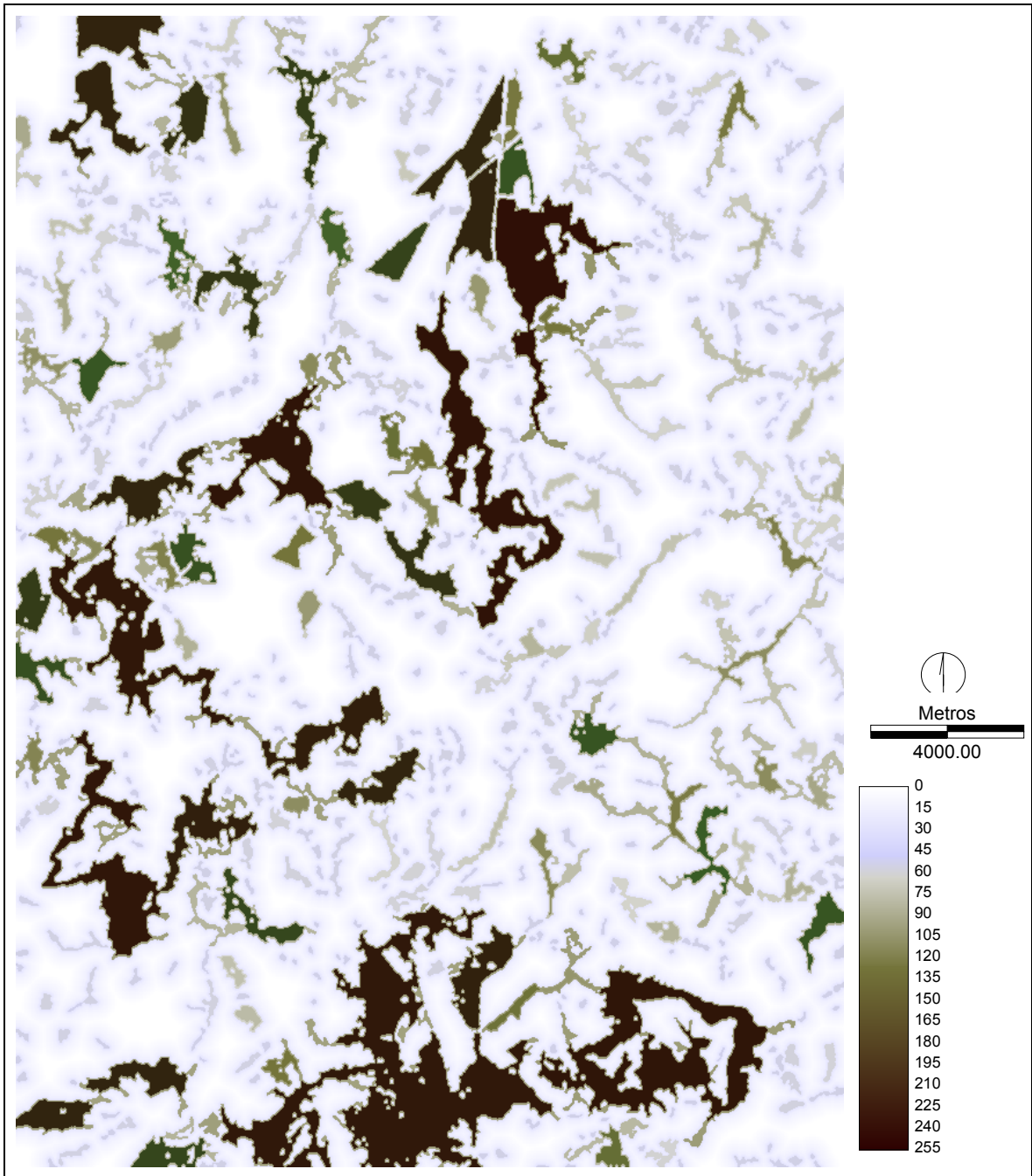


Figura 42. Espacialização do Grau de Impacto Ambiental relacionado à Perda de Biodiversidade.

7.3. INDICADOR DE GRAU DE IMPACTO AMBIENTAL RELACIONADO AOS RECURSOS HÍDRICOS

Este indicador reflete a vulnerabilidade a impactos sobre os recursos hídricos, como despejo de poluentes (acidentais ou não), carreamento de resíduos sólidos, entre outros. As informações foram obtidas a partir do mapa de documentação, onde se selecionou os rios da área de estudo, gerando-se uma imagem com todos os rios e corpos d'água.

Foi aplicado o módulo DISTANCE do SIG IDRISI, gerando-se uma nova imagem representando a distância entre os rios. A distância máxima encontrada foi de 1.725 metros. A imagem representando a distância entre os rios foi convertida em grau de impacto ambiental através de modelagem difusa, considerando-se como grau de impacto mínimo (GI=0) áreas onde a distância até o rio mais próximo fosse maior que 1.000 metros. O grau de impacto máximo (GI=255) corresponde a áreas com distâncias menores que 30 metros, por ser esta faixa considerada como Área de Preservação Permanente (APP), de acordo com o Código Florestal (Lei nº 4.771/1965) e a Resolução CONAMA nº 303/2002. A função adotada na conversão entre distância dos cursos d'água e grau de impacto ambiental está representada graficamente na Figura 43. O valor de 300 metros foi adotado como aquele como valor intermediário de grau de impacto. A conversão destes valores resultou em um plano de informação representando a espacialização do grau de impacto ambiental relacionado aos recursos hídricos (Figura 44) no formato de imagem matricial ("raster").

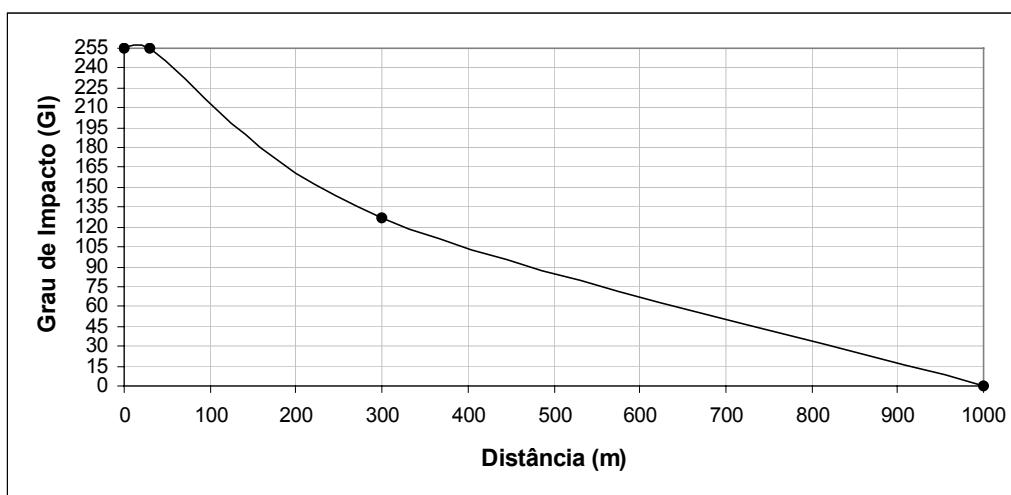


Figura 43. Função adotada na conversão entre distância dos cursos d'água e grau de impacto ambiental.

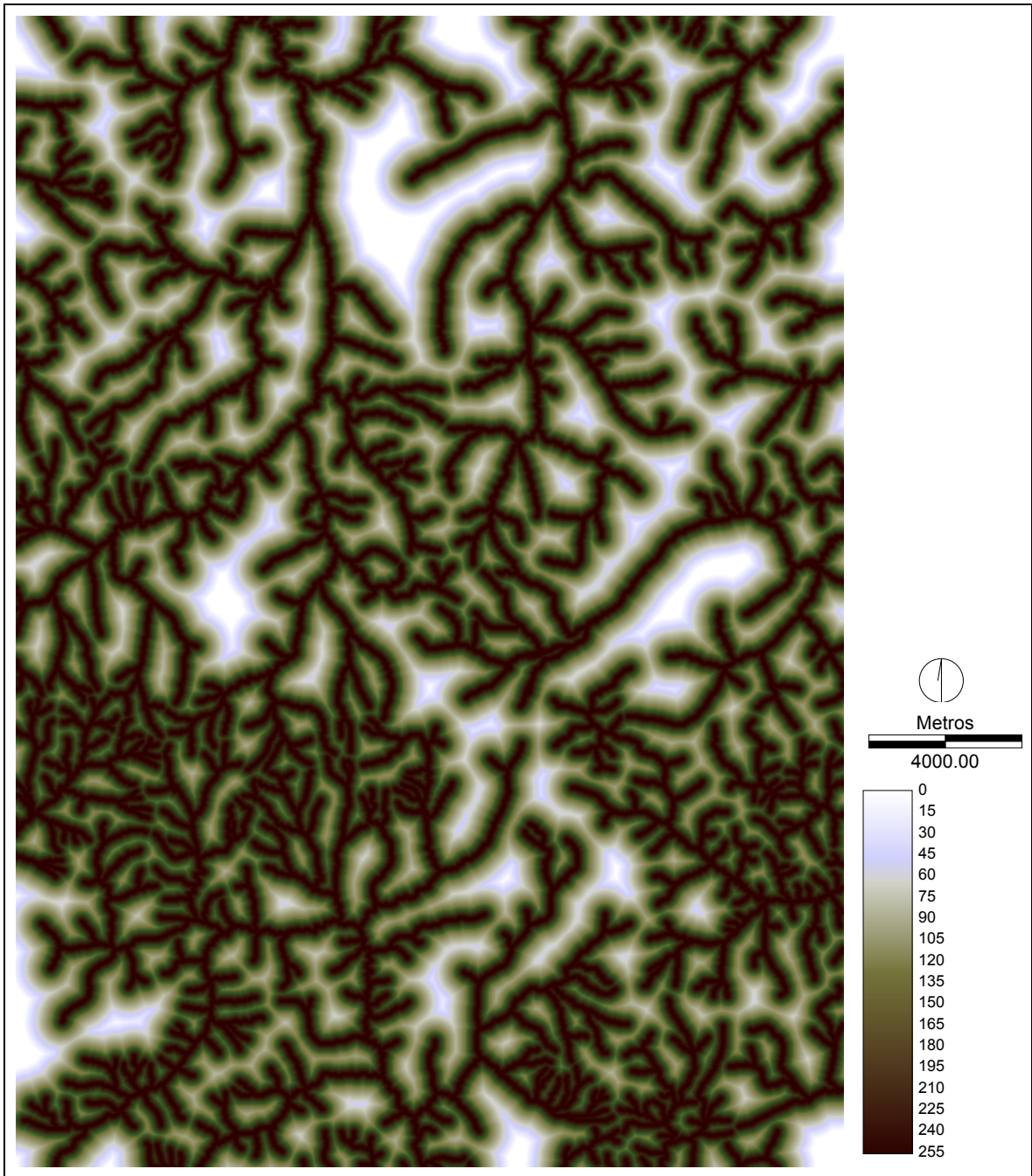


Figura 44. Espacialização do indicador de grau de impacto ambiental relacionado aos recursos hídricos.

8. ANÁLISE FINAL DO GRAU DE IMPACTO E RESPECTIVA COMPENSAÇÃO AMBIENTAL

A análise final do grau de impacto ambiental da área de estudo foi realizada a partir dos planos de informação representando os indicadores relacionados à erosão, perda de biodiversidade e impactos sobre os recursos hídricos. Aplicou-se o módulo “*image calculator*” do SIG IDRISI para produzir a Carta Final de Grau de Impacto Ambiental (ver Figura 46), representando a média dos valores dos três planos de informação dos indicadores considerados. A Figura 45 mostra a distribuição dos valores de grau de impacto ambiental na área de estudo, os quais concentram-se predominantemente entre 50 e 125 GI.

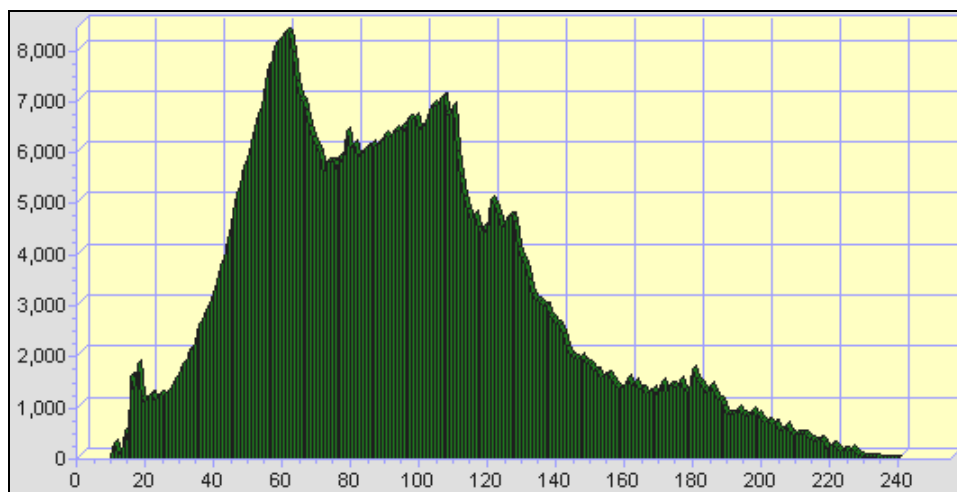
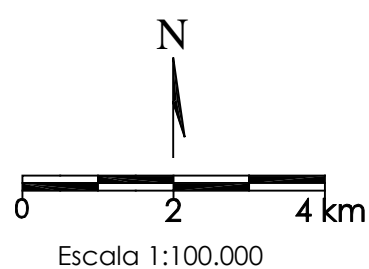
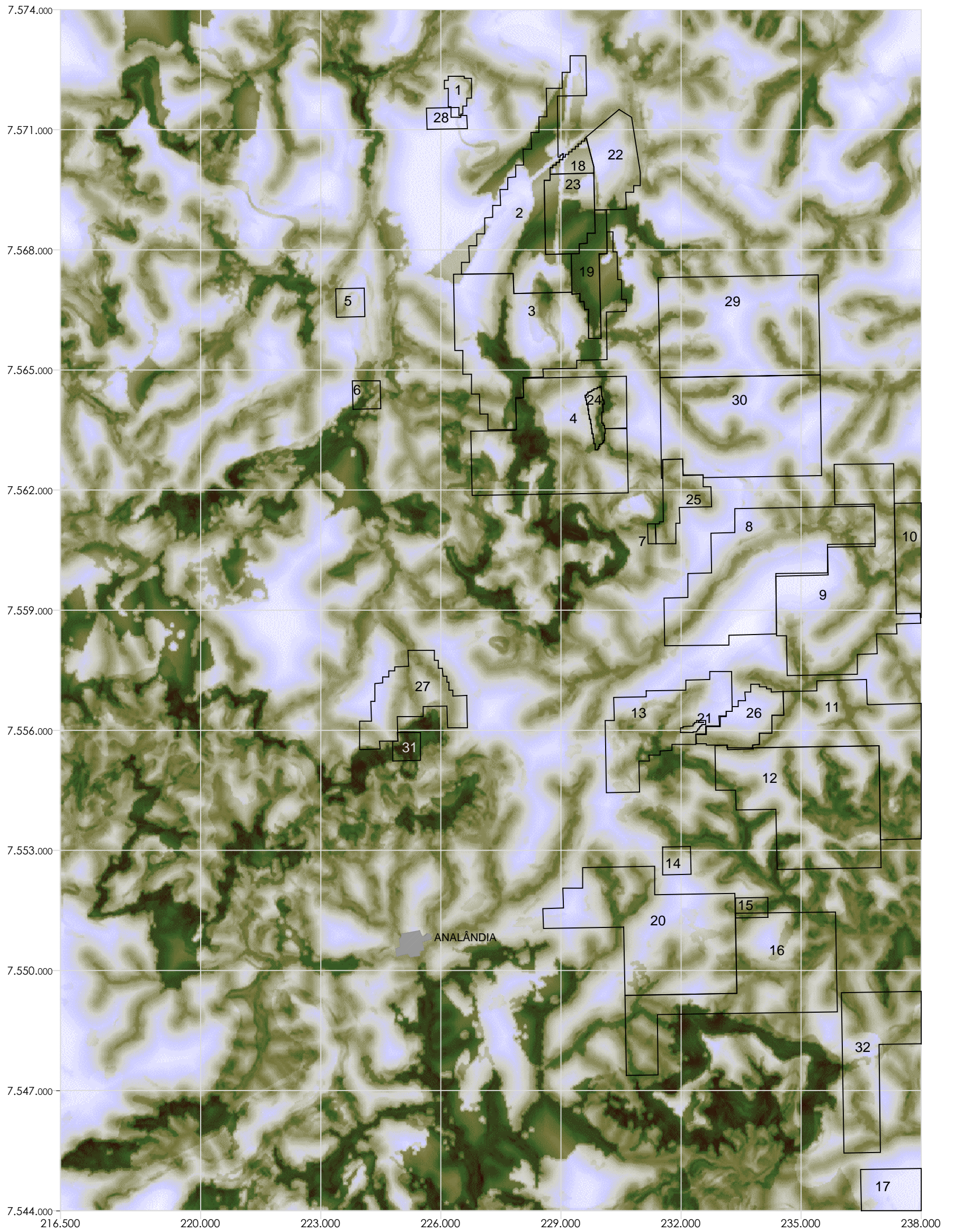


Figura 45. Histograma de distribuição dos valores de grau de impacto na área de estudo.

De modo geral, as áreas de maior grau de impacto ambiental estão concentradas nas escarpas das *cuestas* da área de estudo. Esta constatação revela o alto grau de fragilidade ambiental destas áreas, pois nelas se concentram fragmentos florestais significativos que até o presente foram poupados de serem suprimidos devido à declividade acentuada, fator que dificulta o uso destas áreas para fins agrícolas.

Conforme determina o Artigo 36 da Lei nº 9.985/2000, empreendimentos de significativo impacto ambiental devem destinar recursos para apoiar a implantação e manutenção de Unidades de Conservação. O montante de recursos a ser destinado para este fim deverá ser proporcional ao grau de impacto ambiental causado pelo empreendimento. Por outro lado, este valor está associado a um percentual dos custos totais previstos para implantação do empreendimento.



PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR

Origem da quilometragem: Equador e Meridiano 45° W. Gr. acrescidas as constantes 10000 km e 500 km, respectivamente.

Datum vertical: marégrafo Imbituba, SC
Datum horizontal: Córrego Alegre, MG

Universidade Federal de São Carlos
Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais
Grupo de Geologia de Planejamento do Meio Físico - CNPq/DECiv

"Proposta Metodológica para Subsidiar a Determinação do Grau de Impacto Ambiental em Empreendimentos Minerários na Região de Descalvado e Analândia"

Fabio Enrique Torezan
Reinaldo Lorandi (orientador)

CARTA FINAL DE GRAU DE IMPACTO AMBIENTAL

Processos de licenciamento mineralário

Após a determinação do grau de impacto ambiental, deve-se convertê-lo em valores percentuais relacionados ao custo do empreendimento. Para realizar esta conversão, a presente proposta metodológica adotou uma escala de compensação de acordo com o que vem sendo praticado atualmente pelo órgão ambiental licenciador federal, ou seja, o mínimo de 0,50% e o máximo de 5,00%. Por se tratar de uma metodologia dinâmica, tais valores poderão ser adaptados de acordo com a realidade local, desde que atendendo ao disposto nos instrumentos legais vigentes.

Na conversão entre grau de impacto e valor de compensação proposta, o valor mínimo de grau de impacto ambiental (0 GI) corresponde a 0% de compensação. Desta forma, é possível que o grau de impacto ambiental de determinado empreendimento resulte em valores inferiores a 0,5% de compensação ambiental. Neste caso, pode-se concluir que este empreendimento não seria de significativo impacto ambiental, o que dispensaria o pagamento da compensação.

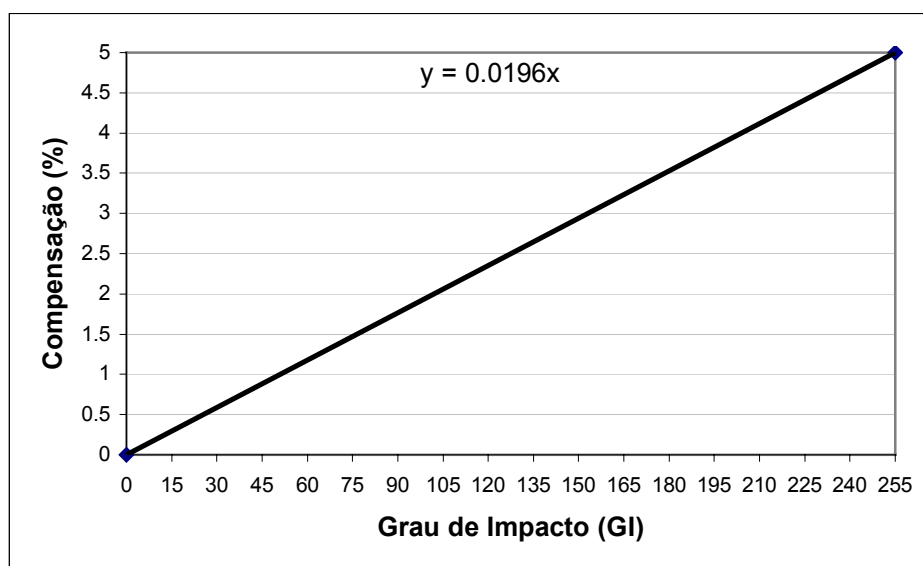


Figura 47. Conversão entre Grau de Impacto Ambiental e percentual de compensação.

Como exemplo prático, foi calculado o valor de compensação ambiental para os diversos polígonos com processo de licenciamento no DNPM. Através da sobreposição destes polígonos ao Mapa Final de Grau de Impacto Ambiental, foi possível calcular o valor médio de grau de impacto para cada processo, aplicando-se o módulo ANALYSIS/ STATISTICS/ EXTRACT, disponível no SIG IDRISI. Deve-se ressaltar que para a realização deste procedimento, foram excluídas as áreas onde atualmente ocorre mineração e que eventualmente estejam sobrepostas a processos em licenciamento, como foi o caso das áreas abrangidas pelos processos 22, 23 e 24.

Os resultados (ver Tabela 12) indicam que os processos de licenciamento mineral da área de estudo apresentam valores de compensação entre 0,64 e 3,55%, com valor médio de 1,80%.

Tabela 12. Valores de Grau de Impacto e Compensação Ambiental dos Processos de Licenciamento Minerário

Fase do Processo	Polígono	Mineral	Grau de Impacto (GI)	Compensação (%)
Autorização de Pesquisa	1	Basalto	64.23	1.26
	2	Areia de fundição	84.38	1.65
	3	Areia de fundição	91.89	1.80
	4	Areia de fundição	107.13	2.10
	5	Cascalho	70.52	1.38
	6	Água Mineral	118.90	2.33
	7	Areia de fundição	118.55	2.32
	8	Areia de fundição	67.29	1.32
	9	Areia Industrial	79.40	1.56
	10	Areia Industrial	104.12	2.04
	11	Argila	95.28	1.87
	12	Argila	102.32	2.01
	13	Areia de fundição	81.76	1.60
	14	Água Mineral	78.62	1.54
	15	Água Mineral	117.04	2.29
	16	Areia de fundição	103.29	2.02
	17	Areia de fundição	32.66	0.64
Requerimento de Lavra	18	Areia para vidro	80.50	1.58
	19	Areia para vidro	156.09	3.06
	20	Areia de fundição	78.90	1.55
Licenciamento	21	Areia	81.30	1.59
Concessão de Lavra	22	Areia de fundição	84.22	1.65
	23	Areia para vidro	126.78	2.48
	24	Areia para vidro	118.96	2.33
	25	Areia de fundição	98.61	1.93
	26	Areia de fundição	66.38	1.30
	27	Areia para vidro	84.02	1.65
Requerimento de Pesquisa	28	Basalto para brita	35.85	0.70
	29	Areia de fundição	70.63	1.38
	30	Areia de fundição	67.44	1.32
	31	Água Mineral	180.92	3.55
	32	Argila	93.38	1.83

9. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Segundo o Artigo 36 da Lei nº 9.985/2000, cabe ao órgão ambiental licenciador definir o montante de recursos a ser destinado pelo empreendedor como forma de apoiar a implantação e manutenção de Unidades de Conservação, aplicável a empreendimentos de significativo impacto ambiental. Entretanto, vale ressaltar a afirmação de Machado (2001) de que “*aplicando-se os princípios fundamentais de legalidade, impessoalidade, moralidade, publicidade e eficiência, a que está sujeita a Administração Pública direta, indireta ou fundacional (Art. 37, caput, da Constituição Federal), não é possível ao órgão licenciador agir arbitrariamente. Para dispensar o dever de compensar os danos causados pela destruição de florestas ou outros ecossistemas, é preciso fundamentar exaustivamente. Na dúvida, com precaução, deve-se optar pela obrigação de compensar*”.

Da mesma forma, a exigência de destinação de valores de compensação superiores ao mínimo previsto na Lei (0,5% do custo total para implantação do empreendimento) deve ser tecnicamente fundamentada, visando proporcionar segurança jurídica ao processo de licenciamento ambiental, evitando ao máximo as discricionariedades no âmbito administrativo. Assim, a presente proposta metodológica representa uma importante contribuição para se tornar mais objetiva e transparente a definição de critérios para determinação do grau de impacto e respectiva compensação ambiental.

A presente metodologia pode ser aplicada também com outras finalidades, como instrumento de planejamento ambiental na avaliação de áreas prioritárias para conservação e também na análise de alternativas locais de empreendimentos sujeitos a licenciamento.

A Resolução CONAMA nº 001, de 23 de janeiro de 1986, estabeleceu que o estudo de impacto ambiental deverá contemplar todas as alternativas tecnológicas e de localização de projeto, confrontando-as com a hipótese de não execução do projeto. A escolha de determinada alternativa locacional deve ser justificada por seus aspectos ambientais, selecionando-se aquela que cause menos impacto. Entretanto, a análise de muitos estudos de impacto ambiental tem revelado a escolha de alternativas mais favoráveis do ponto de vista econômico, em detrimento dos aspectos ambientais.

A aplicação de uma metodologia de análise de grau de impacto ambiental como esta, representa uma forma de se compatibilizar os aspectos econômicos com os ambientais, já que a opção por uma alternativa de menor grau de impacto implicará em redução dos valores a serem destinados como forma de compensação.

A aplicação da metodologia reduz significativamente o grau de subjetividade geralmente associado à grande parte das metodologias de avaliação de impactos. Entretanto, esta redução não é

total, pois algum grau de subjetividade poderá ocorrer na atribuição dos valores de grau de impacto mínimo e máximo associados aos diversos parâmetros e indicadores de grau de impacto.

O avanço do conhecimento científico sobre as características ambientais da área a ser avaliada, bem como dos conhecimentos sobre a interação entre componentes ambientais e os impactos resultantes de diversas atividades e empreendimentos, possibilitarão uma maior redução do grau de subjetividade na determinação destes indicadores.

A metodologia proposta permite ser adaptada a diversos tipos de empreendimentos, agregando-se novos indicadores de grau de impacto de acordo com a disponibilidade de informação e realidade local. Também é possível de ser agregada a outras metodologias, como a atualmente adotada pelo órgão licenciador ambiental federal.

O uso de ferramentas de geoprocessamento, como o SIG IDRISI, revelou-se de fundamental importância, conferindo agilidade, rapidez e precisão na compilação, armazenamento, análise e apresentação da informação ambiental.

O diagnóstico ambiental da área de estudo revelou que as *cuestas* arenito-basálticas, representadas pela Serra do Cuscuzeiro, Serra do Atalaia e Serrote de Descalvado, apresentam grande fragilidade ambiental devido ao seu alto potencial de desencadeamento de processos erosivos e também por abrigarem os fragmentos remanescentes de vegetação natural mais significativos em termos de biodiversidade. Além disso, a extrema beleza cênica da região torna-a importante como patrimônio cultural, oferecendo oportunidades para atividades de turismo, esportes de aventura e educação ambiental. Outro fator que confere elevada importância ambiental à área de estudo é o elevado número de nascentes presentes nas *cuestas*.

Por todos estes motivos, recomenda-se a criação de uma Unidade de Conservação do Grupo de Proteção Integral, com o objetivo básico de preservar a natureza, onde seria admitido apenas o uso indireto dos seus recursos naturais.

Uma das categorias de Unidades de Conservação do Grupo de Proteção Integral que seria bastante adequada para a área é o “Monumento Natural”, o qual tem como objetivo básico preservar sítios naturais raros, singulares ou de grande beleza cênica. O Monumento Natural pode ser constituído por áreas particulares, desde que seja possível compatibilizar os objetivos da unidade com a utilização da terra e dos recursos naturais do local pelos proprietários (Artigo 12, Lei nº 9.985/2000).

A definição dos limites deste Monumento Natural deve ser realizada a partir de estudos específicos, sempre com a participação da comunidade local. Os resultados da presente tese poderão ser de grande utilidade para a definição destes limites. Recomenda-se que a delimitação

desta unidade abranja pelo menos três áreas-núcleo, representadas pela Serra do Cuscuzeiro, Serra do Atalaia e Serrote do Descalvado, selecionando-se áreas de declividade acentuada e abrangendo os fragmentos de vegetação mais significativos.

A implantação desta Unidade de Conservação pode servir como um importante mecanismo de conservação e planejamento ambiental não só das terras inseridas em seu limites mas também das suas áreas de entorno. A Resolução CONAMA nº 013, de 06 de dezembro de 1990, determinou que nas áreas circundantes das Unidades de Conservação, num raio de dez quilômetros, qualquer atividade que possa afetar a biota, deverá ser obrigatoriamente licenciada pelo órgão ambiental competente, e o licenciamento só será concedido mediante autorização do responsável pela administração da Unidade de Conservação. Do mesmo modo, o §3º do Artigo 36 da Lei nº 9.985/2000 determinou que quando um empreendimento afetar unidade de conservação específica ou sua zona de amortecimento, o licenciamento de empreendimentos de significativo impacto ambiental só poderá ser concedido mediante autorização do órgão responsável por sua administração, e a unidade afetada deverá ser uma das beneficiárias da compensação ambiental.

Como conclusão final, deve-se ressaltar que o mecanismo de compensação ambiental nunca poderá ser utilizado como justificativa para aprovação de todo e qualquer empreendimento, mas a análise do grau de impacto ambiental poderá fornecer subsídios para identificar áreas que deveriam ser destinadas prioritariamente à conservação (caso de áreas com alto grau de impacto ambiental), bem como identificar áreas que estariam sujeitas a impactos ambientais menos significativos (caso de áreas com baixo grau de impacto ambiental).

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADENIYI, P.O. Digital analysis of multitemporal Landsat data for land-use/landcover classification in semi-arid area of Nigeri. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v.51, n.11, p.1761-1774, 1985.

ALMEIDA-SCABBIA, R.J. *Análise da relação vegetação-solo em três cotas altitudinais na floresta estacional semidecidual ocorrente em cuesta basáltica* (“Parque Rawitscher”, Fazenda Pedra Vermelha, município de Analândia, SP). 2001. 172 p. Tese (Doutorado). Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

ANTUNES P, SANTOS R, JORDÃO, L, GONCALVES P, VIDEIRA N. A GIS-based decision support system for Environmental Impact Assessment. *Proceedings IAIA'96 Conference*, p. 451– 6. Estoril, Portugal, 1996.

ANTUNES, P.; SANTOS, R.; & JORDÃO, L. The application of Geographical Information Systems to determine environmental impact significance. *Environmental Impact Assessment Review*. 21: 511-535. 2001.

ATKINSON, S.F.; SCHOOLMASTER, F.A.; LYONS, D.I. & COFFEY, J.M. A Geographic Information Systems Approach to Sanitary Landfill Siting Procedures: a Case Study. *The Environmental Professional*. V.17, n. 1. p. 20-26. 1995.

BISSET, R. A Critical Survey of Methods for Environmental Impact Assessment. Em: *An Annotated Reader in Environmental Planning and Management*. p. 168-186. O’Riordan, T & Turner, R.K. Editores. Pergamon Press, Oxford. England. 1983.

BISSET, R. Methods for Environmental Impact Analysis: Recent Trends and Future Prospects. *Journal of Environmental Management*. V.11, p.27-43. 1980.

BOJÓRQUEZ-TAPIA, L.A., JUÁREZ, L. & CRUZ-BELLO, G. Integrating fuzzy logic, optimization, and GIS for Ecological Impact Assessments. *Environmental Management*. Vol. 30, nº 3, p.418-433. 2002.

BRASIL-IBGE. *Descalvado*. Carta do Brasil – Escala 1:50000. Folha SF-23-V-C-IV-4. 1ª edição. Fundação IBGE. Departamento de Cartografia. 1971a.

BRASIL-IBGE. *Corumbataí*. Carta do Brasil – Escala 1:50000. Folha SF-23-Y-A-I-2. 1ª edição. Fundação IBGE. Departamento de Cartografia. 1971b.

BUENO, C.R.P.; STEIN, D.P. & GARCIA, G.J. Distribuição espacial do potencial natural de erosão na alta e média bacia do rio Jacaré-Pepira, SP. Em: PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA. *Ciências Biológicas e do Ambiente*. Vol. 2. n.2, p.139-153, maio-agosto. 2001.

CÂMARA, G. & MEDEIROS, J.S. *Geoprocessamento para Projetos Ambientais*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). 134p. São José dos Campos. SP. 1996.

CAMARGO, M.N.; KLANT, E. & KAUFFMAN, J.H. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. *Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*. v.12, n.1, p.11-33, Campinas, SP. 1987.

- CAMPBELL, J.B. *Introduction to remote sensing*. New York: The Guilford, 551p. 1987.
- CANTER, L.W., CHOWDHURY, A.K. & VIEUX, B.E., "Geographic Information Systems: A Tool for Strategic Ground Water Quality Management", *Journal of Environmental Planning and Management*, Vol. 37, no. 3, p.251-266. 1994.
- CANTER, L. & SAEDLER, B. *A tool kit for effective EIA practice*. review of methods and perspectives on their application. A supplementary report of the international study of the effectiveness of environmental assessment. Environmental and Ground Water Institute. University of Oklahoma, USA. Institute of Environmental Assessment, UK. 1997.
- CARVALHO, F.V. DE. Compensação ambiental: considerações sobre a experiência de Minas Gerais na Implementação da Lei do SNUC. Em: *8º Congresso Internacional de Direito Ambiental: Fauna, políticas públicas e instrumentos legais*. São Paulo: Instituto O Direito por um Planeta Verde, 952p. 2004.
- CORRECHEL, V. *Avaliação de índices de erodibilidade do solo através da técnica da análise da redistribuição do "fallout" do 137Cs*. Tese (doutorado). 79p. Centro de Energia Nuclear na Agricultura. Universidade de São Paulo. 2003.
- COWELL, R. Stretching the limits: environmental compensation, habitat creation and sustainable development. *Transactions of the Institute of British Geographers*. Royal Geographical Society. Vol. 22. p. 292-306. 1997.
- COWELL, R. Substitution and scalar politics: negotiating environmental compensation in Cardiff Bay. *Geoforum* 34: 343-358. 2003.
- CUPERUS, R.; BAKERMANS, M.M.G.J.; DE HAES, H.A.U. & CANTERS, K.J. Ecological compensation in Dutch Highway Planning. *Environmental Management*. Vol. 27, no. 1, p. 75-89. 2001.
- CUPERUS, R.; CANTERS, K.J. & PIEPERS, A.A.G. Ecological compensation of the impacts of a road; preliminary method for the A50 road link (Eindhoven-Oss, the Netherlands). *Ecological Engineering*. 9:327-349. 1996.
- CUPERUS, R.; KALSBECK, M.; DE HAES, H.A.U. & CANTERS, K.J. Preparation and Implementation of Seven Ecological Compensation Plans for Dutch Highways. *Environmental Management*. Vol.29, no. 6, p. 736-749. 2001.
- DAVIDSON, D.A. *The evaluation of land resources*. London: Longman Scientific and Technical, 1992.
- DE BIASI, M. Cartas de Declividade: confecção e utilização. *Geomorfologia*, V.21, p. 8-13. 1970.
- DIAS, E.G.C DA S. *Avaliação de impacto ambiental de projetos de mineração no Estado de São Paulo*. a etapa de acompanhamento. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas. Tese (Doutorado). 283p. 2001.
- DOURADO, J.C.; MALAGUTTI FILHO, W; BRAGA, A.C.O. & NAVA, N. 2001. Detecção de cavidades em arenitos utilizando gravimetria, eletrorresistividade e GPR. *Brazilian Journal of Geophysics*, Vol. 19(1), p.19-32, 2001.
- DVORAK, J. & NOVÁK, L. Erosion factors. Em: DVORÁK, J & NOVÁK, L. (Ed.) *Soil conservation and silviculture*. Amsterdam: Elsevier Science, cap.3, p.39-80. 1994.
- EADE, J. & MORAN, D. Spatial economic valuation: benefits transfer using Geographical Information Systems. *Journal of Environmental Management*. 48: 97– 110. 1996.

- EASTMAN, J.R. Idrisi for Windows. *Tutorial Exercises*. Version 2.0. Clark Labs for Cartographic Technology and Geographic Analysis. Clark University. 1997.
- ECONOMIC AND SOCIAL COMMISSION FOR ASIA AND THE PACIFIC. *Environmental Impact Assessment: Guidelines for Water Resources Development*. ST/ESCAP/786. United Nations, New York. P.19-48. 1990.
- EEDY, W. The use of GIS in environmental assessment. *Impact Assessment* 13:199– 206. 1995.
- EMBRAPA/CNPM. *Banco de Dados Climáticos do Brasil*. <http://www.bdclima.cnpm.embrapa.br>
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Rio de Janeiro, 412p. 1999.
- FAPESP/Biota, 2000. *O Estado de São Paulo*. <http://www.biotasp.org.br/info/saopaulo/#ugrh>
- FARIA, C.E.G. *A Mineração e o Meio Ambiente no Brasil*. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. CTMineral – Secretaria Técnica do Fundo Setorial Mineral. 39p. 2002.
- FEDRA, K. GIS and environmental modelling. In: GOODCHILD, M.F.; PARKS B.O. & STEYAERT, L.T., editors. *Environmental modeling with GIS*. Oxford: Oxford Univ. Press, p. 35– 50. 1993.
- FERES, R. *Análise de processos de erosão acelerada, com base em fotografias aéreas e geoprocessamento*. Bacia do Rio Bonito (Descalvado, SP). Tese (Doutorado). Universidade Federal de São Carlos. São Carlos: UFSCar, 142p. 2002.
- FERREIRA, AURÉLIO BUARQUE DE HOLANDA. *Novo Aurélio Século XXI*: o dicionário da língua portuguesa. Rio de Janeiro: Nova fronteira, 3ed. (p. 512). 1999.
- FERREIRA, G.C. & DAITX, E.C. Áreas produtoras de areia industrial no Estado de São Paulo. *Revista Escola de Minas*, Ouro Preto, 50(4): 54-60. 1997.
- FERREIRA, G.C. *Estudo dos mercados produtor e consumidor de areia industrial no Estado de São Paulo*. Tese Doutorado. Rio Claro: UNESP – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 142p. 1995.
- FERREIRA, L. *Avaliação indireta da erodibilidade em solos com altos teores de ferro e aspectos relacionados à mineralogia e micromorfologia*. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Lavras. Lavras, 82p. 1992.
- FERRI, M.G. *Vegetação Brasileira*. EDUSP, 157p. 1980.
- FUJIHARA, A.K. *Predição de erosão e capacidade de uso do solo numa microbacia do oeste paulista com suporte de geoprocessamento*. Dissertação (mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo. 2002.
- GELUDA, L. & YOUNG, C.E.F. Financiando o éden: potencial econômico e limitações da compensação ambiental prevista na lei do sistema nacional de unidades de conservação da natureza. Em: *IV Congresso Brasileiro de Unidades de Conservação*. Anais. Vol. I. p.641-651. 2004.
- GUERRA, A.J.T. & CUNHA, S.B. *Geomorfologia*: uma atualização de bases e conceitos. 2a. ed. 472p. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995.
- GUERRA, S.M.S. *Cartografia Geológico-Geotécnica de Áreas Costeiras*. o exemplo de Suape – PE. UNESP. Universidade Estadual Paulista. Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Campus de Rio Claro – SP. 187p. 1998.

HAGAN, J.E; EASTMAN, J.R. & AUBLE, J. **CartaLinx**. The Spatial Data Builder. User's Guide. Version 1.0. Clark Labs. Clark University. 201p. 1998.

HILL, J.L. & CURRAN, P.J. Species composition in fragmented forests: conservation implications of changing forest area. **Applied Geography**, 21:157-174. 2001.

IBAMA. **Roteiro Metodológico para Análise do Grau de Impacto Ambiental**. (no prelo), 2004.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**, São Paulo. 1981.

JENSEN, J. & GAULT, G. Electrifying the Impact Assessment Process. **The Environmental Professional**. V.14, p.50-59. 1992.

JOÃO, E & FONSECA, A. The role of GIS in improving environmental assessment effectiveness: theory vs. practice. **Impact Assessment**. 14: 371– 87. 1996

JOHNSTON, C.A.; DETENBECK, N.E.; BONDE, J.P. & NIEMI, G.J. Geographic Information Systems for Cumulative Impact Assessment. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. V. 54, n. 11, Novembro, p. 1609-1615. 1988.

JOLY, A.B. **Conheça a vegetação brasileira**. São Paulo: USP/Polígono, 165p. 1970.

KOFFLER, N.F. Uso das terras da bacia do rio Corumbataí em 1990. **Geografia**, v.1, n.18, p.135-150, Abril 1993.

Kohn, D.D. & Walsh, D.M. Plant species richness – the effect of island size and the habitat diversity. **Journal of Ecology**. 82: 367-377. 1994.

KOTCHETKOFF-HENRIQUES, O. **Caracterização da vegetação natural em Ribeirão Preto, SP**. bases para conservação. 221p. il. Tese (Doutorado). Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto. Universidade de São Paulo. 2003.

KOTHKOFF-HENRIQUES, O. **Composição florística e estrutura de uma mata mesófila semidecíduas na cabeceira do rio Cachoeira, Serra de Itaqueri, Itirapina (SP)**. 132p. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 1989.

KUTSCHINK, G. **Aplicação da EUPS na microbacia do ribeirão das Araras através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos. Dissertação (mestrado). 97p. 1996.

LANDSAT 7. **Science data users handbook**.
http://ltpwww.gsfc.nasa.gov/IAS/handbook/handbook_toc.html

LAURENCE, W.F. & BIERRGARD, R.O. **Tropical forest remnants**. ecology, management and conservation of fragmented communities. University of Chicago Press, Chicago. 1997.

LEE, N. Environmental Impact Assessment: a Review. **Applied Geography**. V.3, p.5-27. 1983.

LEITÃO FILHO, H.F. Aspectos taxonômicos das florestas do Estado de São Paulo. **Silvicultura em São Paulo**. v.16, p.197-206, 1982.

LEITE, S. DE S. **Análise ambiental da área do Morro do Cuscuzeiro (Analândia, SP) como subsídio ao planejamento do ambiente local**. São Carlos: UFSCar, 161p. Dissertação (Mestrado). 2003.

- LILLESAND, T.M & KIEFER, R.W. *Remote sensing and image interpretation*. 2a. ed. Chichester: John Wiley, 1994. 750p.
- LOCZY, L. & LADEIRA, E.A. *Geologia estrutural e introdução à geotectônica*. ed. Edgar Blucher/CNDT, rio de Janeiro. 1976.
- LOMBARDI NETO, F. & BERTONI, J. *Erodibilidade de solos paulistas*. Campinas: Instituto Agrônomo, 12p. (Boletim Técnico, 27). 1975.
- LOMBARDI NETO, F. & BERTONI, J. *Tolerancia de perdas de terra para solos do Estado de São Paulo*. Campinas, Instituto Agrônomo, 12p. (Boletim Técnico, 28). 1975.
- LOMBARDI NETO, F.; BELINAZZI JÚNIOR, R.; LEPSCH, I.F.; OLIVEIRA, J.B.; BERTOLINI, D.; GALETI, P.A. & DRUGOWICH, M.I. *Terraceamento Agrícola*. Campinas, Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, 38p. 1991.
- MA, M.; TARMÍ, S. & HELENIUS, J. Revisiting the species-area relationship in a semi-natural habitat: floral richness in agricultural buffer zones in Finland. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 89: 137-148. 2002.
- MACHADO, P. A. L. *Direito Ambiental Brasileiro*. Malheiros Editores Ltda. São Paulo. SP. 1030 pg. 2001.
- MACHADO, P.A.L. *Direito Ambiental Brasileiro*. 4ª. Ed. 606p. Malheiros Editores Ltda. 1992.
- MANTOVANI, W. dinâmica de Populações. Em: *Simpósio sobre mata ciliar*. Campinas, Anais. Campinas: Fundação Cargill, 1989. p.120-129. 1989.
- MARTINHO S, SANTOS R, ANTUNES P, JORDÃO L. Using natural assets attributes to produce economic value maps. Paper presented at the *Fifth Biennial Meeting of the International Society for Ecological Economics*, Santiago, Chile, 1998.
- MASSOLI, M. *Geologia do município de Santa Rita do Passa Quatro*. Revista do Instituto Geológico, São Paulo, 2(2):79-89, jun-dez. 1981.
- MC GARICAL, K.; CUSHMAN, S.A., NEEL, M.C. & ENE, E. *Fragstats*: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst.
[Http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html](http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html). 2002.
- MENDES, J.C.T. *Caracterização fitogeográfica como subsídio para a recuperação e a conservação da vegetação na bacia do rio Corumbataí (SP)*. Dissertação (mestrado). 121p. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2004.
- METZGER, J.P. Relationships between landscape structure and tree species diversity in tropical forests of South-East Brazil. *Landscape and Urban Planning*, 37: 29-35. 1997.
- METZGER, J.P. Estrutura da paisagem e fragmentação: análise bibliográfica. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 71(3-1):445-463. 1999.
- MIDDLETON, H.E. *Properties of soils which influence soil erosion*. Whashington, DC: USDA, 16 p. Technical Bulletin. 1930.
- Ministério do Meio Ambiente/Secretaria de Biodiversidade e Florestas. *Fragmentação de Ecossistemas*: Causas, efeitos sobre a biodiversidade e recomendações de políticas públicas/ Denise Marçal Rambaldi, Daniela América Suárez de Oliveira (orgs.). Brasília: MMA/SBF, 510p. 2003.

MORAES, A.T.C. *Biótopos na Área de Proteção Ambiental das Cuestas de São Pedro e Analândia*. Dissertação de mestrado. UNESP/IGCE. Rio Claro. SP. 180 p. 1985.

MORAES, M.E.B & LORANDI, R. Análise da efetividade da legislação ambiental brasileira no processo de ocupação de bacias hidrográficas. O caso da Bacia do Rio Bonito (SP). **Revista de Direito Ambiental**, São Paulo: Editora Revistas dos Tribunais, 9 (36)-(out-dez): 151-167. ISSN 1413-1439. 2004.

MURCIA, C. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. *Trends in Ecology and Evolution*, 10(2): 58-62. 1995.

NARDY, R.M. DE C. *Caracterização Ambiental de Áreas Cênicas como Subsídio para o Desenvolvimento e Planejamento das Atividades Turísticas*: o Caso do Município de Analândia, SP. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais. UFSCar. São Carlos. SP. 102 p. + Anexos. 1999.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. *Restoration of aquatic ecosystems*, science, technology, and public policy. National Academy Press, Washington DC. 1992.

NEPA & STATE PLANNING COMMITTEE. 1994. *Action Plan for the Environmental Protection of China*. China Environmental Science Publishing House, Beijing.

NICHOLS, R. & HYMAN, E. evaluation of Environmental Assessment Methods. *Journal of the Water Resources Management and Planning Division*. American Society of Civil Engineers. V.108, n.WR1. Março. 1982. p.87-105.

Nilsson, S.G. & Nilsson, I.N. Species richness and dispersal of vascular plants to islands in lake Mockelm, Southern Sweden. *Ecology*, 59(3): 473-480. 1978.

OERTLI, B.; JOYE, D.A.; CASTELLA, E.; JUGE, R.; CAMBIN, D. & LACHAVANNE, J.B. Does size matter? The relationship between pond area and biodiversity. *Biological Conservation*, 104: 59-70. 2002.

OLIVA, A. & COSTA NETO, J.DE B. Contribuição ao desenvolvimento de metodologias para o planejamento da aplicação de recursos de compensação financeira a impactos de obras em unidades de conservação. Em: *IV Congresso Brasileiro de Unidades de Conservação*. Anais. Vol. I. p510-520. 2004.

OLIVEIRA, H.H. DE. *Proposta de criação e caracterização da Área de Proteção Ambiental de Descalvado, SP*. São Paulo: USP: Instituto de Biociências, Dissertação (Mestrado em Ciências). 1995.

OLIVEIRA, J.B. & BERG, M. Van Den. *Aptidão agrícola das terras do Estado de São Paulo*: Quadricula de Araras. II. Memorial Descritivo. Campinas, Instituto Agrônomo, 60p. (Boletim Técnico, 102). 1985.

OLIVEIRA, J.B. de. Solos do Estado de São Paulo: descrição das classes registradas no mapa pedológico. *Boletim Científico*. n. 45. 112p. Instituto Agrônomo. Campinas. 112p. 1999.

OLIVEIRA, J.B.; PRADO, H. & ALMEIDA, C.L.F. *Carta pedológica semi-detalhada do Estado de São Paulo*: Quadricula de Descalvado. Escala 1:100.000. 1ª Edição. 1 mapa. Instituto Agrônomo. Campinas. Seção de Pedologia. 1982.

OLIVEIRA, J.B.; PRADO, H. & ALMEIDA, C.L.F. *Carta pedológica semi-detalhada do Estado de São Paulo*: Quadricula de São Carlos. Escala 1:100.000. 1ª Edição. 1 mapa. Instituto Agrônomo. Campinas. Seção de Pedologia. 1981.

- OPENSHAW, S.; CARVER, S. & FERNIE, J. Searching for Radwaste Dump Sites Using Geographic Information Systems. Em: ***Britain's Nuclear Waste: Safety and Siting***. Belgaven Press, London, England. p. 145-176. 1989.
- PAGANI, M.I. ***Proposição de gestão ambiental para o município de Analândia (SP) com detalhamento de duas unidades***. Morro do Cuscuzeiro e Parque Municipal. 1995. 124 p. Tese (Doutorado). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. 1995.
- PEJON, O.J. ***Mapeamento geotécnico de Piracicaba 1:100000***, estudo dos aspectos metodológicos, de caracterização e de apresentação de atributos. Tese (Doutorado). EESC, USP. São Carlos, 2v. 1992.
- PORSANI, J.L. & MALAGUTTI FILHO, W. Emprego do GPR para Estudos Geológicos na Mineração Jundu, Descalvado-SP. Em: ***6º Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica***, 1999. Rio de Janeiro. Anais. SBGf. 1999.
- PRIEUR, MICHEL. ***Droit de l'environnement***. Paris, Dalloz, 1984.
- RAJAN, M.S. ***Remote Sensing and Geographic Information System for Natural Resource Management***. Asian Development Bank. Manila, Philippines. 1991.
- REIJNEN, R.; FOPPEN, R.; TER BRAAK, C. & THISSEN, J. The effects of car traffic on breeding bird populations in woodland. III. Reduction of density in relation to the proximity of main roads. ***Journal of Applied Ecology*** 35:187-202. 1995.
- RESENDE, M. Aplicações de conhecimentos pedológicos à conservação de solos. ***Informae Agropecuário***, v.11, n.128, p.27-37, 1985.
- RICHARDS, J.A. ***Remote sensing digital images analysis: an introduction***. Berlin: Springer Verlag. 281 p. 1993.
- RIVAS V, GONZALEZ A, FISCHER DW, CENDRERO A. An approach to environmental assessment within land-use planning process: northern Spanish experiences. ***Journal of Environmental Planning and Management***. 37: 305– 22. 1994.
- RIZZINI, C.T. ***Tratado de fitogeografia do Brasil***: aspectos ecológicos, sociológicos e florísticos. 2ª. ed. Rio de Janeiro: Âmbito Cultural. 747p. 1997.
- RODRIGUES, E. ***Edges effects on the regeneration of forest fragments in south Brazil***. PhD Thesis. Harvard University. 1998a.
- RODRIGUES, E. Efeito de bordas em fragmentos de floresta. ***Cadernos da biodiversidade***, 1(2): 1-6. 1998b.
- RODRIGUES, R.R. A vegetação de Piracicaba e municípios do entorno. ***Circular Técnica IPEF***, n. 189, p.1-17, Ago 1999.
- ROSALEN, D.L. ***Utilização de um sistema de informações geográficas associado à equação universal de perda de solo no planejamento do ecoturismo no município de Santo Antônio do Pinhal – SP***. São Carlos: UFSCar, 292 p. Tese (Doutorado). Universidade Federal de São Carlos. 2002.
- ROSS, J.L.S & MOROZ, I.C. ***Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo***. FFLCH-USP, IPT, FAPESP. Vol I e II. Mapas e Relatório. São Paulo. 1997.
- RUNHAAR, J. & UDO DE HAES, H.A. The use of site factors as classification characteristics for ecotopes. Pp.139-172 in Klijn, F. (ed.) *Ecosystem classification for environmental management*

(*Ecology and Environment*, vol. 2). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. 1994.

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

SÃO PAULO. INSTITUTO GEOLÓGICO. **Mapeamento da vulnerabilidade e risco de poluição das águas subterrâneas no Estado de São Paulo**. Instituto Geológico, CETESB, DAEE, SMA/SP; coordenado por Ricardo César Aoki Hirata, Carai Ribeiro de Assis Bastos, Gerôncio Albuquerque Rocha. São Paulo: Instituto Geológico: CETESB, 2v. 11rp. + 3 mapas (Série Documentos). 1997.

SÃO PAULO. SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO. COORDENADORIA DA PESQUISA DE RECURSOS NATURAIS. INSTITUTO GEOLÓGICO. Formações geológicas de superfície - **Folha geológica de Descalvado**, Folha SF.23-V-C-IV-4 Escala 1:50.000. Rio de Janeiro: Aerofoto Cruzeiro, 1984.

SÃO PAULO. SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO. COORDENADORIA DA PESQUISA DE RECURSOS NATURAIS. INSTITUTO GEOLÓGICO. Formações geológicas de superfície - **Folha geológica de Corumbataí**, Folha SF.23-Y-A-1-2. Escala 1:50.000. Rio de Janeiro: Aerofoto Cruzeiro, 1984-b.

SÃO PAULO-SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE, **Macrozoneamento das Bacias dos Rios Mogi Guaçu, Pardo e Médio-Grande. Questões Sócio-Ambientais Regionais**. Secretaria do Meio Ambiente, Secretaria da Agricultura e Abastecimento, Secretaria de Economia e Planejamento. São Paulo. 168p. + Anexos 163p. 1995.

SÃO PAULO-SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE. **Aquífero Guarani**. http://www.ambiente.sp.gov.br/aquifero/principal_aquifero.htm2000.

SAVITSKY, B.G., LACHER, T.E., BURNETT, G.W., FALLAS, J. & VAUGHAN, C. "Applying Proven GIS Technique in a New Setting: GAP Analysis in Costa Rica". Em: **Environmental Assessment and Development**, Goodland, R. & Edmundson, V., editores, World Bank, Washington, D.C., pp.66-72. 1995.

SCHALLER J. GIS helps measure impact of new Munich airport. *GIS Eur*, June. 1992.

SCLIAR, C. Agenda 21 e o Setor Mineral. **Agenda 21 e Sustentabilidade**. Caderno de debate no. 5. Ministério do Meio Ambiente/ Secretaria de Políticas para o Desenvolvimento Sustentável. 14p. 2004.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE/INSTITUTO GEOLÓGICO. Guedes, A.C.M. (coord.). **Planejamento e gestão Ambiental da Atividade Minerária na Bacia do Rio Mogi-Guaçu** (Contrato FEHIDRO 271/98). Relatório Técnico. CD-ROM. São Paulo. 2002.

SILVA, J.M.C. & TABARELLI, M. Tree species impoverishment and the future flora of the Atlantic forest of northeast Brazil. *Nature*, 404:72-73. 2000.

SILVA, M.L.N.; CURY, N.; LIMA, J.M. DE & FERREIRA, M.M. Avaliação de métodos indiretos de determinação da erodibilidade de Latossolos Brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Junho, vol.35, no.6, p.1207-1220. Embrapa Informação Tecnológica. 2000.

SILVA, M.R.C. **Estudo de Sedimentos da Bacia Hidrográfica do Mogi-Guaçu, com ênfase na Determinação de Metais**. Dissertação (Mestrado). Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo. 86 p. 2002.

- SOUZA, P.A. DE. A dimensão ambiental no planejamento da mineração – um enfoque empresarial. *Bahia Análise & Dados*. v.10, n.4, p.280-305. 2001.
- TABARELLI, M. & PERES, C.A. Abiotic and vertebrate seed dispersal in the Brazilian Atlantic forest: implications for forest regeneration. *Biological Conservation*, 106: 165-176. 2002.
- TABARELLI, M., BAIDER, C. & MANTOVANI, W. Efeitos da fragmentação na floresta Atlântica da bacia de São Paulo. *Hoehnea*, 25(2): 169-186. 1998.
- TABARELLI, M.; MANTOVANI, W. & PERES, C.A. Effects of habitat fragmentation on plant guild structure in the montane Atlantic forest of southeastern Brazil. *Biological Conservation*, 91:119-127. 1999.
- TAVEIRA, A.L.S. *Provisão de recursos financeiros para o fechamento de empreendimentos minerários*. 209p. Tese (doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo. 2003.
- TOREZAN, F.E. & LORANDI, R. Análise de restrições ambientais para o planejamento de áreas de mineração através da aplicação de geoprocessamento. *Geociências*. V.19(2). Ed. Unesp. São Paulo, SP. 2000.
- TURNER, B.L.; SKOLE, D.; SANDERSON, S.; FISCHER, G.; FRESCO, L.; LEEMANS, R. *Land-Use and Land Cover Science Research Plan*. Stockholm, IGBP. 1995.
- TURNER, I.M. & CORLETT, R.T. The conservation value of small, isolated fragments of lowland tropical rain forest. *Trends in Ecology and Evolution*, 11(8): 330-333. 1996.
- TURNER, I.M. Species loss in fragments of tropical rain forest: a review of the evidence. *Journal of Applied Ecology*, 33: 200-209. 1996.
- TURNER, M.G. Landscape ecology: the effect of pattern on process. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 20:171-197. 1989.
- VALENTE, R. DE O.A. *Análise da estrutura da paisagem na bacia do rio Corumbataí, SP*. Dissertação de mestrado. USP/ESALQ. Piracicaba, SP. 144p. 2001.
- VELOSO, H.P. (org.). *Manual técnico da vegetação brasileira*. Rio de Janeiro: IBGE/Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 93p. 1992.
- VENTURIERI, A. & SANTOS, J.R. Técnicas de classificação de imagens para análise de cobertura vegetal. Em: ASSAD, E.D. & SANO, E.E. *Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura*. Brasília: Embrapa, SPI; Embrapa, CPAC, cap.3, p.31-43. 1998.
- VIANA, V.M. & PINHEIRO, L.A.F.V. Conservação da biodiversidade em fragmentos florestais. *Série Técnica IPEF 12* (32): 25-42. 1998.
- VIANA, V.M.; TABANEZ, A.A.J. & MARTINS, J.L.A. restauração e manejo de fragmentos florestais. Em: Congresso Nacional sobre essências nativas, 2, São Paulo, 1992. *Anais*. São Paulo: Instituto florestal de São Paulo, p. 400-407. 1992.
- VILELA, M.F. *Uso de diferentes métodos de retificação geométrica e classificação digital de uma imagem TM/Landsat-5*. Piracicaba, 118p. Dissertação (mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. 1998.
- WANG, X. & LI, J. Levying of Ecoenvironmental Compensation Fees in China: An Analysis and Proposals. *Environmental Management*. Vol. 24, no. 3, pp. 353-358. Springer-Verlag New York Inc. 1999.

- WEILL, M.A.M. *Estimativa da erosão do solo e avaliação do seu impacto na microbacia do Ceveiro (Piracicaba, SP) através do índice de tempo de vida*. Piracicaba, 100p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. 1999.
- WENTWORTH, C.J. A simplified Method of Determining the Average Slope of Land Surface. *American Journal of Sciences*, 5th series, V.20, p. 184-94. 1930.
- WILLEY, C.R. Effects of short period of anaerobic and near anaerobic conditions on coater uptake by tobacco roots. *Agronomy Journal*, Madison, 62:224-229, 1970.
- WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. *Predicting rainfall erosion losses*: a guide to conservation planning. Washington: USDA, 58p. (USDA. Agriculture Handbook, 537). 1978.
- WISCHMEIER, W.H.; JOHNSON, C.B. & CROSS, B.W. A soil erodibility monograph for farmland and construction sites. *Journal of Soil and Water Conservation*, v.26, n.5, p.189-193, 1971.
- ZUIDEMA, P.A.; SAYER, J.A. & DIJKMAN, W. Forest fragmentation and biodiversity: the case for intermediate-sized conservation areas. *Environmental Conservation*, 23(4): 290-297. 1996.