METODOLOGIA AUTOMATIZADA PARA SELEÇÃO DE ÁREAS PARA DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS. Aplicação na Região Metropolitana de Campinas (SP)

MARIA JOSÉ BROLLO

Tese de Doutorado apresentada ao
Departamento de Saúde Ambiental da
Faculdade de Saúde Pública da Universidade
de São Paulo para obtenção do Grau de
Doutora.

Área de Concentração: Saúde Ambiental.

Orientador: Prof. Titular Dr. Carlos Celso do
Amaral e Silva.

Volume I

São Paulo

2001

Autorizo, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese, por processos fotocopiadores.

Assinatura:

Data:

A dedicação e amor do meu marido foram o
incentivo para que eu concluísse esta tese.

A ele dedico todo o meu empenho.

AGRADECIMENTOS

Para concluir o processo de execução desta tese muitos foram os que contribuíram. Devo, assim, meus agradecimentos:

- À minha linda filha Emília e ao meu super-marido Guedes, fontes de inspiração. Ao Guedes vão meus agradecimentos mais especiais, pois sempre me apoiou e incentivou. Dentre inúmeras colaborações, ajudou-me nas tarefas mais difíceis relacionadas ao *MapInfo*, leu integralmente os textos preliminares da tese e deu valiosas sugestões.

- Ao pessoal da Geórgia, minha segunda família, que me deu apoio irrestrito, moral e logístico, e muito carinho à minha filha Emília, durante os muitos momentos em que tive que me dedicar integralmente a este trabalho.

- Ao Instituto Geológico, instituição que tem possibilitado a aplicação de minhas idéias, além de ter dado o suporte e a infra-estrutura necessários para a execução dos trabalhos de campo e de gabinete.

- À Faculdade de Saúde Pública da USP, através da qual pude unir meus horizontes de geólogo-geotécnica aos horizontes da saúde ambiental.

- Às equipes do Projeto “Seleção de Áreas...” e do Programa de Geotecnia e Meio Ambiente do Instituto Geológico.

- Ao amigo, geólogo e agora Doutor, Ricardo Vedovello, que sempre me incentivou nas atividades técnicas, orientando-me nos momentos de decisões. Suas leituras e sugestões ao longo de todo o processo desta tese permitiram-me chegar até o fim.

- À amiga e geógrafa Maria Christina Holl, discursiva e laboriosa, sempre “quebrando galhos”.

- À geóloga e Doutora Mara Akie Iritani, que me mostrou o horizonte da

saúde pública e, talvez nem saiba, deu dicas fundamentais para que eu delimitasse o tema da tese.

- À geóloga e Doutora Amélia João Fernandes, que me forneceu arquivos digitais importantes para a otimização do trabalho.

- À bióloga Mirtes Moreira da Silva, colega de pós-graduação, que me ajudou nas discussões sobre gestão ambiental de resíduos.

- Ao Engenheiro Cartógrafo Heber J. Sultanum, que me ajudou e deu dicas na elaboração dos produtos cartográficos e no aprendizado do *software MapInfo*.

- Ao meu sobrinho, Físico e Doutor Filipe Bonjour, que redigiu o texto do Summary.

- À minha cunhada, Filósofa e Doutora Maria do Carmo Guedes, que prontamente fez uma revisão fina do texto, com olhos de editora.

- Ao meu orientador, Dr. Carlos Celso do Amaral e Silva.

RESUMO

BROLLO, MJ. *Metodologia automatizada para seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos. Aplicação na Região Metropolitana de Campinas (SP)*. São Paulo; 2001 [Tese de Doutorado – Departamento de Saúde Ambiental – Faculdade de Saúde Pública da USP].

Objetivo. Esta tese tem como objetivo geral desenvolver uma metodologia para a seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos, apoiada em princípios e recursos de Geoprocessamento, através de um Sistema Gerenciador de Informações (SGI). **Metodologia.** São analisados aspectos de uso e ocupação do solo e aspectos fisiográficos do terreno que interferem na correta seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos, considerando-se uma escala de abordagem regional (1:100.000). São definidos, também, os critérios para a associação e hierarquização dos atributos relacionados aos aspectos mencionados. São desenvolvidos procedimentos técnicos lógicos e ponderações com os atributos e implementados recursos tecnológicos, operacionalizados de forma concomitante, através do uso de um produto informatizado na forma de um SGI. **Resultados.** De modo a avaliar a eficácia da metodologia, os procedimentos metodológicos e as técnicas de análise estruturadas são aplicados em área teste no Estado de São Paulo: dezoito municípios localizados na Região Metropolitana de Campinas. **Conclusões.** A metodologia apresentada e o SGI proposto podem ser utilizados com sucesso em diversas situações fisiográficas, tanto durante o processo de seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos, como na etapa de disponibilização e consulta dos dados e informações obtidos. Desta forma, essa metodologia constitui um instrumento voltado ao planejamento, ao controle e ao gerenciamento ambiental. O mesmo processo utilizado para o desenvolvimento da proposta metodológica poderá ser realizado em pesquisas futuras, mediante adaptações, quando da definição da estrutura metodológica necessária a análises de maior detalhe para o licenciamento e a implantação de empreendimentos de disposição de resíduos sólidos.

Descritores: Resíduos sólidos; gestão ambiental; cartografia geotécnica; sensoriamento remoto; geoprocessamento; Região Metropolitana de Campinas (SP).

SUMMARY

BROLLO, MJ. *Metodologia automatizada para seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos. Aplicação na Região Metropolitana de Campinas (SP)*. [Automated methodology for the selection of areas for the disposal of solid wastes. Application to the Metropolitan Region of Campinas (SP)] São Paulo (BR); 2001 [Tese de Doutorado – Departamento de Saúde Ambiental – Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo].

Objective. The general goal of this thesis is to develop a methodology for the selection of areas destined for the disposal of solid wastes, based on the principles and resources of Geoprocessing, through an Geographical Information System (GIS). **Methodology.** We analyze the aspects related to the land use and the fisiographical aspects of the terrain which interfere with the correct selection of areas for the disposal of solid wastes, at the regional scale (1:100,000). We also define the criteria for the association and hierarchical ordering of the attributes related to the aforementioned aspects. We develop logical technical procedures and ponderations with the attributes and implemented technological resources, operated in a concomitant way through the use of a GIS. **Results.** In order to evaluate the efficacy of the methodology, the procedures and the structured techniques of analysis are applied to a test area in the São Paulo State, namely to eighteen municipalities in the Metropolitan Region of Campinas. **Conclusions.** The methodology presented and the GIS proposed can be successfully used in diverse fisiographical situations, during the process of selecting areas for the disposal of solid wastes as well as when the data and information obtained become available for consulting. Therefore, this methodology constitutes an instrument appropriate to the planning, controlling and environmental management. The procedure used for the development of the proposed methodology may be used in future researches, with some alterations, when the need arises for a definition of the methodological structure necessary to analyses of greater detail, for licensing and implementing the disposal of solid wastes.

Keywords: solid waste; environmental management; engineering geological mapping; remote sensing; geoprocessing; Metropolitan Region of Campinas (SP).

ÍNDICE

Agradecimentos	ii
Resumo	iv
Summary	v
Índice	vi
Índice de tabelas	ix
Índice de figuras	x
Lista de anexos	xiv
 PARTE I – INTRODUÇÃO	1
1. GENERALIDADES	1
2. OBJETIVOS	5
3. JUSTIFICATIVAS	6
PARTE II – CONCEITUAÇÃO GERAL	10
1. RESÍDUOS SÓLIDOS	10
1.1. Resíduos sólidos: conceituação e classificação	10
1.2. Resíduos sólidos: aspectos ambientais e de saúde pública	12
1.2.1. Degradação ambiental	12
1.2.2. Aspectos de saúde pública	19
1.3. Gestão de resíduos sólidos	23
1.3.1. Generalidades	23
1.3.2. A gestão de resíduos sólidos no Brasil	28
1.3.3. A gestão de resíduos sólidos no Estado de São Paulo	31
A - Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares	33
B - Planos Diretores de Resíduos Sólidos	34
C - Inventário de Resíduos Sólidos Industriais	35
D - Levantamento das Áreas Contaminadas na Região Metropolitana de São Paulo	36
1.4. A seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos	36
2. CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA	38
3. SENSORIAMENTO REMOTO	46
3.1. Aspectos gerais	46
3.2. Uso de sensoriamento remoto em cartografia geotécnica	48
3.2.1. Suscetibilidade à ocorrência de movimentos gravitacionais de massa	50

3.2.2. Estudos hidrogeológicos e avaliação da vulnerabilidade natural à contaminação de aquíferos	52
3.3. Uso de sensoriamento remoto em estudos de uso e ocupação do solo.....	54
4. GEOPROCESSAMENTO	57
4.1. Aspectos gerais	57
4.2. A importância do geoprocessamento em cartografia geotécnica	60
4.3. O uso de SIG em cartografia geotécnica	61
PARTE III – ESTRUTURAÇÃO METODOLÓGICA	63
1. PRESSUPOSTOS E ABORDAGEM GERAL	63
2. ESTRUTURA METODOLÓGICA	66
2.1. Estrutura geral e critérios de análise	66
2.1.1. Fatores intervenientes na seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos	69
2.1.2. Definição de atributos, critérios de análise e classificações	72
A - Aspectos de uso e ocupação do solo	72
B - Aspectos fisiográficos do terreno	74
2.2. Métodos e técnicas	87
2.2.1. Levantamento de informações básicas	88
A - Compilação de dados bibliográficos e cartográficos e elaboração do mapa-base	88
B - Seleção de produtos de sensoriamento remoto	89
2.2.2. Estruturação de bancos de dados	91
2.2.3. Elaboração do Mapa de Aspectos de Uso e Ocupação do Solo	96
A - Interpretação de imagens de satélite	96
B - Checagem de campo	96
C - Geração do Mapa de Aspectos de Uso e Ocupação do Solo	97
2.2.4. Elaboração do Mapa de Unidades de Compartimentação Fisiográfica	98
A - Interpretação de imagens de satélite	98
B - Compartimentação fisiográfica	103
C - Checagem de campo	105
D - Geração do Mapa de Unidades de Compartimentação Fisiográfica	106
2.2.5. Elaboração do Mapa de Áreas Potenciais para Disposição de Resíduos	106
2.3. O Sistema Gerenciador de Informações (SGI) voltado à seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos	109
PARTE IV – APLICAÇÃO DA METODOLOGIA	113
1. SELEÇÃO DA ÁREA PILOTO	113
1.1. Aspectos sócio-econômicos	115
1.2. Resíduos sólidos	118

1.2.1. Resíduos sólidos domiciliares	118
1.2.2. Resíduos sólidos de serviços de saúde	120
1.2.3. Resíduos sólidos industriais	121
2. LEVANTAMENTO DE DADOS E INFORMAÇÕES	123
2.1. Seleção de produtos de sensoriamento remoto	123
2.2. Elaboração do mapa-base	123
2.3. Compilação de dados bibliográficos e cartográficos	124
2.3.1. Unidades de Conservação	125
2.3.2. Mapa Litológico	125
2.3.3. Mapa de Tipos de Relevo	129
2.4. Compartimentação do uso e ocupação do solo	131
2.4.1. Fotointerpretação	131
2.4.2. Checagem de campo	133
2.5. Compartimentação fisiográfica	133
2.5.1. Fotointerpretação	133
2.5.2. Hierarquia de compartimentação dos terrenos	135
2.5.3. Identificação de compartimentos fisiográficos	135
2.5.4. Checagem de campo	141
3. GERAÇÃO DE PRODUTOS	142
3.1. Geração do Mapa de Aspectos de Uso e Ocupação do Solo	142
3.1.1. Sistematização de dados	142
3.1.2. Geração do mapa temático	152
3.2. Geração do Mapa de Unidades de Compartimentação Fisiográfica	154
3.2.1. Sistematização de dados	154
3.2.2. Geração do mapa temático	155
3.3. Geração automática do Mapa de Áreas Potenciais para Disposição de Resíduos	170
3.3.1. Geração do mapa temático	170
3.3.2. Sistema Gerenciador de Informações voltado à seleção de áreas para disposição de resíduos.....	172
PARTE V – CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES	186
1. GENERALIDADES	186
2. APRECIACÃO SOBRE A ESTRUTURA METODOLÓGICA	187
3. CONCLUSÕES	191
PARTE VI - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	195

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Indicadores de presença de processos geodinâmicos e parâmetros utilizados para definir sua magnitude.	16
Tabela 2. Indicadores de contaminação do solo abaixo de depósitos de resíduos.	16
Tabela 3. Conceitos de vulnerabilidade utilizados em alguns trabalhos recentes.	20
Tabela 4. Sobrevivência de organismos patógenos no solo.	21
Tabela 5. Destinação dos resíduos sólidos em alguns países do mundo.	26
Tabela 6. Composição dos resíduos sólidos urbanos (em % relativo ao peso) em alguns países do mundo.	26
Tabela 7. Geração anual de resíduos sólidos industriais no Estado de São Paulo.	36
Tabela 8. Síntese das etapas e procedimentos operacionais para a elaboração de zoneamentos geotécnicos.	45
Tabela 9. Necessidades típicas de aplicações de Geoprocessamento.	59
Tabela 10. Categorias de uso e ocupação do solo caracterizadas e classificadas quanto a sua à viabilidade em receber empreendimentos de disposição de resíduos sólidos. Incluem-se somente alguns tipos de unidades de conservação ambiental, a título de exemplo, uma vez que devem ser analisadas caso a caso.	75
Tabela 11. Atributos e classes para avaliação dos mesmos, para análise de fragilidades do meio físico em diferentes domínios fisiográficos.	77
Tabela 12. “Árvore Lógica” para análise do domínio fisiográfico de Bacia Sedimentar frente à vulnerabilidade natural dos aquíferos à contaminação.	80
Tabela 13. “Árvore Lógica” para análise do domínio fisiográfico de Embasamento Cristalino frente à vulnerabilidade natural dos aquíferos à contaminação.	82
Tabela 14. Critérios considerados na análise de fragilidades do meio físico (erosão, escorregamentos e inundação) em diferentes domínios fisiográficos.	86
Tabela 15. Matriz de classificação das fragilidades do meio físico quanto à definição de áreas potenciais para disposição de resíduos sólidos.	87
Tabela 16. Caracterização das propriedades das formas texturais em imagens de satélite.	100
Tabela 17. Mapas auxiliares considerados na presente proposta: técnica de obtenção e utilidade.	102
Tabela 18. Exemplos da obtenção de propriedades do terreno importantes na avaliação de suas fragilidades, a partir de correlações entre elementos e propriedades da imagem de satélite.	104
Tabela 19. Estrutura do código de hierarquização das áreas pré-selecionadas para disposição de resíduos sólidos.	108
Tabela 20. Exemplos hipotéticos de codificação de UBCs de áreas pré-selecionadas para disposição de resíduos sólidos.	108
Tabela 21. Evolução do total populacional nos municípios da área piloto.	116
Tabela 22. Diagnóstico da geração e destinação dos resíduos sólidos domiciliares nos municípios compreendidos pela área-piloto.	119

Tabela 23. Geração de resíduos sólidos industriais segundo o porte das indústrias nas bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá.	122
Tabela 24. Geração de resíduos sólidos industriais nos municípios compreendidos pela área-piloto.	122
Tabela 25. Principais características das unidades litológicas presentes no Mapa Litológico da área-piloto.	128
Tabela 26. Características dos Tipos de Relevo presentes na área-piloto.	131
Tabela 27. Características texturais nas imagens associadas aos diferentes níveis hierárquicos de compartimentação para a área de estudo.	136
Tabela 28. Exemplo das características texturais de drenagem obtidas nas imagens e utilizadas para a diferenciação de Unidades de Compartimentação Fisiográfica inseridas na área de estudo.	140
Tabela 29. Caracterização das categorias de uso e ocupação do solo identificadas na área de estudo.	143
Tabela 30. Características das Unidades de Conservação Ambiental identificadas na área de estudo.	144
Tabela 31. Lista de atributos constantes no <i>"banco de dados de características e propriedades geotécnicas"</i> (os atributos fundamentais estão realçados).	158
Tabela 32. Exemplo de caracterização das Unidades de Compartimentação Fisiográfica da área-piloto.	160
Tabela 33. Síntese das Unidades de Compartimentação Fisiográficas obtidas no domínio do Embasamento Cristalino para a área de estudo.	161
Tabela 34. Síntese das Unidades de Compartimentação Fisiográficas obtidas no domínio da Bacia Sedimentar do Paraná para a área de estudo.	162
Tabela 35. Classificação das categorias de uso e ocupação do solo frente à avaliação de áreas para disposição de resíduos sólidos.	171
Tabela 36. Classificação das unidades de compartimentação fisiográfica frente à avaliação de áreas para disposição de resíduos sólidos.	171

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Trajeto de um contaminante desde a sua emissão até seu efeito à saúde (ANDRADE, 1995).	18
Figura 2. Etapas básicas para a elaboração de zoneamentos geotécnicos (VEDOVELLO, 2000).	43
Figura 3. Articulação da estratégia metodológica do Sistema Gerenciador de Informações voltado à seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos.	70
Figura 4. Exemplo de formulário do <i>"Banco de dados da análise das imagens de satélite quanto a aspectos fisiográficos do terreno"</i>	93
Figura 5. Exemplo de formulário do <i>"Banco de dados de levantamento de campo quanto a aspectos fisiográficos do terreno"</i>	94

Figura 6. Exemplo de formulário do “ <i>Banco de dados de características de uso e ocupação do solo</i> ”.	95
Figura 7. Exemplo de formulário do “ <i>Banco de dados de características e propriedades geotécnicas das UBCs</i> ”.	95
Figura 8. Diagrama mostrando o fluxo de trabalho para a construção do Sistema Gerenciador de Informações (SGI) para a seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos.	110
Figura 9. Arquitetura interna de um <i>Desktop Mapping</i> (DAVIS & CÂMARA, 2000).	112
Figura 10. Área escolhida para a aplicação da metodologia proposta.	114
Figura 11. Trecho do Mapa Litológico da área-piloto.	127
Figura 12. Trecho do Mapa de Tipos de Relevo da área-piloto.	130
Figura 13. Exemplo de trechos da área estudada apresentando relações entre os aspectos da rede de drenagem e a compartimentação fisiográfica (modificado de BROLLO ET ALII, 1998).	137
Figura 14. Feição da categoria <i>Áreas com usos urbano e industrial</i> , mostrando a alta densidade de edificações em estágio consolidado (município de Santo Antonio de Posse). <i>Fonte: acervo fotográfico do Instituto Geológico.</i>	150
Figura 15. Feição da categoria <i>Áreas com usos urbano e industrial</i> , mostrando alta densidade de edificações em estágio de consolidação (município de Campinas). <i>Fonte: acervo fotográfico do Instituto Geológico.</i>	150
Figura 16. Feição da categoria <i>Áreas com usos urbano e industrial</i> , mostrando a baixa densidade de edificações e grande arborização (município de Jaguariúna). <i>Fonte: acervo fotográfico do Instituto Geológico.</i>	151
Figura 17. Feição da categoria <i>Áreas com usos urbano e industrial</i> , mostrando, ao fundo, a alta densidade de edificações em estágio consolidado (município de Campinas). <i>Fonte: acervo fotográfico do Instituto Geológico.</i>	151
Figura 18. Feição da categoria <i>Áreas com usos urbano e industrial</i> , onde predominam grandes equipamentos de forma concentrada, mostrando em primeiro plano a REPLAN (município de Paulínia). <i>Fonte: acervo fotográfico do Instituto Geológico.</i>	152
Figura 19. Feição da categoria <i>Áreas de uso agro-industrial</i> , onde ocorrem galpões, armazéns, estufas, de forma esparsa (município de Holambra). <i>Fonte: acervo fotográfico do Instituto Geológico.</i>	152
Figura 20. Feição da categoria <i>Áreas de Conservação Ambiental</i> , mostrando ao fundo a <i>Área de Relevante Interesse Ecológico Cosmópolis</i> , também conhecida como Matão de Cosmópolis (município de Cosmópolis). <i>Fonte: acervo fotográfico do Instituto Geológico.</i>	153
Figura 21. Feição da categoria <i>Área de uso rural</i> , mostrando plantação de cana-de-açúcar (município de Paulínia). <i>Fonte: acervo fotográfico do Instituto Geológico.</i>	153
Figura 22. Trecho do Mapa de Aspectos de Uso e Ocupação do Solo.	155
Figura 23. Exemplo de obtenção de atributo: ESPESSURA DE SOLO	159
Figura 24. Exemplo de obtenção de atributo: NÍVEL D’ÁGUA	159
Figura 25. Vista geral da unidade BGA1 , presente no domínio da Bacia Sedimentar do Paraná, onde ocorrem siltitos laminados, siltitos areno-argilosos de idade Cenozóica, associados a colinas amplas. Nesta unidade o perfil de materiais inconsolidados é do tipo areno-argiloso passando a areno-siltoso e argilo-arenoso	

- em profundidade e as espessuras são superiores a 2 metros. *Fonte: acervo fotográfico do Instituto Geológico.*163
- Figura 26.** Vista geral da unidade **BBP1**, presente no domínio da Bacia Sedimentar do Paraná, onde ocorrem ritmitos areno-silto argilosos, lamitos arenosos e arenitos lamíticos com grânulos, do Subgrupo Itararé, associados a colinas pequenas. O perfil de materiais inconsolidados tem solo residual arenoso e espessuras variando entre 5 e 10 metros. A morfometria apresenta como característica principal a alta densidade de drenagem. *Fonte: acervo fotográfico do Instituto Geológico.*163
- Figura 27.** Vista geral da unidade **BCP2**, presente no domínio da Bacia Sedimentar do Paraná, onde ocorrem arenitos muito finos, silto-argilosos laminados do Subgrupo Itararé, associados a colinas pequenas. Nesta unidade o perfil de materiais inconsolidados é do tipo arenoso a areno-siltoso, com estrutura maciça e espessuras variando entre 5 e 10 metros. *Fonte: acervo fotográfico do Instituto Geológico.*164
- Figura 28.** Vista geral da unidade **BFA1**, presente no domínio da Bacia Sedimentar do Paraná, onde ocorrem arenitos pelíticos, lamitos arenosos e arenitos finos mal selecionados de idade Cenozóica, associados a colinas amplas. O perfil de materiais inconsolidados é do tipo areno-argiloso, apresentando-se fofo a pouco compacto, com estrutura granular e espessura superior a 2 metros. *Fonte: acervo fotográfico do Instituto Geológico.*164
- Figura 29.** Vista geral da unidade **BBP3**, presente no domínio da Bacia Sedimentar do Paraná, onde ocorrem ritmitos areno-silto argilosos, lamitos arenosos e arenitos lamíticos com grânulos, do Subgrupo Itararé, associados a colinas pequenas. O perfil de materiais inconsolidados apresenta solo superficial do tipo arenoso com espessura superior a 3,5 metros e solo residual do tipo argilo siltoso. Esta unidade ocupa principalmente cabeceiras de drenagem e anfiteatros. *Fonte: acervo fotográfico do Instituto Geológico.*165
- Figura 30.** Detalhe da unidade **BBP3**, mostrando seu perfil de solo típico: solo superficial do tipo arenoso e solo residual do tipo argilo siltoso. *Fonte: acervo fotográfico do Instituto Geológico.*165
- Figura 31.** Vista da unidade **BBM1**, presente no domínio da Bacia Sedimentar do Paraná, onde ocorrem ritmitos areno-silto argilosos, lamitos arenosos e arenitos lamíticos com grânulos do Subgrupo Itararé, associados a colinas médias. O perfil de material inconsolidado é do tipo argilo-arenoso, com estrutura em blocos e espessura variando entre 1 e 5 metros. *Fonte: acervo fotográfico do Instituto Geológico.*166
- Figura 32.** Detalhe da unidade **BBM1**, mostrando seu perfil de solo típico. *Fonte: acervo fotográfico do Instituto Geológico.*166
- Figura 33.** Vista da unidade **CKT1** no plano de frente, tendo ao fundo a unidade **CQH1**. Ambas ocorrem no domínio do Embasamento Cristalino. A unidade **CKT1** apresenta xistos associados a morrotes e perfil de materiais inconsolidados com solo superficial do tipo areno-argiloso, solo residual do tipo silto-argiloso a arenoso e solo saprolítico do tipo areno-siltoso, com espessuras variando entre 1 e 5 metros. A unidade **CQH1** apresenta, por sua vez, quartzitos associados a montanhas e perfil de materiais inconsolidados do tipo areno-argiloso, com espessuras variando entre 1 e 5 metros. *Fonte: acervo fotográfico do Instituto Geológico.*167
- Figura 34.** Trecho do Mapa de Unidades de Compartimentação Fisiográfica.169
- Figura 35.** Trecho do Mapa de Áreas Potenciais para Disposição de Resíduos Sólidos.....173
- Figura 36.** Detalhe do Mapa de Aspectos de Uso e Ocupação do Solo da área-piloto

da tese. Na porção superior da figura visualiza-se a “*barra de ferramentas*” do *software MapInfo*, utilizado para a aplicação do Sistema de Gerenciador de Informações. A tecla do “*menu*” indicada pela seta é utilizada para destacar as informações associadas a cada elemento do mapa, conforme será visto nas figuras seguintes.175

Figura 37. Detalhe do Mapa de Aspectos de Uso e Ocupação do Solo da área-piloto da tese, mostrando alguns tipos de consulta ao Sistema Gerenciador de Informações. À categoria “áreas com uso urbano e industrial” estão associadas informações, as quais indicam as características da categoria, que podem ser consultadas com maior detalhe ou não, a depender do interesse do usuário do Sistema.176

Figura 38. Detalhe do Mapa de Aspectos de Uso e Ocupação do Solo da área-piloto da tese, mostrando alguns tipos de consulta ao Sistema Gerenciador de Informações. À categoria “Unidade de Conservação Ambiental” estão associadas informações, as quais indicam as características da categoria, que podem ser consultadas com maior detalhe ou não, a depender do interesse do usuário do Sistema.177

Figura 39. Detalhe do Mapa de Aspectos de Uso e Ocupação do Solo da área-piloto da tese, mostrando alguns tipos de consulta ao Sistema Gerenciador de Informações. O Ponto 12 indica o registro fotográfico efetuado nos levantamentos de campo para mostrar a características do uso rural no local. Este exemplo indica mais uma das possibilidades de consulta presentes no Sistema.178

Figura 40. Detalhe do Mapa de Unidades de Compartimentação Fisiográfica da área-piloto da tese. Na porção superior da figura visualiza-se a “*barra de ferramentas*” do *software MapInfo*, utilizado para a aplicação do Sistema de Gerenciador de Informações. A tecla do “*menu*” indicada pela seta é utilizada para destacar as informações associadas a cada elemento do mapa, conforme será visto nas figuras seguintes. As regiões coloridas com cor vermelha constituem áreas eliminadas para a disposição de resíduos sólidos, devido às características de uso e ocupação do solo.179

Figura 41. Detalhe do Mapa de Unidades de Compartimentação Fisiográfica da área-piloto da tese, mostrando alguns tipos de consulta ao Sistema Gerenciador de Informações. À UBC destacada pelo círculo (BAA1) estão associadas informações, as quais indicam as características da unidade, que podem ser consultadas com maior detalhe ou não, a depender do interesse do usuário do Sistema.180

Figura 42. Detalhe do Mapa de Unidades de Compartimentação Fisiográfica da área-piloto da tese, mostrando alguns tipos de consulta ao Sistema Gerenciador de Informações. O ponto destacado pelo círculo indica o registro fotográfico efetuado nos levantamentos de campo para mostrar a características das UBCs presentes no entorno do local. Este exemplo indica mais uma das possibilidades de consulta presentes no Sistema.181

Figura 43. Detalhe do Mapa de Áreas Potenciais para Disposição de Resíduos Sólidos da área-piloto da tese. Na porção superior da figura visualiza-se a “*barra de ferramentas*” do *software MapInfo*, utilizado para a aplicação do Sistema Gerenciador de Informações. O botão indicado pela seta é utilizado para destacar as informações associadas a cada elemento do mapa, conforme será visto nas figuras seguintes. As regiões coloridas com cor vermelho escuro constituem áreas eliminadas para a disposição de resíduos sólidos, devido às características de uso e ocupação do solo, enquanto as demais indicam as áreas eliminadas (vermelho claro), selecionadas com restrições (amarelo) e selecionadas sem restrições (verde).182

- Figura 44.** Detalhe do Mapa de Áreas Potenciais para Disposição de Resíduos Sólidos da área-piloto da tese, mostrando alguns tipos de consulta ao Sistema Gerenciador de Informações. À unidade destacada (BDA2) são associados uma cor (amarelo) e um código (UbVmSb). A cor indica a classificação “semafórica” (ou seja, “área selecionada com restrições”). O código representa as classificações do uso do solo e das fragilidades do terreno que levaram à classificação “semafórica”. As características da UBC que levaram às referidas classificações podem ser consultadas com maior ou menor detalhe, a depender do interesse do usuário do Sistema.183
- Figura 45.** Detalhe do Mapa de Áreas Potenciais para Disposição de Resíduos Sólidos da área-piloto da tese, mostrando alguns tipos de consulta ao Sistema Gerenciador de Informações. À unidade destacada (BBP4) são associados uma cor (vermelho) e um código (UbVmSa). A cor indica a classificação “semafórica” (ou seja, “área eliminada”). O código representa as classificações do uso do solo e das fragilidades do terreno que levaram à classificação “semafórica”. As características da UBC que levaram às referidas classificações podem ser consultadas com maior ou menor detalhe, a depender do interesse do usuário do Sistema.184
- Figura 46.** Detalhe do Mapa de Áreas Potenciais para Disposição de Resíduos Sólidos da área-piloto da tese, mostrando alguns tipos de consulta ao Sistema Gerenciador de Informações. À unidade destacada (BDA1) são associados uma cor (verde) e um código (UbVbSb). A cor indica a classificação “semafórica” (ou seja, “selecionada sem restrições”). O código representa as classificações do uso do solo e das fragilidades do terreno que levaram à classificação “semafórica”. As características da UBC que levaram às referidas classificações podem ser consultadas com maior ou menor detalhe, a depender do interesse do usuário do Sistema.185

LISTA DE ANEXOS

- Anexo 1.** Mapa de Aspectos de Uso e Ocupação do Solo
- Anexo 2.** Mapa de Unidades de Compartimentação Fisiográfica
- Anexo 3.** Mapa de Áreas Potenciais para Disposição de Resíduos Sólidos

METODOLOGIA AUTOMATIZADA PARA SELEÇÃO DE ÁREAS PARA DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS. Aplicação na Região Metropolitana de Campinas (SP)

MARIA JOSÉ BROLLO

Tese de Doutorado apresentada ao Departamento de Saúde Ambiental da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo para obtenção do Grau de Doutora.

Área de Concentração: Saúde Ambiental.

Orientador: Prof. Titular Dr. Carlos Celso do Amaral e Silva.

Volume II

São Paulo
2001

Autorizo, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese, por processos fotocopiadores.

Assinatura:

Data:

RESUMO

BROLLO, MJ. Metodologia automatizada para seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos. Aplicação na Região Metropolitana de Campinas (SP). **São Paulo; 2001 [Tese de Doutorado – Departamento de Saúde Ambiental – Faculdade de Saúde Pública da USP].**

Objetivo. Esta tese tem como objetivo geral desenvolver uma metodologia para a seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos, apoiada em princípios e recursos de Geoprocessamento, através de um Sistema Gerenciador de Informações (SGI). **Metodologia.** São analisados aspectos de uso e ocupação do solo e aspectos fisiográficos do terreno que interferem na correta seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos, considerando-se uma escala de abordagem regional (1:100.000). São definidos, também, os critérios para a associação e hierarquização dos atributos relacionados aos aspectos mencionados. São desenvolvidos procedimentos técnicos lógicos e ponderações com os atributos e implementados recursos tecnológicos, operacionalizados de forma concomitante, através do uso de um produto informatizado na forma de um SGI. **Resultados.** De modo a avaliar a eficácia da metodologia, os procedimentos metodológicos e as técnicas de análise estruturadas são aplicados em área teste no Estado de São Paulo: dezoito municípios localizados na Região Metropolitana de Campinas. **Conclusões.** A metodologia apresentada e o SGI proposto podem ser utilizados com sucesso em diversas situações fisiográficas, tanto durante o processo de seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos, como na etapa de disponibilização e consulta dos dados e informações obtidos. Desta forma, essa metodologia constitui um instrumento voltado ao planejamento, ao controle e ao gerenciamento ambiental. O mesmo processo utilizado para o desenvolvimento da proposta metodológica poderá ser realizado em pesquisas futuras, mediante adaptações, quando da definição da estrutura metodológica necessária a análises de maior detalhe para o licenciamento e a implantação de empreendimentos de disposição de resíduos sólidos.

Descritores: Resíduos sólidos; gestão ambiental; cartografia geotécnica; sensoriamento remoto; geoprocessamento; Região Metropolitana de Campinas (SP).

SUMMARY

BROLLO, MJ. *Metodologia automatizada para seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos. Aplicação na Região Metropolitana de Campinas (SP)*. [Automated methodology for the selection of areas for the disposal of solid wastes. Application to the Metropolitan Region of Campinas (SP)] São Paulo (BR); 2001 [Tese de Doutorado – Departamento de Saúde Ambiental – Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo].

Objective. The general goal of this thesis is to develop a methodology for the selection of areas destined for the disposal of solid wastes, based on the principles and resources of Geoprocessing, through an Geographical Information System (GIS). **Methodology.** We analyze the aspects related to the land use and the fisiographical aspects of the terrain which interfere with the correct selection of areas for the disposal of solid wastes, at the regional scale (1:100,000). We also define the criteria for the association and hierarchical ordering of the attributes related to the aforementioned aspects. We develop logical technical procedures and ponderations with the attributes and implemented technological resources, operated in a concomitant way through the use of a GIS. **Results.** In order to evaluate the efficacy of the methodology, the procedures and the structured techniques of analysis are applied to a test area in the São Paulo State, namely to eighteen municipalities in the Metropolitan Region of Campinas. **Conclusions.** The methodology presented and the GIS proposed can be successfully used in diverse fisiographical situations, during the process of selecting areas for the disposal of solid wastes as well as when the data and information obtained become available for consulting. Therefore, this methodology constitutes an instrument appropriate to the planning, controlling and environmental management. The procedure used for the development of the proposed methodology may be used in future researches, with some alterations, when the need arises for a definition of the methodological structure necessary to analyses of greater detail, for licensing and implementing the disposal of solid wastes.

Keywords: solid waste; environmental management; engineering geological mapping; remote sensing; geoprocessing; Metropolitan Region of Campinas (SP).

PARTE I – INTRODUÇÃO

1. GENERALIDADES

A sociedade moderna vive o fenômeno da produção industrial de bens de consumo de forma cada vez mais exacerbada, o que acarreta problemas tais como o esgotamento dos recursos naturais, a degradação e a poluição ambiental. Sobre a poluição ambiental, FORATTINI (1992) observa que é *“nos meios hídricos e terrestres que a poluição revela-se de forma mais intensa, principalmente devido ao grande número de substâncias despejadas na água e depositadas no solo, o que indiretamente também aumenta a poluição do ar. Apesar dos aglomerados urbanos produzirem esgoto e lixo, é a atividade industrial que responde pela grande maioria dos poluentes”*. Portanto, como se depreende da citação acima, a poluição ambiental possui intrínseca relação com o fenômeno da geração de resíduos em volumes cada vez maiores e com as dificuldades associadas à sua disposição final.

Os problemas ambientais associados aos resíduos sólidos e os modelos para sua gestão adotados pela sociedade têm sido objeto de preocupação e pesquisa de diversos autores. Estes autores têm buscado trazer à luz novos aspectos científicos e tecnológicos que passam a ser incorporados às políticas setoriais relativas aos resíduos sólidos. Para se ter uma idéia da preocupação sobre o que fazer com os resíduos sólidos e de como são variadas as proposições de solução para sua disposição e tratamento, é muito curiosa uma citação encontrada em OGATA (1983): *“uma das proposições do Congresso do Institute of Solid Wastes, EUA, em 1965, foi o de lançar os resíduos sólidos no espaço, num futuro próximo”*.

A história dos resíduos sólidos parece se confundir com a própria história do homem urbano. *“A partir do momento em que os homens começaram a se estabelecer em determinados locais, preferindo se fixar, com conseqüente abandono da vida nômade, novas situações em relação aos resíduos sólidos*

produzidos pela atividade humana foram criadas pela alteração introduzida em seus hábitos de vida” (PHILIPPI JR 1979). Há relatos de que na idade média as cidades fediam, os restos e os dejetos eram jogados em lugares distantes onde pudessem sujar, cheirar mal e atrair doenças. Menciona-se também na história antiga que além da prática do lançamento de resíduos a céu aberto e em cursos d’água, enterrava-se e usava-se o fogo para a destruição dos restos inaproveitáveis (BARCIOTTE 1994).

PHILIPPI JR (1979) salienta que somente em meados do século XIX, em decorrência de padrões de vida criados pela nova ordem social decorrente da revolução industrial, é que começaram a se destacar os problemas decorrentes dos resíduos sólidos, dentro do contexto ambiental. A situação vem se agravando em nível global e particularmente em determinadas regiões, dado o aumento da população e de um acentuado crescimento urbano. Tais fatos, associados à evolução dos costumes, criação ou mudança de hábitos, melhoria do nível de vida, desenvolvimento industrial e outros, têm provocado crescente ampliação no poder aquisitivo *per capita*, com consequência direta na quantidade e tipo de resíduos sólidos produzidos particularmente nas cidades.

Nos anos 70 as políticas de controle de resíduos sólidos buscavam estabelecer normas referentes à forma mais adequada de coleta e, principalmente, de disposição final do material descartado. Nos anos 80 enfatizou-se as formas de pré-tratamento e a destruição desse material. Atualmente a tendência nos países industrializados é o estabelecimento de critérios e incentivos que permitam a implantação de programas de prevenção e redução de resíduos na fonte geradora, assim como programas de recuperação da matéria-prima componente dos resíduos. Neste sentido, a Agenda 21, importante documento produzido na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, ocorrida em 1992 no Rio de Janeiro, propõe que *“a sociedade precisa desenvolver formas eficazes de lidar com o problema da eliminação cada vez maior de resíduos. Os Governos, juntamente com a indústria, as famílias e o público em geral, devem enviar um esforço conjunto para reduzir a geração de resíduos e de produtos descartados”* (SMA 1992).

Confrontando a necessidade da implementação de políticas ambientais condizentes com o desenvolvimento sustentável, DURAN DE LA FUENTE (1997) alerta

para a necessidade de chamar a atenção sobre o quanto o desenvolvimento econômico gera de impacto sobre os recursos naturais, de poluição localizada, de destruição de ecossistemas e de aquecimento global resultante do consumo de energia. É fato que sem políticas ambientais eficazes e sem uma sociedade civil alerta, consciente, mobilizada e participativa, o desenvolvimento econômico nos modelos vigentes pode levar a uma perda do patrimônio natural e ambiental, base de muitas possibilidades futuras e mesmo da qualidade de vida atual. Diante dessa realidade, para haver um enfoque integral e sistêmico nas políticas ambientais é necessária a união de elementos políticos, institucionais, tecnológicos, econômicos e jurídicos que visem uma sensibilização e educação para a gestão territorial.

Conforme destacam FIGUEIREDO (1995) e CONSUMERS INTERNATIONAL (1998), o crescimento da população constitui uma ameaça para o meio ambiente global, na medida em que aumenta a necessidade de consumo de bens industrializados, o que implica na utilização de uma porção desproporcionalmente grande dos recursos naturais e na conseqüente geração de grande quantidade de resíduos. Nos países em desenvolvimento, práticas como o desflorestamento e o emprego de práticas agrícolas não sustentáveis produzem impactos ainda maiores, exacerbando os impactos ambientais regionais. À medida em que o poder de consumo dos países em desenvolvimento crescem, os danos ao ambiente neles aumentarão em um ritmo que reflete os efeitos combinados do aumento da poluição *per capita* e do crescimento da população.

O caráter consumista da sociedade moderna e a utilização de produtos descartáveis têm levado a uma enorme produção de resíduos. Os modelos de gestão adotados pela maioria das comunidades para a administração de resíduos são resultantes de uma visão de inesgotabilidade dos recursos naturais. Esta é uma postura sócio-política que necessita de revisão urgente, dentro da ótica do desenvolvimento sustentável, uma vez que dele depende a existência harmoniosa do homem no Planeta. Outra postura que merece revisão refere-se à responsabilidade pelo resíduo gerado. No que diz respeito à sociedade, a responsabilidade não deve ser restrita ao momento em que o lixo é colocado à porta para a coleta. Deve ser considerado todo o processo de geração dos resíduos e o processo de tratamento e destinação dos mesmos. Portanto, são necessárias mudanças nos hábitos de consumo, não apenas no que diz respeito à quantidade, mas também em relação ao tipo de produto adquirido e aos processos industriais

utilizados na confecção desses produtos.

Os setores responsáveis pela gestão dos resíduos devem, também, considerar as concentrações e a toxicidade dos resíduos, uma vez que a disposição pontual destes materiais pode comprometer seriamente os ecossistemas de uma região, provocando alterações nas mesmas proporções que a extração predatória de recursos naturais e, muitas vezes, inviabilizando a própria extração dos recursos devido à contaminação (FIGUEIREDO 1995). Daí o destaque para a importância em se selecionar adequadamente os locais para a disposição final dos resíduos sólidos, quando as características intrínsecas ao meio físico assumem papel fundamental.

DEMAJOROVIC (1996) considera que o cenário da expansão da produção de resíduos impõe desafios ao gerenciamento adequado, quer nos países industrializados, quer nos países em desenvolvimento, embora os problemas sejam bastante diferentes. No primeiro caso, como já está arraigada a destinação para aterros sanitários e incineradores, espera-se que se ampliem as campanhas a favor da reciclagem e da recuperação de materiais. Nos países em desenvolvimento, como uma parcela significativa dos resíduos continua a ser disposta ou queimada a céu aberto, tendem a agravar-se os problemas de poluição do ar, do solo e da água. Segundo dados da Agenda 21, de 1992 até o ano 2000 haveria no mundo todo cerca de 2 bilhões de pessoas sem acesso a saneamento básico e cerca de 5 milhões de pessoas, dentre as quais 4 milhões de crianças, morreriam em consequência de doenças provocadas pelo contato com o lixo. Portanto, em muitos países em desenvolvimento, a gestão de resíduos carece da preocupação com sua destinação final, em terrenos com potencial para recebê-los.

Especificamente no Brasil, a situação dos resíduos sólidos é preocupante, pelo contínuo crescimento na geração dos mesmos, sobretudo no ambiente urbano, e agravada pela inexistência de uma política nacional de resíduos, além de limitações financeiras, falta de capacitação técnica específica, descontinuidade de programas políticos e administrativos, etc.

Considerando que uma ideal gestão de resíduos sólidos esteja inserida no contexto ambiental, ela deve passar pelas etapas de definição de uma política integrada entre diversos setores (saúde, educação, industrialização, transporte, etc.). Somente assim haverá a definição e a execução de uma política ambiental

para a gestão dos resíduos, através de ações de planejamento e gerenciamento, que permitam minimizar os impactos ambientais e os riscos à saúde pública. A definição e aplicação de instrumentos de gestão relativos às políticas para os resíduos sólidos não podem esquecer ainda de considerar as condições naturais dos terrenos quanto às suas fragilidades e quanto a sua aptidão para a destinação final de resíduos. Neste contexto, a definição de mecanismos, instrumentos e procedimentos técnico-científicos para identificar áreas para a disposição de resíduos deve ser feita em consonância com a definição e a aplicação de políticas públicas para a gestão de resíduos.

2. OBJETIVOS

Esta tese tem como objetivo geral desenvolver uma metodologia para a seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos. O desenvolvimento dessa metodologia tem como premissa torná-la um instrumento voltado ao planejamento, ao controle e ao gerenciamento ambiental, o que será facilitado pela obtenção de um produto informatizado na forma de um SGI (Sistema Gerenciador de Informações). Este produto poderá ser aplicado à definição e implementação de ações voltadas não apenas à operacionalização do setor de resíduos sólidos, mas também à proteção dos recursos naturais.

Para a utilização efetiva do produto final informatizado, a elaboração da metodologia deve basear-se na situação real e atual da gestão dos resíduos sólidos no Brasil, em termos sócio-econômicos e culturais. Assim, é necessário que se considere uma visão integrada dos diferentes aspectos técnicos, econômicos e ambientais envolvidos na gestão de resíduos no país. Esta visão envolve não apenas a restrição de recursos e de informações detalhadas sobre o meio físico, mas também a urgência do adequado manejo dos resíduos face ao volume que vem sendo gerado.

Com base no exposto e face ao objetivo geral apresentado, a formulação da metodologia apresentada nesta tese considerou as seguintes diretrizes:

- a) Reprodutibilidade da metodologia, em regiões geográficas com diferentes características fisiográficas;

- b) Minimização de custos envolvidos, principalmente através da utilização de métodos de análise indiretos (sensoriamento remoto, por exemplo);
- c) Economia de tempo para os levantamentos e análises, em compatibilidade com as necessidades de conhecimento técnico-científico concernentes ao nível de abordagem considerado;
- d) Aplicação da metodologia como um instrumento para planejamento regional, considerando-se uma abordagem inicial em escala 1:100.000;
- e) Geração de um Sistema Gerenciador de Informações, que permita o armazenamento e a atualização de dados e informações, além da possibilidade de análises integradas, consultas e elaboração automática de cartas específicas voltadas à gestão de resíduos sólidos e ao planejamento e controle ambiental.

De forma a atingir o objetivo geral e considerando-se as diretrizes apresentadas, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- a) Identificar e levantar quais os principais parâmetros do meio físico que interferem na seleção de áreas para disposição final de resíduos sólidos, bem como verificar a forma como se inter-relacionam tais parâmetros, considerando-se uma avaliação na escala 1:100.000;
- b) Identificar e aplicar recursos de geoprocessamento e sensoriamento remoto para a análise e avaliação de áreas para disposição final de resíduos sólidos;
- c) Aplicar os procedimentos metodológicos e as técnicas automáticas de análise em área teste no Estado de São Paulo, que tenha diferentes conformações fisiográficas, de modo a avaliar a eficácia da metodologia proposta;

3. JUSTIFICATIVAS

A destinação final dos resíduos sólidos gerados nas áreas urbanas e industriais é um aspecto que vem demandando cada vez mais o envolvimento de diferentes setores da sociedade para o estabelecimento de um adequado ciclo produção-disposição final, tanto sob o ponto de vista técnico quanto político.

Evidentemente, as soluções políticas só podem se consolidar através do correto embasamento técnico, o qual, por sua vez, deve ser compatível com os objetivos de sua utilização e com as demais políticas ambientais específicas para cada região.

No que diz respeito aos resíduos sólidos domésticos, a tendência verificada nos países desenvolvidos é a de redução cada vez maior do volume de resíduos destinados a aterros sanitários, buscando-se soluções integradas para o setor, tais como: minimização e reaproveitamento na origem; coleta seletiva e reciclagem; compostagem; incineração; e disposição final dos resíduos últimos em aterros sanitários. Quanto aos resíduos sólidos industriais, a forma de solução mais comum para a sua disposição final é o aterro industrial, sendo atualmente utilizada de forma associada a vários tipos de tratamento, muitas vezes compondo uma estrutura conhecida como central de tratamento de resíduos sólidos.

No Brasil ainda há um longo caminho a ser percorrido para que sejam implantadas ações que de fato contemplem o entendimento sistêmico para os resíduos sólidos. Nossa realidade ainda é a da existência de “lixões”, onde se misturam resíduos domiciliares, industriais, de serviços de saúde, estando disseminados na maioria das regiões do país e em municípios de todos os portes. Em geral estes lixões são encontrados em locais totalmente inadequados, tais como margens de rios, interior de boçorocas, áreas de proteção de mananciais, entre outros, implicando num enorme potencial de degradação e contaminação ambiental. Tal fato evidencia a importância de estudos e ações voltados à correta disposição de resíduos, o que inclui a seleção de áreas mais adequadas para esta finalidade, em que sejam consideradas as fragilidades do meio físico.

No Estado de São Paulo, algumas ações têm sido realizadas, como forma de minimizar impactos ambientais determinados pela disposição inadequada de resíduos. A Secretaria de Estado de Meio Ambiente, a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) e o Ministério Público, por exemplo, instituíram a figura do Termo de Compromisso de Ajustamento de Conduta - TAC - (CETESB 1999A), para todos os municípios que apresentassem irregularidades na destinação final de resíduos sólidos, as quais seriam diagnosticadas pelo Inventário Estadual de Resíduos Sólidos. De forma resumida, os TACs objetivam impor às administrações municipais procedimentos para as usinas de compostagem, aterros

e lixões, visando sua regularização ou encerramento, com a implantação de uma nova solução de caráter definitivo. Em todos os casos, as ações propostas devem possibilitar a adequação técnica e ambiental das instalações e o conseqüente licenciamento ambiental. Apesar desse procedimento, ainda persiste o problema ambiental previamente instalado, ou seja, perdura a situação de degradação e contaminação de áreas pelo uso inadequado, se consideradas as fragilidades e aptidões do terreno. Destacam-se, também, os altos custos e as dificuldades tecnológicas envolvidos na recuperação ambiental dessas áreas degradadas.

Diante do exposto, verifica-se que a identificação de locais ambientalmente adequados para a instalação de “centrais de tratamento de resíduos”, bem como de aterros destinados ao recebimento de resíduos sólidos (domésticos, industriais e de serviços de saúde), constitui-se em uma demanda ambiental urgente. Essa demanda expressa-se em termos mundiais e envolve a minimização de riscos e impactos aos recursos ambientais e à saúde pública, assim como a minimização de riscos ao empreendimento receptor de resíduos sólidos.

Para a escolha de áreas favoráveis à disposição de resíduos sólidos entende-se como fundamental o desenvolvimento de metodologias que considerem a definição de etapas operacionais e de critérios específicos para o levantamento e a análise de todas as variáveis do meio físico e dos aspectos de uso e ocupação do solo envolvidos na implantação de um empreendimento deste tipo. Além disso, não pode ser esquecido que as avaliações devem atender determinadas exigências técnicas para garantir a viabilidade e a segurança do empreendimento. Neste processo todo é importante considerar o uso de métodos de análise indiretos, como o sensoriamento remoto, de forma a garantir a redução de tempo para os levantamentos e análises. Conseqüentemente, também são minimizados os recursos financeiros envolvidos.

Como a ocupação do espaço territorial é dinâmica e a sua interação com o empreendimento igualmente sofre modificações com o decorrer do tempo, considera-se desejável que essas metodologias sejam automatizadas, de maneira a permitir o controle ambiental da obra e do seu entorno, mesmo quando o empreendimento tiver sua vida útil finalizada. Assim, a automatização dos procedimentos e a informatização dos dados e informações poderão subsidiar, ainda, a recuperação e o controle de áreas já impactadas pela disposição

inadequada de resíduos sólidos.

É importante destacar que a partir da manipulação da base de dados no Sistema Gerenciador de Informações e uma adequada combinação ou cruzamento de informações é possível gerar diferentes modelos, produzir diversos mapas e realizar múltiplas análises. Fica também facilitada a tarefa de atualização, de monitoramento de processos no tempo e a possibilidade de ensaiar diversos cenários, mais otimistas ou pessimistas das suscetibilidades ou riscos. (DINIZ *ET AL.* 1999)

Pelo exposto, pode-se concluir que a definição de uma metodologia automatizada para a seleção de áreas para tratamento e disposição final de resíduos sólidos constitui um tema de pesquisa de grande importância para a gestão de resíduos sólidos.

PARTE II – CONCEITUAÇÃO GERAL

A estruturação e o desenvolvimento metodológico da presente tese foram fundamentados em aspectos conceituais e princípios relacionados aos seguintes temas: resíduos sólidos, cartografia geotécnica, sensoriamento remoto e geoprocessamento. Desta forma, para subsidiar o entendimento e a aplicação da estrutura metodológica e dos procedimentos propostos na tese são apresentados a seguir os aspectos relativos aos temas citados, considerando-se o objetivo de selecionar áreas para a disposição de resíduos sólidos em consonância com a gestão ambiental e o desenvolvimento sustentável de territórios.

1. RESÍDUOS SÓLIDOS

1.1. Resíduos sólidos: conceituação e classificações

Resíduo sólido pode ser definido como qualquer mistura de materiais ou restos destes, oriundos dos mais diversos tipos de atividades humanas, que são descartados por não apresentarem utilidade quanto ao uso previsto (PHILIPPI JR. 1999).

Nesta tese, face à particular preocupação com a poluição ambiental e com os riscos à saúde pública, são destacadas as classificações quanto à origem dos resíduos sólidos e quanto a sua periculosidade. A classificação dos resíduos sólidos quanto a sua origem (SMA 1998B) apresenta as seguintes categorias:

a) Resíduos urbanos: provenientes de residências, estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços de varrição e limpeza de vias, logradouros públicos e sistemas de drenagem urbana e entulhos da construção civil e similares;

b) Resíduos industriais: provenientes de atividades de pesquisa e de transformação de matérias-primas e substâncias orgânicas ou inorgânicas em novos produtos, por processos específicos, bem como os provenientes das atividades de mineração;

c) Resíduos de serviços de transporte: decorrentes da atividade de transporte de cargas e os provenientes de portos, aeroportos, terminais rodoviários e ferroviários, postos de fronteira e estruturas similares;

d) Resíduos de serviços de saúde: provenientes de atividades de natureza médico-assistencial, de centros de pesquisa e de desenvolvimento e experimentação na área de saúde, requerendo condições especiais quanto a acondicionamento, coleta, transporte e disposição final por apresentarem periculosidade real ou potencial à saúde humana, animal e ao meio ambiente;

e) Resíduos especiais: decorrentes do meio urbano e rural que, pelo seu volume ou por suas propriedades intrínsecas, exigem sistemas especiais para acondicionamento, armazenamento, coleta, transporte, tratamento e destinação final, de forma a evitar danos ao meio ambiente. Desta forma, são considerados especiais: resíduos de agrotóxicos e suas embalagens; pilhas e baterias; lâmpadas fluorescentes, de vapor de mercúrio, vapor de sódio e luz mista; embalagens de medicamentos e medicamentos com prazos de validade vencidos; pneus; óleos lubrificantes e assemelhados.

A classificação quanto à periculosidade, dada pela norma NBR 10.004 (ABNT 1987), considera os riscos potenciais que os resíduos sólidos oferecem ao meio ambiente e à saúde pública, classificando os resíduos da seguinte forma:

a) Classe I (resíduos perigosos). Possuem uma ou mais das seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade. Apresentam risco à saúde pública, provocando ou acentuando, de forma significativa, um aumento de mortalidade ou a incidência de doenças. Também apresentam risco ao meio ambiente quando o resíduo é manuseado ou destinado de forma inadequada. São exemplos de classe I os resíduos sólidos industriais perigosos.

b) Classe II (resíduos não-inertes). Podem ter características como

combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água, porém não se enquadram como resíduo classe I ou III. São exemplos de classe II os resíduos sólidos domésticos.

c) Classe III (resíduos inertes). Não têm nenhum dos seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água. Como exemplos desta classe podem ser citados: vidros, material cerâmico, certos plásticos e borrachas que não são decompostos prontamente.

1.2. Resíduos sólidos: aspectos ambientais e de saúde pública

O gerenciamento inadequado dos resíduos sólidos pode resultar em riscos indesejáveis às comunidades, constituindo-se ao mesmo tempo em fator de degradação ambiental e em problema de saúde pública. Assim, o entendimento dos mecanismos de degradação ambiental e as formas de preservação e recuperação do ambiente devem ser considerados, de forma a definir e identificar ações técnicas para a gestão dos resíduos. Do mesmo modo, o entendimento dos problemas diretamente ligados à saúde e possíveis soluções preventivas ou corretivas devem ser levados em conta. Portanto, a correta localização de áreas para disposição de resíduos sólidos deve ser norteadada pelos aspectos relacionados à preservação ambiental e à saúde pública, sem se esquecer, evidentemente, dos aspectos sociais, estéticos, econômicos e administrativos envolvidos na gestão dos resíduos.

1.2.1. Degradação ambiental

O problema da degradação de áreas tem sido uma preocupação crescente para a gestão de territórios, acarretando um crescimento na demanda científica sobre o tema. Um diagnóstico elaborado pelo CNPq sobre as necessidades prioritárias na sub-área de Geologia de Engenharia, destaca a elaboração de “*Metodologias para caracterização geológico-geotécnica de áreas degradadas e procedimentos tecnológicos para recuperação e remediação*” como uma das linhas de pesquisa prioritárias a serem apoiadas pelas agências de fomento à pesquisa

ZUQUETTE (1996). Outras linhas de pesquisa identificadas no mesmo trabalho, em íntima relação com a anteriormente citada, são: *“metodologias para avaliações geotécnicas voltadas ao planejamento ambiental e territorial”*; *“disposição de resíduos”*; *“desenvolvimento de bancos de dados geotécnicos de alta compatibilidade com Sistemas de Informações Geográficas”*.

O tema áreas degradadas tem sido objeto de estudos recentes no Brasil, conforme se observa nos trabalhos de POMPEIA (1996), JOSÉ (1997), BROLLO ET AL. (1998A), CETESB (1999B) e GÜNTHER (1999A). Esses autores abordam o assunto sob diferentes enfoques, tratando, respectivamente de: contaminação ambiental (solo, águas superficiais e subterrâneas, e comunidades biológicas); contaminação de aquíferos¹, de forma específica; áreas degradadas, considerando-se o meio físico; processos de alteração física e/ou química de compartimentos do meio ambiente; efeitos ambientais e toxicológicos da contaminação ambiental.

Com base nesses estudos pode-se considerar **áreas degradadas** como aquelas onde ocorrem problemas associados ao desenvolvimento de processos geodinâmicos, às atividades de mineração, à contaminação dos recursos hídricos, à disposição inadequada de resíduos e aos demais problemas de natureza geotécnica e geoambiental (BROLLO ET AL. 1998A), desestabilizando a dinâmica do meio ambiente. Fica evidente, portanto, que muitos destes problemas derivam de um uso do solo já instalado em uma região, o qual atua modificando as condições de potencialidades e fragilidades do meio físico, podendo gerar um impacto ambiental negativo, seja na forma de poluição (ambiental, visual, etc.), seja através da contaminação dos recursos naturais.

Muitas vezes os termos **poluição** e **contaminação** são utilizados como sinônimos, porém existe uma diferença em seu significado que deve ser elucidada. BRITO (1999) esclarece que *“a poluição é sujeira e a contaminação se traduz em doença, capaz de desencadear um processo epidemiológico”*.

Assim, um **poluente** é uma substância adicionada ao meio ambiente, causando uma alteração na composição geoquímica média (composição que uma

¹ **Aquífero:** formação geológica com suficiente permeabilidade e porosidade interconectada para armazenar e transmitir quantidades significativas de água sob gradientes hidráulicos naturais (CLEARY 1989).

determinada fase do meio ambiente teria sem a presença do homem). Um **contaminante** é, por sua vez, um poluente que pode alterar de maneira adversa algo de valor para o homem e está presente em teor suficientemente elevado para causar efeito adverso ao meio ambiente. AMERICAN CHEMICAL SOCIETY (1969), *in* HIRATA (1994).

Isto posto, no que diz respeito aos aspectos de contaminação ambiental, as principais causas de degradação de áreas estão intrinsecamente associadas à migração de contaminantes a partir de: vazamentos em dutos e tanques; falhas no processo industrial; problemas no tratamento de efluentes; disposição inadequada de resíduos sólidos e líquidos; acidentes no transporte de substâncias; problemas de impermeabilização em lagoas de estabilização e em aterros de resíduos industriais; atividades de mineração, devido ao manejo inadequado de materiais de rejeito, águas de lavagem e pátios de estocagem. (POMPÉIA 1996; JOSÉ 1997)

KOVALICK (1991), ANDRADE (1996) e GÜNTHER (1999A), dentre outros autores, ressaltam a seriedade da contaminação ambiental no que diz respeito aos seus efeitos ambientais e toxicológicos devido às elevadas concentrações de algumas substâncias, à possibilidade de bio-acumulação em organismos e à persistência no ambiente. Os riscos à saúde decorrem da exposição da população local aos contaminantes, seja por meio da propagação da contaminação ou quando áreas contaminadas são reutilizadas, notadamente quando o novo usuário não tem conhecimento de sua contaminação anterior.

As áreas de disposição de resíduos sólidos muitas vezes foram mal selecionadas, mal construídas ou mal operadas, havendo carência de propostas sobre a destinação a ser dada a elas quando de sua desativação (recuperação e/ou remediação). Há, ainda, muitos locais onde resíduos industriais e domésticos encontram-se misturados. Portanto, a contaminação dos recursos hídricos, superficiais e subterrâneos, torna-se patente, bem como o risco à saúde da população que reside nas circunvizinhanças destas áreas. Esta população pode sofrer com os efeitos adversos deste uso do solo, seja através dos impactos visuais, econômicos, ou mesmo à saúde.

Embora seja evidente a importância dos estudos de áreas degradadas, poucos trabalhos técnico-científicos têm tratado de forma sistemática o tema, particularmente quando considerada sua aplicação em planejamento territorial.

Conforme destacam BITAR & ORTEGA (1998), a maioria dos estudos relaciona-se à elaboração de Planos de Recuperação de Áreas Degradadas por empreendimentos minerários (PRADs). Os aspectos de degradação envolvidos em empreendimentos de disposição de resíduos, seja quanto à contaminação dos recursos naturais, seja quanto aos riscos de instabilização da obra como um todo (rupturas de taludes ou de filtros, vazamento de chorume, incêndios e explosões, recalques diferenciais, etc.) nem sempre são tratados e previstos em sua plenitude. Estes aspectos devem ser detalhadamente considerados para a vida útil do empreendimento, bem como para o período posterior, quando um novo uso será dado ao local.

Neste contexto, devem ser identificados indicadores² que permitam a análise adequada da degradação, de modo a otimizar os processos de recuperação/remediação da área afetada pelo problema. Para o caso de processos geodinâmicos e de contaminação do solo abaixo de depósitos de resíduos, BITAR ET AL. (1993) e HASSUDA (1997) sugerem uma série de indicadores, os quais podem ser amplamente usados para análise de áreas degradadas (Tabelas 1 e 2). Nos processos de recuperação de áreas contaminadas, por exemplo, POMPÉIA (1996) alerta que devem ser consideradas as inúmeras variáveis envolvidas, que vão desde a multiplicidade de produtos químicos e matérias-primas manipulados pelas indústrias, ou mesmo dispostos em aterros de resíduos ou similares, até as relacionadas às peculiaridades físicas e biológicas dos locais contaminados.

Em um programa de gestão ambiental, como forma de preservar e proteger a integridade ambiental do meio físico, BITAR (1996A) e HASSUDA (1997) propõem três linhas de atuação básicas: ***ação preventiva; ação corretiva; e ação de manutenção.***

A - No caso da ***ação preventiva***, são estabelecidas, para uma região de interesse, restrições ao uso do solo frente às diversas atividades contaminantes ou potencialmente contaminantes.

Inclui-se nessa linha de atuação a seleção de novas áreas para disposição de resíduos, com base em critérios técnico-científicos, de modo a evitar possíveis degradações ao meio ambiente e à vida humana.

² **Indicador:** elemento ou parâmetro que permite traduzir a alteração de um processo do meio físico, fornecendo uma medida da sua magnitude (BITAR ET AL. 1993).

Tabela 1. Indicadores de presença de processos geodinâmicos e parâmetros utilizados para definir sua magnitude.

PROCESSO DO MEIO FÍSICO	INDICADOR	PARÂMETROS
Erosão pela água	Feições erosivas (sulcos, ravinas, voçorocas)	- comprimento, largura e profundidade; - área afetada; - presença do nível d'água aflorante.
Escorregamentos	Feições de massa em movimentação	- comprimento e largura das trincas; - presença e altura de degraus; - inclinação; - grau de saturação; - profundidade do nível d'água.
	Feições de massa movimentadas	- geometria; - volume; - grau de saturação
Inundações	Dimensão da inundação	- área afetada; - altura da lâmina d'água na área afetada.

Fonte: BITAR ET AL. (1993).

Tabela 2. Indicadores de contaminação do solo abaixo de depósitos de resíduos.

TÓPICOS	TIPOS DE INFORMAÇÕES
Indicações no solo	- Erosão (pode favorecer o transporte de resíduos, ou mesmo do lixiviado, através do escoamento das águas superficiais). - Escoamento de chorume no solo. - Gases/vapores nas edificações vizinhas aos depósitos.
Eventos	- Recalque, desabamento. Indicam a presença de movimentação diferencial da massa de material (solo, rocha, resíduo, etc), que muitas vezes pode redundar em danos nas obras de engenharia, como rompimentos de drenos, mantas, selos e coberturas. Estes processos de movimentação de massa acabam acarretando aberturas de fraturas que podem ocasionar fluxos preferenciais das águas de percolação e/ou do lixiviado. - Danos à vegetação, animais e saúde humana (consequência da difusão de gases, transferência de lixiviados, dispersão de poeira e veiculação de doenças). - Explosão, incêndio.

Fonte: HASSUDA (1997).

B - A ação corretiva compreende a recuperação de locais contaminados ou degradados. A recuperação dessas áreas envolve atividades de identificação e caracterização dos impactos ambientais ocorridos e a execução das medidas necessárias à sua correção. Visa, essencialmente, a estabilidade do ambiente degradado e a definição de um novo uso do solo, por meio de um conjunto de medidas necessárias ao restabelecimento do equilíbrio ou à estabilização dos processos.

Também é comum o uso dos termos **reabilitação** e **remediação** de áreas, cada qual aplicado a diferentes conjunturas, respectivamente a áreas degradadas por atividade de mineração e a áreas contaminadas por disposição de resíduos.

Assim, o termo **reabilitação** é associado ao objetivo de atribuir ao local alterado um uso do solo de acordo com projeto prévio e em condições compatíveis com a ocupação circunvizinha. Já o termo **remediação** é utilizado para designar a estabilização química de uma área contaminada. Compreende o uso de métodos e técnicas de tratamento destinados a eliminar, neutralizar, imobilizar, confinar ou transformar substâncias contaminantes presentes em solos e/ou águas superficiais e subterrâneas. (BITAR & BRAGA 1995)

C - A ação de manutenção das medidas corretivas realizadas busca evitar a reativação dos processos e a eventual anulação dos trabalhos implementados.

Envolve o constante monitoramento da área recuperada, de forma a verificar a possível ocorrência de instabilizações ou impactos ambientais, bem como sua magnitude. No caso de depósitos de resíduos cujas atividades já foram encerradas deve haver o constante monitoramento da qualidade das águas superficiais e subterrâneas, bem como de deslocamentos no maciço.

Como qualquer efeito adverso sobre os recursos ambientais e a saúde pública provém de uma cadeia de eventos que se inicia na fonte de contaminação e termina no receptor (Figura 1), justificam-se antes de tudo as **ações preventivas**. Estas também são justificadas pelo aspecto econômico, uma vez que a prevenção implica em ações de planejamento, muito menos onerosas que na promoção de medidas corretivas. A descontaminação chega a ser 100 vezes mais custosa que a adoção de medidas preventivas, e mesmo assim a qualidade natural do recurso degradado pode nunca mais ser totalmente recuperado (IRITANI 1998).

Pode-se citar como exemplo, trabalho efetuado pela EPA (*Environmental Protection Agency*), agência ambiental dos Estados Unidos, no final da década de 70, em que foi realizado um levantamento de áreas contendo resíduos perigosos, identificando, naquele país, 20 mil aterros com produtos químicos potencialmente perigosos (SANEAMENTO AMBIENTAL 1996). O custo de descontaminação destas áreas foi avaliado, na época, em 100 bilhões de dólares.

Tendo-se em conta que substâncias nocivas ao meio ambiente e à saúde podem apresentar seus efeitos prejudiciais somente quando entram em contato com os recursos naturais, tem havido crescente interesse pelo desenvolvimento de estudos sobre o transporte de contaminantes nos solos, o que pode ser atestado em POJASEK (1982), HIRATA (1992), BARBOSA *ET AL.* (1995), MORAES & MARRA (1995), RITER *ET AL.* (1995 E 1999), TRESSOLDI (1995), BORMA *ET AL.* (1996), KLAMT (1998), CARVALHO *ET AL.* (1999), BOSCOV *ET AL.* (1999), GUSMÃO (1999), HEITZMANN JR (1999), LEITE & PARAGUASSU (1999), dentre muitos outros.

Figura 1. Trajeto de um contaminante desde a sua emissão até seu efeito à saúde (Fonte: ANDRADE 1996).

Além disso, uma importante linha de pesquisa vem se desenvolvendo na área de hidrogeologia aplicada, relativa à **vulnerabilidade natural de aquíferos à contaminação**. A vulnerabilidade de um aquífero é definida como a sua maior ou menor suscetibilidade em ser afetado por uma carga poluidora (FOSTER & HIRATA 1988). É considerado um conceito inverso ao da capacidade de assimilação de um corpo de água receptor, com a diferença de que o aquífero possui uma cobertura não saturada que proporciona uma proteção adicional.

A vulnerabilidade natural de aquíferos à contaminação é uma característica muito importante a ser estudada, uma vez que permite a identificação das áreas cujos aquíferos necessitam de maior proteção. A caracterização da vulnerabilidade de um aquífero pode ser expressa por meio da acessibilidade da zona saturada à penetração de poluentes, além da capacidade de atenuação, resultante da retenção físico-química ou de reação de poluentes. Estes fatores são resultado da combinação de atributos do meio físico, como: espessura de solo; tipo de solo; litologia; estruturas geológicas; declividade; profundidade do nível d'água.

Embora existam vários métodos para a determinação da vulnerabilidade de um aquífero, bem como sejam adotadas diferentes definições para o termo (Tabela 3), na essência a sua determinação implica em importante atividade de planejamento de uso do solo e dos recursos naturais. Isto corrobora a afirmação de HIRATA (1994), que considera com muita propriedade que *“adequar a atividade humana em função da capacidade de suporte do meio, ou seja, quanto ele pode atenuar cargas contaminantes, é fazer uma parceria com as características naturais do terreno para uma ocupação ambientalmente responsável”*.

1.2.2. Aspectos de saúde pública

Com relação à saúde pública, os resíduos sólidos urbanos ocupam importante papel na estrutura epidemiológica da sociedade. Os riscos à saúde podem se apresentar de duas formas: quando a propagação da contaminação atinge, por diferentes vias de exposição, a população localizada dentro de sua área de influência; ou quando a área contaminada é reutilizada, especialmente se o novo proprietário não tem conhecimento da contaminação anterior. (GÜNTHER 1999B)

Tabela 3. Conceitos de vulnerabilidade utilizados em alguns trabalhos recentes.

REFERÊNCIA	VULNERABILIDADE NATURAL, CONSIDERANDO APENAS AS PROPRIEDADES INTRÍNSECAS DO AQÜÍFERO	VULNERABILIDADE ESPECÍFICA, RELATIVA A UM CONTAMINANTE POTENCIAL
FOSTER & HIRATA (1991)	Vulnerabilidade do aquífero à poluição: “representa as características intrínsecas que determinam a sensibilidade das várias partes de um aquífero em ser negativamente afetado por uma carga contaminante imposta”.	Risco de contaminação da água subterrânea: “interação entre a vulnerabilidade natural de um aquífero e a carga contaminante que é, ou será, aplicada na subsuperfície como resultado da atividade humana”.
USEPA (1993)	Sensibilidade do aquífero: “facilidade relativa com que um contaminante aplicado sobre ou próximo da superfície do terreno pode migrar até atingir o aquífero de interesse”.	Vulnerabilidade da água subterrânea: “facilidade relativa com que um contaminante aplicado sobre ou próximo da superfície do terreno pode migrar até atingir o aquífero de interesse, dado um conjunto de práticas agronômicas, características do pesticida e condições de sensibilidade do aquífero”.
VRBA & ZAPOROZEC (1994)	Vulnerabilidade natural ou intrínseca: “propriedade intrínseca do sistema aquífero que depende da sensibilidade do sistema aos impactos humano e/ou natural” (função somente dos fatores hidrogeológicos).	Vulnerabilidade específica ou integrada: “inclui impacto humano potencial que pode afetar negativamente, em espaço e tempo, o uso atual e futuro dos recursos subterrâneos”.

Fonte: IRITANI (1998).

Os resíduos sólidos de origem orgânica, uma vez depositados a céu aberto sofrem decomposição, originando dois subprodutos: gases e chorume. Os gases gerados apresentam odor desagradável característico (gás sulfídrico, metano, mercaptanas, dentre outros) e podem ser inflamáveis (é o caso do metano, por exemplo), implicando em riscos de poluição do ar e de incêndio e explosões na massa de lixo. O chorume, por sua vez, em sendo um líquido altamente poluente, constitui elemento de risco de contaminação de recursos hídricos, seja pelo escoamento através da massa de resíduos, seja pela infiltração no solo.

Do ponto de vista sanitário, os resíduos sólidos têm grande importância na transmissão de doenças pela ação de vetores, que encontram ali alimento e condições adequadas para sua proliferação. Podem ser citados como principais vetores de importância sanitária: ratos, baratas, moscas e mosquitos. Estes podem abrigar em seu corpo mais de cem espécies diferentes de agentes causadores de doenças (como vírus, bactérias e protozoários), podendo transmitir tifo, dengue, leptospirose, salmoneloses, peste bubônica, malária, filariose, dentre outras enfermidades.

A sobrevivência de **bactérias patogênicas** no solo varia de algumas horas a vários meses (Tabela 4), sendo diversos os fatores que influenciam as possibilidades destes microorganismos sobreviverem em subsuperfície. A presença de conteúdos expressivos de umidade e de matéria orgânica, associados a temperaturas frias, por exemplo, contribuem para uma maior expectativa de vida dos microorganismos. Ao contrário, constituem fatores adversos: ambientes extremamente ácidos ou básicos ($\text{pH} < 6,0$ ou $> 8,0$), presença de luz solar (ressecamento e raios ultravioleta) e microflora antagônica. Os **vírus**, por sua vez, são afetados pela presença de sais de cloro, altas temperaturas e pH, desagregação de grupos virais e algumas espécies químicas, como a amônia. Em águas residuais, a matéria orgânica em suspensão (associação vírus-sólido) beneficia a proteção de vírus.

Tabela 4. Sobrevivência de organismos patógenos no solo.

ORGANISMO	TEMPO DE VIDA NO SOLO
Coliformes	38 dias
<i>Streptococcus</i>	35 a 63 dias
<i>Streptococcus fecais</i>	26 a 77 dias
Salmonelas	15 a mais de 280 dias
<i>Salmonella thyphi</i>	1 a 120 dias
Bacilo da tuberculose	Mais de 180 dias
<i>Leptospira</i>	15 a 43 dias
Cisto da <i>Entamoeba histolytica</i>	6 a 8 dias
Enterovírus	8 a 175 dias
Ovo de <i>Ascaris lumbricoides</i>	Mais de 7 anos
<i>Brucella abortus</i>	148 dias

Fonte: FRANKBERGER JR. (1984), *in* HIRATA (1992).

Inúmeras pesquisas têm evidenciado que a propagação de microorganismos no solo está condicionada pelo fluxo dos líquidos percolantes. Os principais fatores que limitam o transporte através do solo de bactérias, ovos de lombrigas, cistos de protozoários são: infiltração, sedimentação e adsorção³. As pequenas taxas de

³ **Adsorção:** processo químico em que alguns contaminantes dissolvidos tendem a aderir às superfícies dos minerais. Como efeito direto ocorre a redução da concentração e/ou velocidade de migração (HIRATA 1992).

infiltração das águas residuais favorecem a retenção de microorganismos no solo, sendo dependentes da textura, estrutura, tipo de argila e de nutrientes presentes no solo. Baixas taxas de infiltração, carga intermitente de aplicação de líquidos contaminados, alto conteúdo de argila e matéria orgânica no solo e baixo pH favorecem o bloqueio à passagem destes microorganismos. (HIRATA 1992)

A utilização de terras contaminadas para cultivo e pecuária, por exemplo, apresenta riscos à saúde, pois os contaminantes podem ser absorvidos pelas plantas ou pelos animais, entrando na cadeia alimentar. A contaminação das áreas também pode produzir impactos ecológicos, como no caso dos metais que, além dos seus possíveis efeitos à saúde humana, podem causar impactos adversos a comunidades microbianas e fúngicas do solo. (GÜNTHER 1999B)

Também são conhecidos os efeitos psicossociais provocados em grupos de pessoas que habitam áreas vizinhas aos pontos de disposição final de resíduos sólidos. ELLIOT *ET AL.* (1993), *in* MACHADO & PRATA F^o (1999), chamam de “*estresse ambiental*” o processo pelo qual certos eventos ambientais ameaçam, prejudicam ou desafiam o bem-estar ou a existência de um organismo e pelo qual o organismo responde a essa ameaça.

Com base na análise apresentada acima, verifica-se a importância de se conhecer o terreno onde se vai depositar os resíduos, cujo processo de seleção deve passar por uma avaliação multicriteriosa. Conceitualmente, está embutida nesse processo a previsão das possibilidades de remediação dadas pelos mecanismos de liberação e transporte de contaminantes.

Por outro lado, é necessário que o poder público esteja disposto a dar soluções aos problemas já conhecidos e aos potenciais, estabelecendo políticas públicas claras sobre geração, coleta, tratamento e disposição final de resíduos sólidos, bem como sobre sanções para os casos de desrespeito à legislação. Estes aspectos serão tratados no capítulo que vem a seguir.

1.3. Gestão de resíduos sólidos

1.3.1. Generalidades

A destinação inadequada de resíduos em **lixões**⁴ traz como consequência a degradação ambiental com a contaminação dos recursos naturais (ar, solo e águas superficiais e subterrâneas). O poder público em geral vem adotando soluções imediatistas para o tratamento e a destinação final dos resíduos, quase sempre fundamentadas no simples descarte, predominando os depósitos a céu aberto que contribuem para a deterioração ambiental. Com a expansão das cidades os terrenos disponíveis para utilização como locais de depósito de lixo estão cada vez mais escassos e distantes, o que implica num aumento no custo do transporte e dos serviços como um todo. A dificuldade e os custos crescentes de se dispor o lixo urbano em **aterros sanitários**⁵ vêm estimulando o interesse em métodos alternativos de tratamento do lixo, tais como a incineração, a compostagem e a reciclagem. (CONSUMERS INTERNATIONAL 1998).

Com relação ao aspecto sanitário, deve-se ressaltar a importância dos resíduos sólidos provenientes dos estabelecimentos prestadores de serviços de saúde que, dada sua patogenicidade, devem ser segregados, acondicionados, coletados e tratados adequadamente. Quanto aos resíduos industriais, a legislação de controle da poluição vem estimulando o desenvolvimento de métodos de tratamento e disposição final, tais como: o armazenamento em poços profundos, em tanques ou *containers*; a incineração; a disposição em aterros industriais; a disposição em aterros específicos para resíduos perigosos; o tratamento *in situ*; a reciclagem, entre outros. Estes métodos são utilizados na medida das diferentes características apresentadas pelos resíduos e para todos eles há um potencial de

⁴ **Lixão:** forma inadequada de disposição final dos resíduos sólidos, caracterizada pela simples descarga sobre o solo, sem medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública (ABNT 1989, in JARDIM & WELLS 1995).

⁵ **Aterro sanitário:** processo utilizado para a disposição de resíduos sólidos no solo, fundamentado em critérios de engenharia e normas operacionais específicas, permitindo a confinação segura em termos de proteção ao meio ambiente e à saúde pública (ABNT 1979, in JARDIM & WELLS 1995).

contaminação dos recursos naturais, uma vez que sempre existe o risco de vazamento para o ambiente externo do que está armazenado.

De forma a evitar os problemas de degradação ambiental e de saúde pública provocados pelos resíduos sólidos é necessária a adoção de ações e modelos de gestão, que sejam adequados aos programas de gerenciamento destes resíduos. Avalia-se que os modelos de gestão de resíduos sólidos têm evoluído ao longo do tempo, de forma que, nos países desenvolvidos, DEMAJOROVIC (1996) identifica três fases, marcadas por objetivos distintos.

Na primeira fase, que prevaleceu até o início da década de 70, houve a priorização da disposição dos resíduos. Concentrada no final da cadeia produtiva, essa ação não considerava qualquer iniciativa que levasse à redução dos resíduos em outras etapas do processo produtivo. Como consequência houve o crescimento acelerado do volume final de resíduos a serem dispostos, proporcionalmente à expansão da produção e do consumo, bem como a eliminação, durante a década dos 60 e início da seguinte, na maioria dos países da Europa Ocidental, dos últimos lixões a céu aberto. A maior parte dos resíduos passou a ser encaminhada para aterros sanitários e incineradores.

Em 1975, na Europa, os países membros da OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico), publicaram as novas prioridades para a gestão de resíduos sólidos, assim ordenadas: redução da quantidade de resíduos sólidos gerados; reciclagem do material; incineração e reaproveitamento da energia resultante; disposição dos resíduos sólidos em aterros sanitários controlados. Delineia-se, assim, a segunda fase da evolução dos modelos de gestão de resíduos sólidos, em que a recuperação e reciclagem dos materiais são metas prioritárias na política de gestão de resíduos sólidos. Estabeleceram-se novas relações entre consumidores finais e produtores, e entre distribuidores e consumidores, para garantir pelo menos o reaproveitamento de parte dos resíduos.

A reciclagem, feita em etapas diferentes do processo produtivo, levou ao crescimento mais lento do consumo de recursos naturais e do volume de resíduos sólidos a ser disposto, devido ao reaproveitamento de uma parte dos mesmos que, durante a fase anterior, estaria destinada aos aterros sanitários e aos incineradores. As vantagens atribuídas ao reaproveitamento dos materiais (menor consumo de energia e redução da quantidade de resíduos sólidos gerados) deveriam ser

relativizadas, uma vez que o processo de reciclagem demanda quantidades consideráveis de matéria prima e energia, além de também produzir resíduos. A comunidade como um todo preocupa-se cada vez mais com a falta de uma política específica para tratamento de resíduos tóxicos e com expansão das exportações desses resíduos para disposição final em países em desenvolvimento.

O final da década de 80 marca o estabelecimento de novas prioridades em relação à gestão de resíduos sólidos, especialmente nos países desenvolvidos, estabelecendo-se a terceira fase na evolução dos modelos. Esta é marcada pela redução do volume de resíduos desde o início do processo produtivo e em todas as etapas da cadeia produtiva. Assim, antes de diminuir a produção de determinados bens, passa a ser prioritário impedir que sejam gerados. Ao invés de buscar a reciclagem, propõe-se a reutilização. Antes de depositar os produtos em aterros sanitários, deve-se reaproveitar a energia presente nos resíduos, por meio de incineradores, bem como tornar inertes os resíduos antes da disposição final. Outra mudança refere-se às alterações no processo de produção, tendo em vista o objetivo de utilizar a menor quantidade possível de energia e matérias-primas e de gerar quantidades ainda menores de resíduos.

Com base nas Tabelas 5 e 6 tem-se um panorama geral das formas de destinação dos resíduos sólidos e da sua composição em alguns países do mundo. Uma análise, mesmo que superficial destes dados, remete às diferentes políticas públicas empregadas para o setor, bem como permite concluir que os países mais desenvolvidos apresentam resíduos com menor percentual de matéria orgânica e maiores índices de materiais recicláveis, reflexo de hábitos e da quantidade de embalagens produzidas (PHILLIPI JR 1999).

Na América Latina, por exemplo, o histórico de ocupação e desenvolvimento tem em seu escopo um quadro de deterioração passada e presente dos recursos naturais da região. Isto pode explicar em parte as prioridades estabelecidas pelos governos, que têm colocado em primeiro plano as políticas de desenvolvimento e a luta contra o subdesenvolvimento e suas manifestações (DONAIRE 1995), o que compromete, em muitos casos, os recursos naturais e a qualidade do meio ambiente. Este quadro se estende também ao setor de resíduos sólidos, onde é recente a preocupação com a inserção dos aspectos ambientais na gestão integrada dos resíduos.

Tabela 5. Destinação dos resíduos sólidos em alguns países do mundo.

	TIPO DE DESTINAÇÃO (%)			
	INCINERAÇÃO	DISPOSIÇÃO EM ATERROS	USINAS DE COMPOSTAGEM	RECICLAGEM
Dinamarca	48	29	4	19
Holanda	35	45	5	15
Alemanha	34	46	2	16
França	42	45	10	9
Itália	16	74	7	3
Reino Unido	8	90	-	2
Noruega	22	67	4	7
Suécia	47	34	3	16
Suíça	59	12	7	22
Áustria	11	65	18	6
EUA	16	67	2	15
Japão	75	20	5	antes da incineração os materiais são reciclados
Brasil	0,1	76 – lixões a céu aberto 13 – aterros controlados 10 – aterros sanitários	0,9	?

Fonte: SMA (1998B).

Tabela 6. Composição dos resíduos sólidos urbanos (em % relativo ao peso) em alguns países do mundo.

	TIPO DE RESÍDUO						
	MATÉRIA ORGÂNICA	PAPEL / PAPELÃO	PLÁSTICO	METAL	VIDRO	TÊXTIL	OUTROS
Suécia	-	44,0	10,0	7,0	5,0	-	34,0
EUA	26,0	36,0	7,2	9,2	9,8	2,1	9,7
Japão	-	40,0	7,0	2,5	1,0	-	49,5
Índia	75,0	2,0	1,0	0,1	0,2	3,0	18,7
México	50,0	20,0	3,8	3,2	8,2	4,2	10,4
El Salvador	43,0	18,0	6,1	0,8	0,8	4,2	27,1
Peru	50,0	10,0	3,2	2,1	1,3	1,4	32,0
Argentina	53,2	20,3	8,2	3,9	8,1	5,5	0,8
Paraguai	56,6	10,2	4,2	1,3	3,5	1,2	23,0
Chile	49,3	18,8	10,3	2,3	1,6	4,3	13,4
Brasil	52,5	24,5	2,9	2,3	1,6	-	16,2

Fonte: modificado de ACURIO ET AL. (1998) e PHILLIPI JR (1999).

Os governos dos países da América Latina, uns mais tarde do que os outros, têm olhado com interesse este problema, buscando mecanismos de solução, que se tem centrado quase sempre nas opções técnicas de tratamento de resíduos sólidos (GIAIMO 1997). É neste campo que o projeto desenvolvido pela CEPAL (Comissão Econômica para América Latina e Caribe) e pela GTZ (Agência de Cooperação Técnica Alemã), *"Políticas para a gestão ambientalmente adequada dos resíduos sólidos urbanos e industriais"*, tem produzido um impacto na região, orientando os países a conceber políticas de gestão de resíduos que incluam integralmente o marco institucional, jurídico, tecnológico, a educação e o planejamento. Uma grande fragilidade, no entanto, consiste na escassa atenção que prestam os governos aos assuntos relacionados ao planejamento territorial e ao seu uso como instrumento válido da política de resíduos sólidos.

A maioria dos países latinos não tem políticas nacionais diretamente orientadas ao problema dos resíduos sólidos. Os poucos que vem tentando desenvolvê-los, como Brasil, México, Colômbia e Chile ainda devem vencer obstáculos, restrições e novos questionamentos. Embora não se tenha estabelecido formalmente políticas para reduzir a geração de resíduos sólidos, tem havido um considerável avanço no que diz respeito às políticas para recuperação, reuso e reciclagem de resíduos sólidos. Em todos os países a segregação informal é prática comum e freqüentemente é a única fonte de ingresso de grandes segmentos da população pobre e desempregada.

Os aspectos globais da gestão integrada de resíduos sólidos foram abordados de forma bastante interessante na Agenda 21 (SMA 1992), importante documento assinado por 170 países membros da ONU por ocasião da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Brasil em junho de 1992. Este documento constitui um marco importante de integração de idéias num nível mundial, buscando alcançar o desenvolvimento sustentável a médio e longo prazos. Nela são propostas as bases para ações em nível global, com objetivos, atividades, instrumentos e necessidades de recursos humanos e institucionais, integrando diversos temas, como modelo de desenvolvimento, padrões de consumo, saúde, saneamento básico, conscientização e educação, cidadania, legislação, parcerias e recursos financeiros.

O capítulo 21, seção II - *"Buscando soluções para o problema do lixo sólido"*

-, aponta algumas propostas para o equacionamento dos problemas dos resíduos sólidos, merecendo destaque as recomendações relativas a: *prevenção* (através da redução do volume de resíduos na fonte); *reutilização* (reaproveitamento direto sob a forma de um produto); *recuperação* (extração dos resíduos de substâncias úteis para usos determinados); *reciclagem* (reaproveitamento cíclico de matérias-primas de fácil purificação); *tratamento* (transformação dos resíduos por meio de tratamentos físicos, químicos e biológicos); *disposição final* (promoção de práticas de disposição final ambientalmente seguras); *recuperação de áreas degradadas* (identificação e reabilitação de áreas contaminadas por resíduos); *ampliação da cobertura dos serviços ligados aos resíduos* (incluindo o planejamento, desde a coleta até a disposição final).

Muitos dos aspectos abordados podem ser trazidos para a realidade brasileira que ocupa posição de relevo na América Latina. Este destaque encontra reflexo em ações advindas de iniciativas tomadas no âmbito do Estado de São Paulo, como será visto nos itens tratados a seguir.

1.3.2. A gestão de resíduos sólidos no Brasil

A produção de lixo nas cidades brasileiras é um fenômeno inevitável que ocorre diariamente em quantidades e composição que dependem do tamanho da população e do seu desenvolvimento econômico. Os sistemas de limpeza urbana, de competência municipal, devem afastar o lixo das populações e dar um destino ambiental e sanitariamente adequado ao mesmo.

MACHADO & PRATA F^o (1999) se remetem às Diretrizes Nacionais de Limpeza Urbana (documento publicado em 1982 pela Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental), apresentando uma análise do panorama sobre a gestão de resíduos sólidos no Brasil similar à apresentada por JARDIM & WELLS (1995). MACHADO & PRATA F^o (*OP CIT.*) observam a pouca atuação das autoridades, além do desconhecimento de soluções técnicas para solucionar os problemas decorrentes do contínuo crescimento do volume de resíduos sólidos gerados pela população, em especial nos centros urbanos. Também é lembrada a escassez de recursos das municipalidades, o que tem dificultado a implantação de serviços de limpeza urbana e coleta de lixo domiciliar eficientes e, no que se refere à

destinação dos resíduos, não recebendo apoio financeiro e tecnológico, houve disseminação da prática de lançamento indiscriminado no solo e em corpos hídricos.

No citado documento - Diretrizes Nacionais de Limpeza Urbana - foram estudados 223 municípios, envolvendo as seguintes categorias: componentes de região metropolitana, aglomerações urbanas, cidades de porte médio, centros de apoio e cidades com população superior a 50.000 habitantes na sede, não incluídas nas classificações anteriores. O diagnóstico indicava que a totalidade dos municípios apresentava sistema de limpeza urbana, alguns apresentavam carência de mão de obra, e na maioria havia excesso de equipamentos de coleta de lixo, não aproveitados em sua plenitude. Destacou-se a necessidade de ações de difusão de informações tecnológicas e treinamento, que envolvessem técnicos, profissionais de nível médio e operacional. Já naquela ocasião, 1982, dentre os componentes de um sistema de limpeza urbana, a etapa que apresentava maiores problemas era a destinação dos resíduos coletados. A organização dos serviços, que abrangia cerca de 90% dos municípios, estava a cargo de um órgão da administração direta municipal, ao passo que em cerca de 7% dos municípios estava organizada na forma de empresa pública, em especial em algumas grandes cidades.

O Relatório sobre o Desenvolvimento Humano no Brasil, publicado em 1996 pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD 1996, *in* MACHADO & PRATA F^o 1999) mostra que a expansão da coleta de lixo foi significativa durante a década de 80, embora 273 municípios não possuíssem este serviço e 309 dispusessem de um serviço irregular. Apesar dos avanços do sistema, nas faixas sociais de renda mais baixa tem-se verificado menor acesso ao serviço. Indicadores nacionais mostram que: 78% da população urbana tinham, na época do estudo, acesso ao serviço de coleta de lixo; em 1989, 50% dos resíduos coletados foram depositados em vazadouros a céu aberto, ou áreas alagadas, sem qualquer cuidado para evitar a contaminação; os 50% restantes receberam algum tipo de tratamento, dos quais 22% foram encaminhados a aterros controlados e 23% a aterros sanitários. Uma pequena parcela dos resíduos passa por compostagem ou reciclagem. Se for considerada a soma dos resíduos dispostos em aterro controlado e em vazadouros a céu aberto, verifica-se que 72% do lixo coletado são dispostos sem controle sanitário e ambiental.

A Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, realizada em 1991 (IBGE 1991, *in* SMA 1998B), apresentou como um dos resultados uma geração nacional diária de 241 mil toneladas de lixo, dos quais 130 mil eram resíduos sólidos domiciliares e os restantes 111 mil consistiam em resíduos sólidos industriais, de serviços de saúde, comerciais e públicos. Deste total, 76% eram dispostos a céu aberto e apenas 24% recebiam tratamento adequado (dos quais 13% iam para aterros controlados, 10% para aterros sanitários, 0,9% para usinas de compostagem e 0,1% para usinas de incineração).

No que tange aos aspectos de políticas setoriais, as recomendações apresentadas pela Agenda 21 têm sido encampadas ao longo do tempo pela legislação brasileira, embora de forma ainda bastante precária, e por vezes impraticável, dada a falta de instrumentos adequados ou de recursos que viabilizem sua implementação. No nível federal, dentre inúmeras iniciativas para a organização de procedimentos visando à proteção ao meio ambiente e ao desenvolvimento sustentável, tendo uma relação direta com a adequada gestão de resíduos sólidos, podem ser destacadas: a instituição da POLÍTICA NACIONAL DE SANEAMENTO, em 1967 (Lei Federal nº 5318); a instituição da POLÍTICA NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, em 1981 (Lei Federal nº 6938); a instituição da POLÍTICA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS, em 1997 (Lei Federal nº 9.433); a instituição da Lei de Crimes Ambientais, em 1998 (Lei Federal nº 9.605); a proposição da POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS, ainda em tramitação.

Por ter promovido uma mudança de paradigma no contexto ambiental brasileiro, merece destaque a Lei Federal nº 6938, de agosto de 1981, que estabelece a POLÍTICA NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação. Através da mesma é constituído o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), é criado o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e é instituído o Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental.

Também apresenta grande importância no contexto de gestão ambiental a Resolução CONAMA nº 01, de 1986, através da qual torna obrigatória a apresentação de Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e de Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), perante o órgão ambiental, para o licenciamento prévio de empreendimentos potencialmente modificadores do meio ambiente, dentre os quais

se enquadram os projetos de aterros sanitários, centrais de tratamento de resíduos, plantas industriais, entre outros.

Destaque deve ser dado à **POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS**, embora ainda constitua uma proposta de resolução do CONAMA. Deverá ser norteada pelos princípios básicos de minimização da geração, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final seguindo esta ordem de prioridade. Para tanto, são definidas como diretrizes: o desenvolvimento de tecnologias limpas, alterações nos padrões de consumo e aperfeiçoamento da legislação. No que diz respeito aos resíduos sólidos urbanos, os municípios ficam obrigados a elaborar um *Plano de Gerenciamento de Resíduos Urbanos* que deverá ser aprovado pelo órgão ambiental competente. Além disso, deverão ser concedidos incentivos fiscais e financeiros às instituições que promovam a reutilização e a reciclagem de resíduos, que estimulem a implantação de empreendimentos de coleta, triagem, e reciclagem, além de dar prioridade no recebimento de recursos aos municípios que se integrem ao *Programa Nacional de Reciclagem de Resíduos Sólidos*.

É importante citar, também, a instituição, em 1995, através da Portaria Normativa IBAMA nº 45, da Rede Brasileira de Manejo Ambiental de Resíduos (REBRAMAR), como forma de facilitar o intercâmbio, difusão e acesso dos seus membros aos conhecimentos e experiências que dizem respeito ao manejo ambiental de resíduos. Esta Rede integra a REPAMAR (Rede Pan-Americana de Manejo Ambiental de Resíduos) e pode ser destacado como um de seus principais objetivos a promoção e o desenvolvimento de programas entre os agentes que geram resíduos, aqueles que os controlam e a comunidade.

Outro importante instrumento de gestão ambiental consiste na LEI DE CRIMES AMBIENTAIS (Lei Federal nº 9605), instituída em 1998, que prevê severas punições aos responsáveis por danos ambientais, como aqueles causados pela destinação final de resíduos sólidos a céu aberto.

1.3.3. A gestão de resíduos sólidos no Estado de São Paulo

No âmbito do Estado de São Paulo, o panorama legal apresenta características próprias, em que podem ser destacadas algumas iniciativas, que

perpassam pelo setor de gestão de resíduos sólidos: a instituição da POLÍTICA ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS, em 1991 (Lei Estadual nº 7663); a instituição da POLÍTICA ESTADUAL DE SANEAMENTO, em 1992 (Lei Estadual nº 7750); a proposição da POLÍTICA ESTADUAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS.

Tem sido um desafio crucial dos setores técnicos a integração das diversas áreas do governo e a inserção da dimensão ambiental nas políticas setoriais. Os esforços nessa direção têm produzido resultados muito positivos no Estado de São Paulo, em especial no campo da gestão de recursos hídricos e na promoção do saneamento ambiental, através da instituição das políticas estaduais que tratam estes temas. A POLÍTICA ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS tem como objetivo assegurar que a água, recurso natural essencial à vida, ao desenvolvimento econômico e ao bem-estar social, possa ser controlada e utilizada, em padrões de qualidade satisfatórios, por seus usuários atuais e pelas gerações futuras, em todo o território do Estado de São Paulo. Por sua vez, a POLÍTICA ESTADUAL DE SANEAMENTO objetiva assegurar os benefícios da salubridade ambiental para toda a população, através da integração de recursos institucionais, tecnológicos, econômico-financeiros e administrativos.

Também no campo específico da gestão dos resíduos sólidos há resultados importantes a serem destacados, como a proposição da **POLÍTICA ESTADUAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS**. Embora ainda se encontre em tramitação no âmbito da Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo o Anteprojeto de Lei que institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos, vem sendo adotado como instrumento de planejamento desde 1998, quando de sua publicação como Resolução da Secretaria de Estado de Meio Ambiente. A instituição desta política está centrada na necessidade de se investir em novas tecnologias que propiciem a redução da geração de resíduos, sustentada na reutilização, reciclagem e disposição final. Com esta política insere-se definitivamente, na agenda estadual a busca pela sustentabilidade do consumo, através de uma reorientação dos atuais padrões de produção e consumo.

Nesta política, há um enfoque especial na promoção de um modelo de gestão dos resíduos que incentive a cooperação entre os municípios em busca de soluções, através de planos regionais de ação integrada, sendo consideradas as peculiaridades regionais e através de uma articulação com as Políticas Estaduais

de Saneamento, de Recursos Hídricos, de Proteção e Recuperação dos Mananciais, e de Transporte Sustentado, com vistas à melhoria da qualidade de vida dos cidadãos.

Apesar de se encontrar em processo de tramitação, alguns instrumentos desta política já vêm sendo implantados, como os sintetizados a seguir.

A - Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares

A CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental) realizou levantamento inédito no país, inovando pela metodologia e pela abrangência dos aspectos analisados, tendo diagnosticado toda a situação da disposição final e do tratamento dos resíduos sólidos domiciliares. Para a execução deste trabalho foram adotados dois índices, que permitem um monitoramento contínuo de todo o Estado (CETESB 1999A): o **IQR** (Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos) e o **IQC** (Índice de Qualidade de Compostagem). Através destes índices pode ser obtido continuamente o retrato de cada município (sua evolução, suas dificuldades, sucessos e fracassos), permitindo o acompanhamento sobre como estão sendo encaminhadas as soluções para a destinação final dos resíduos sólidos.

Este diagnóstico foi elaborado no período de setembro de 1997 a janeiro de 1998, nos 645 municípios do Estado, revelando uma preocupante situação do ponto de vista ambiental (CETESB *OP CIT*): do total de municípios, apenas 4,2% dispõem seus resíduos domiciliares em sistemas adequados (aterros sanitários); 18% o fazem em sistemas controlados (aterros controlados⁶). Restam 77,8% do total dos municípios, que apresentam sistemas inadequados (como a disposição em lixões), que não atendem às exigências mínimas em termos de localização, infra-estrutura e operação, implicando em risco potencial e imediato ao meio ambiente e à saúde pública.

A grande quantidade de resíduos sólidos gerados no Estado (18.232 toneladas/dia, em 1998) espera por soluções técnicas e institucionais adequadas,

⁶ **Aterro controlado:** técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo que se utiliza de alguns poucos princípios de engenharia para confinar os resíduos, cobrindo-os com uma camada de material inerte na conclusão de cada jornada de trabalho (ABNT 1985, in JARDIM & WELLS 1995).

calçadas nas realidades regionais (SMA 1998A). Os serviços de limpeza urbana, assim como o tratamento e a destinação final dos resíduos sólidos, são de responsabilidade de cada município. Entretanto, a realidade mostra que muitas das soluções passam pela parceria entre municípios (através de consórcios intermunicipais, como sugerem LIMA & LEITE 1993), de forma a resolver o problema de forma integrada, podendo assim otimizar os recursos disponíveis e a melhoria da qualidade ambiental.

B - Planos Diretores de Resíduos Sólidos

Em algumas regiões do Estado tem havido um processo de metropolização com conseqüências previsíveis quanto ao adensamento populacional e ao uso de recursos naturais. Destaca-se a escassez de áreas tecnicamente adequadas para a implantação de instalações de destinação final de resíduos sólidos.

Desta forma, a CETESB, visando à resolução deste problema, identificou algumas regiões prioritárias para o desenvolvimento de Planos Diretores de Resíduos Sólidos. Os objetivos destes planos consistem em empreender ações concatenadas, contemplando o horizonte de destinação dos resíduos sólidos até o ano de 2015, que possibilitem: o conhecimento aprofundado da situação; a organização de dados já disponíveis; a proposição de soluções que integrem os municípios envolvidos. Assim, foram selecionadas as seguintes áreas para o início das ações:

- a)** Região Metropolitana de São Paulo (composta por 39 municípios);
- b)** Região Metropolitana da Baixada Santista (composta por 9 municípios);
- c)** Municípios do Litoral Norte do Estado (Ubatuba, Caraguatatuba, Ilhabela e São Sebastião);
- d)** Municípios paulistas localizados no entorno da Rodovia Fernão Dias (Atibaia, Bom Jesus dos Perdões, Bragança Paulista, Joanópolis, Mairiporã, Nazaré Paulista, Pedra Bela, Pinhalzinho, Piracaia, Tuiuti e Vargem).

Estes planos diretores foram estruturados para serem desenvolvidos e apresentados em três etapas básicas (ORTH 1999):

1ª etapa: elaboração de plano inicial com o objetivo de elencar e propor alternativas de modelos técnicos economicamente viáveis, consideradas as opções técnicas e locacionais disponíveis.

2ª etapa: consolidação dos resultados de discussões e reuniões técnicas com as administrações municipais, com a sociedade organizada e demais atores envolvidos com as questões ambientais.

3ª etapa: as propostas anteriormente consolidadas serão submetidas a estudos de viabilidade ambiental, estruturados à semelhança dos Estudos de Impacto Ambiental (EIA).

Das quatro regiões selecionadas para os estudos, já se encontram finalizados os Planos Diretores para as Regiões Metropolitanas de São Paulo e da Baixada Santista.

C - Inventário de resíduos sólidos industriais.

Outro problema atual bastante preocupante diz respeito aos resíduos sólidos industriais, seja pela quantidade de resíduos gerada, seja pela destinação que recebem, não havendo dúvida de que possam estar gerando problemas de contaminação do solo e da água subterrânea, apresentando sérios riscos à saúde pública e ao meio ambiente.

A Tabela 7 sintetiza o inventário elaborado pela CETESB em 1997 e mostra que apesar de boa parte do total de resíduos sólidos industriais classe I (54%) sofrer tratamento, apenas 16% são destinados à disposição em aterros, contrastando com os 30% que continuam estocados, aguardando uma solução tecnológica ou institucional. Dos resíduos dispostos em aterros, apenas 5% são destinados a aterros industriais. Os restantes 95% recebem como destino final infiltração no solo, disposição em aterro municipal, em lixão municipal, lixão particular, ou lançamento em esgotos, dentre outras formas.

Tabela 7. Geração anual de resíduos sólidos industriais no Estado de São Paulo.

TIPO DE RESÍDUO	VOLUME GERADO POR ANO		VOLUME DISPOSTO EM ATERROS (MIL TONELADAS)	VOLUME ESTOCADO (MIL TONELADAS)	VOLUME TRATADO (MIL TONELADAS)
	(mil toneladas)	%			
Classe I	535,6	2,01	84,2	164,5	286,9
Classe II	25.038,2	94,06	15.650,8	571,3	8.816,1
Classe III	1.045,9	3,93	589,4	104,0	352,5
Total	26.619,7	100,00	16.324,4	839,8	9.455,5
%	100,0		61,3	3,15	35,5

Fonte: modificado de CETESB (1997).

D - Levantamento das áreas contaminadas na Região Metropolitana de São Paulo.

Em meados da década de 90, a CETESB, em parceria com a GTZ, efetuou um levantamento das áreas contaminadas na Região Metropolitana de São Paulo, através do projeto “*Recuperação do Solo e das Águas Subterrâneas em Áreas de Disposição de Resíduos Industriais*”. A pesquisa chegou ao impressionante resultado de 2.300 áreas potencialmente contaminadas por resíduos industriais provenientes de atividades que foram ou estão sendo desenvolvidas, 800 das quais em indústrias já desativadas (SMA 1997). O mesmo projeto identificou 116 lixões, onde foram depositados resíduos sólidos domiciliares e industriais sem controle.

Por meio desta parceria foi elaborado um Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas (CETESB 1999B), visando fornecer conceitos, informações e metodologias que subsidiem as ações de órgãos públicos e empresas no que tange às soluções para os problemas advindos das contaminações.

1.4. A seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos

A análise dos aspectos levantados nos itens anteriores mostra que existe uma enorme demanda em gestão ambiental voltada para o setor de resíduos sólidos. Os exemplos apresentados, relativos aos instrumentos da Política de

Resíduos Sólidos do Estado de São Paulo em andamento, também revelam um vasto horizonte a ser ampliado, calcado no planejamento ambiental e no desenvolvimento de estudos e pesquisas voltados ao conhecimento das características dos terrenos, em especial de suas fragilidades. Tais estudos são de fundamental importância quando inseridos na identificação e seleção de terrenos adequados à disposição de resíduos sólidos.

A escolha de locais para disposição de resíduos sólidos é um longo processo que envolve numerosas considerações sobre aspectos sociais, econômicos, políticos e ambientais e que deve ter por premissas o menor risco à saúde humana e o menor impacto ambiental possíveis. De primordial importância é a identificação do potencial de degradação dos recursos naturais a partir da disposição dos resíduos sólidos, incluindo a contaminação de aquíferos. O potencial de tal contaminação é reduzido quando as condições naturais do terreno restringem a migração superficial e subsuperficial de contaminantes. Também devem ser levadas em conta as possibilidades de interação entre o terreno e o empreendimento de disposição de resíduos no que diz respeito, por exemplo, à destruição do mesmo devido a processos geodinâmicos, acarretando extensa degradação das áreas do entorno. Além disso, não se pode prever se uma estrutura ou obra de contenção de resíduos construída pela engenharia resistirá aos riscos ambientais de intemperismo e degradação normais dos resíduos por um longo período de tempo.

É consenso entre o meio técnico que para a disposição de resíduos em aterros sanitários devem ser cumpridos alguns requisitos, de forma a criar várias barreiras independentes, capazes de prevenir permanentemente a liberação e propagação de substâncias nocivas. Assim, além de haver uma adequada escolha do local, deve haver limitação na concentração de substâncias nocivas, além de ser recomendada a aplicação de técnicas para pré-tratamento e disposição dos resíduos, bem como para a impermeabilização da base do aterro e coleta de líquidos percolados. O terreno deve não apenas constituir uma fundação estável para o aterro, como ter uma função de impermeabilização. No caso de ruptura das barreiras técnicas, cumpriria uma função retentora para os percolados e suas substâncias nocivas.

LANGER (1995), considera que um terreno é adequado para a disposição de

resíduos sólidos quando promove a proteção da água subterrânea contra a contaminação por percolados. Para tanto, deve apresentar as seguintes características: baixo fluxo de água subterrânea nos arredores da área de disposição; baixa permeabilidade; grande espessura e homogeneidade do material geológico; grande extensão do corpo geológico; alta capacidade de retenção (adsorção) de compostos; baixa solubilidade química; baixa erodibilidade do substrato. O citado autor ressalva que, mesmo que o terreno onde venha a se instalar o aterro de resíduos tenha parâmetros geológico-geotécnicos e geométricos favoráveis, deve-se evitar: áreas de proteção de águas subterrâneas, áreas de drenagem de reservatórios de água e áreas de proteção de água mineral; áreas com mineração ativa ou abandonada e uma “zona de segurança” ao seu redor; áreas com potencialidade em recursos minerais; áreas de recarga de aquíferos. Também devem ser evitadas, por razões não geológicas: áreas densamente povoadas e áreas reservadas a loteamentos; estradas de rodagem e estradas de ferro; áreas com intensiva pecuária de gado leiteiro; aeroportos e uma zona de segurança ao seu redor; reservas naturais.

Embora as recomendações acima citadas sejam as mais adequadas, deve-se levar em conta que sua incorporação no processo de seleção de áreas é gradativo, vinculado à escala e ao estágio da análise. Estes aspectos são amplamente considerados na proposta metodológica apresentada nesta tese. Além disso, entende-se que a cartografia geotécnica constitui uma interessante ferramenta para se otimizar as análises voltadas à seleção de áreas para disposição de resíduos.

2. CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA

Conforme já discutido nos itens anteriores, o conhecimento do meio físico⁷ assume um relevante papel quando se pretende realizar o planejamento de ações

⁷ **Meio físico:** porção do meio ambiente definido pelas relações entre materiais terrestres de composição predominantemente abiótica (rocha, relevo, solo/materiais inconsolidados, águas superficiais e subterrâneas, clima) com tipos naturais de energia (gravitacional, solar, energia interna da Terra, etc.), incluindo as modificações decorrentes da ação biológica e humana (tipos de ocupação, condições sócio-econômicas). (ZUQUETTE 1993; BITAR 1996B).

voltadas à proteção e preservação do meio ambiente e da saúde pública. Existem diversos procedimentos e metodologias para que as informações sobre o meio físico sejam utilizadas da melhor forma, em especial quando se fala em planejamento do setor de resíduos sólidos e em seleção de áreas para disposição destes resíduos.

Por meio destes procedimentos, os componentes do meio físico podem ser caracterizados, classificados e utilizados para os mais diversos fins, dentre os quais aqueles relativos à Geologia de Engenharia. Este ramo das Geociências tem importante contribuição no conhecimento do meio físico, na medida em que busca, dentre outros aspectos, a compreensão da dinâmica dos processos geodinâmicos e de sua inter-relação com as atividades humanas. Através deste conhecimento é possível a elaboração de diagnósticos em diversas escalas (desde locais até regionais), com base nos quais se efetua a fundamentação do equacionamento planejado de medidas preventivas e corretivas, visando à adequação da ocupação aos condicionantes ambientais (FORNASARI F^o & BRAGA 1996). Normalmente as informações e diagnósticos nesta área são estruturados na forma de cartografia geotécnica.

A cartografia geotécnica consiste no conjunto de procedimentos necessários à obtenção, análise e apresentação das informações geoambientais de caráter geológico-geotécnico, constituindo uma importante ferramenta para subsidiar técnica e operacionalmente os diferentes instrumentos e atividades de gestão ambiental. Envolve um grande volume de dados, com necessidade de cruzar níveis de informações variados, com atributos diferenciados, muitas vezes com critérios rígidos de precisão envolvidos. (ZUQUETTE 1993; SALAZAR JR 1998; VEDOVELLO *ET AL.* 1999; VEDOVELLO 2000)

A cartografia geotécnica tradicional vem sofrendo importantes mudanças nos últimos anos no que diz respeito à abrangência de sua utilização e ao caráter de síntese de seus resultados. CENDRERO (1990, *in* GRECCHI & PEJON 1998) considera que estas mudanças constituem um enriquecimento, já que a cartografia passa, de uma abordagem essencialmente geotécnica, a incorporar informações sobre riscos naturais, erosão, contaminação de águas subterrâneas, além da preocupação com a exaustão ou sub-aproveitamento de recursos minerais, com áreas adequadas para disposição de resíduos, etc. Esta ampliação tem o pleno

potencial de atingir os usuários dos trabalhos em atividades e processos de planejamento ambiental.

Consiste, portanto, num processo contínuo que busca avaliar e retratar as características dos componentes do meio físico e o comportamento dos terrenos frente a diferentes formas de ocupação. Assim, os resultados obtidos dependem da metodologia adotada para o desenvolvimento do trabalho. Neste contexto, ZUQUETTE (1993) destaca que *“uma metodologia é um conjunto de conceitos, postulados técnicos, métodos, classificações, recursos tecnológicos de investigação e computacionais utilizados para desenvolver um estudo”*. O mesmo autor recomenda a máxima simplicidade possível na elaboração de uma cartografia geotécnica, o que se consegue através das seguintes condições:

- a) Limitação no número de atributos considerados em cada documento, de maneira a resguardar a fidelidade do mapa;
- b) Respeito à finalidade desejada;
- c) O mapa geotécnico é um documento temporário, estando, portanto, suscetível de enriquecimento por outras informações, periodicamente;
- d) Um mapa geotécnico nunca deve substituir o reconhecimento local, uma vez que consiste num documento auxiliar ou indicativo para a tomada de decisões;
- e) Sempre que possível, os dados devem ser levantados a partir de trabalhos pré-existentes, complementados com investigações de campo e ensaios laboratoriais simples ou alternativos;
- f) Na medida em que uma carta geotécnica não substitui a investigação local, o técnico mapeador deve: reportar-se aos materiais inconsistentes, examinando se os dados são pontuais e se as extrapolações são válidas; avaliar quais serão os usuários e as limitações do estudo, bem como a precisão dos resultados obtidos.

A determinação cartográfica de unidades geotécnicas define o que se entende por **zoneamento geotécnico**, o qual varia conforme os aspectos relacionados à metodologia utilizada, à escala de trabalho e aos objetivos da aplicação.

Como forma de buscar os resultados necessários às avaliações ambientais têm sido desenvolvidas e aperfeiçoadas diferentes abordagens para a análise do meio físico, dentre as quais podem ser citadas: ***abordagem paramétrica e abordagem fisiográfica***. Diversos autores têm centrado suas pesquisas neste tema (MABBUT 1968; GRANT 1975; ZUQUETTE 1987 e 1993; PIRES NETO 1991 e 1994; SOUZA 1992; VEDOVELLO 1993 e 2000; FARIAS 1994; ROSS 1995; LOLLO 1996; MACIEL Fº 1998; VEDOVELLO & MATTOS 1998) e é pela análise de seus trabalhos que se pode sintetizar o conteúdo destas abordagens.

A ***abordagem paramétrica, ou multi-temática***, caracteriza-se por ser inicialmente analítica e, posteriormente, de síntese. Neste tipo de análise são elaborados produtos cartográficos de diferentes temas os quais são cruzados diretamente ou em associações específicas, sucessivamente, por vezes com atribuições de pesos, até se chegar a um mapa de síntese final. A multiplicidade de produtos cartográficos e, em consequência, de concepções teóricas, metodológicas e técnico-operacionais típicas de cada tema cartografado (geologia, geomorfologia, pedologia, etc) acarreta a perda da visão de integração entre os diferentes temas. Além disso, devido ao cruzamento de mapas para se chegar ao mapa de síntese final, a determinação de unidades geotécnicas reflete limites abstratos no espaço, dificultando a sua visualização e o seu entendimento por planejadores e gestores ambientais.

A ***abordagem fisiográfica, ou de paisagem***, tem natureza analítico-sintética e caráter de análise integrada. O referencial de análise são os padrões de fisionomia do terreno, obtidos com base num conjunto de observações foto-interpretativas e de campo, que permitem identificar diferentes unidades de terreno, com características similares ou que apresentem um grau de heterogeneidade mínimo. Considera a elaboração de um produto cartográfico único, onde os elementos ambientais (relevo, solo, geologia, vegetação, uso do solo) são analisados integradamente e individualizados em unidades únicas que refletem limites concretos no espaço, facilitando ações de planejamento territorial.

Feitas as devidas comparações, VEDOVELLO (1993 e 2000) e VEDOVELLO & MATTOS (1998) concluem haver vantagens na utilização da ***abordagem fisiográfica*** sobre a paramétrica em termos de custos, de tempo, e de aplicabilidade. Os benefícios desta abordagem podem ser atestados, por exemplo,

através de IG-SMA (1996 e 1999) e SOUZA (2000), trabalhos que tiveram a participação da autora desta tese, o que contribuiu para que se adotasse esta abordagem na proposta metodológica motivadora do presente trabalho.

As metodologias que utilizam técnicas de compartimentação de terrenos são consideradas pela autora as mais favoráveis aos objetivos de uma cartografia geotécnica, uma vez que refletem limites efetivamente existentes dos diferentes elementos que constituem o meio físico. Estas técnicas consistem na delimitação de regiões do terreno para as quais os elementos componentes do meio físico por elas compreendidos determinam condições geotécnicas semelhantes, e para as quais um comportamento geotécnico ou uma aptidão de uso possam ser indicados frente às diferentes atividades antrópicas.

ZUQUETTE (1993) considera três fases para o processo de elaboração da cartografia geotécnica: **dedutiva, indutiva e experimental**.

Na primeira fase, de caráter dedutivo, deve ocorrer a esquematização do problema a ser investigado, a definição de uma hipótese de trabalho ou uma conjectura, por simples que seja. No caso dos mapeamentos geotécnicos, consiste na definição dos atributos do meio físico que devem ser analisados devido a sua importância dada a inter-relação com outros atributos e a finalidade do estudo.

A segunda fase deve ser indutiva e criativa, auxiliando na elaboração da teoria por meio de hipóteses. No processo de mapeamento tem-se a divisão da área em diversas unidades, consideradas as propriedades e relações dos atributos previamente escolhidos. Estas unidades representam zonas homogêneas quanto às características dos componentes do meio físico analisadas. Este pode ser considerado como o princípio básico do zoneamento geotécnico geral.

A terceira fase utiliza os métodos experimentais, onde as hipóteses ou conjecturas devem ser comprovadas. Desta forma, as zonas que inicialmente foram delimitadas, acreditando-se apresentarem propriedades semelhantes, devem agora sofrer comprovação, por meio de ensaios envolvendo, quando necessário, os métodos estatísticos.

Na Figura 2, VEDOVELLO (2000) sistematiza as etapas e procedimentos da cartografia geotécnica, admitindo a realização de três etapas básicas.

Figura 2. Etapas básicas para a elaboração de zoneamentos geotécnicos (VEDOVELLO 2000).

Neste caso, a primeira fase independe do objetivo final da cartografia geotécnica, que só será considerado na terceira fase. Assim, para o citado autor, as etapas consideradas necessárias para a obtenção de um zoneamento geotécnico são as seguintes:

a) Compartimentação do terreno. Esta etapa implica na identificação de zonas com características e propriedades geológico-geotécnicas similares ou que apresentem um grau de heterogeneidade mínimo e que sejam distintas das de áreas adjacentes. São analisados os elementos componentes do meio físico (que podem ser de natureza geológica, geomorfológica, pedológica, etc.), e identificadas suas formas de ocorrência (por exemplo: granito ou gnaiss; morrotes ou colinas; etc). Envolve os seguintes procedimentos: seleção do produto de sensoriamento remoto; compartimentação da área de estudo;

avaliação de homogeneidade e de similaridade; trabalhos de campo; elaboração do mapa de Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs).

b) Caracterização geotécnica. Nesta etapa do zoneamento geotécnico são determinadas as características e propriedades geotécnicas das áreas previamente delimitadas (tais como: perfil de alteração do material inconsolidado, espessura do material inconsolidado, declividade, estruturas geológicas, profundidade do nível d'água, permeabilidade, erodibilidade, desagregabilidade, capacidade de suporte, etc). A esta etapa estão associadas as seguintes tarefas: identificação dos fatores de análise e das classes dos fatores; obtenção dos fatores de análise e classificação; sistematização das informações sobre as Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs).

c) Cartografia temática final ou de síntese. As unidades definidas nas etapas anteriores são analisadas segundo os objetivos do zoneamento (como seleção de áreas para disposição de resíduos, por exemplo) e classificadas quanto às suas fragilidades e potencialidades. Os procedimentos necessários para a execução desta tarefa são: definição das classes da carta final; definição dos critérios de análise e classificação das Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs); cartografia final.

As três etapas consideradas por VEDOVELLO (2000), bem como o detalhamento dos procedimentos necessários a sua execução podem ser melhor analisados na Tabela 8. VEDOVELLO (*OP CIT*) acentua que as unidades básicas de compartimentação obtidas na etapa de compartimentação do terreno constituem a base para a determinação de unidades geotécnicas, uma vez que refletem unidades de fácil visualização por usuários de diferentes áreas do conhecimento, além de apresentarem limites fixos, determinados por associações específicas dos elementos componentes do meio físico e definidos pela análise integrada desses elementos.

Deve ser destacado, também, que o formato das Unidades Básicas de Compartimentação possibilita transformá-las em um módulo de armazenamento de informações geotécnicas, e mesmo geoambientais, estruturado na forma de um banco de dados digital e georeferenciado. Favorece, então, a estruturação de Sistemas Gerenciadores de Informações Geoambientais (SGIGs) como produtos da cartografia geotécnica, conforme sugerido por VEDOVELLO ET AL. (1999).

Tabela 8. Síntese das etapas e procedimentos operacionais para a elaboração de zoneamentos geotécnicos.

1ª ETAPA: COMPARTIMENTAÇÃO FISIAGRÁFICA DO TERRENO	
procedimentos	características
a) seleção do produto de sensoriamento remoto	Deve levar em conta as características espectrais, espaciais e temporais das imagens de satélite, as características específicas das cenas (como ângulo de elevação solar, cobertura de nuvens, azimuth das imagens) e as particularidades das áreas de estudo.
b) compartimentação da área de estudo	Consiste em identificar na imagem divisões fisiográficas em diferentes níveis hierárquicos, através da análise de elementos texturais e tonais das imagens, e consequente determinação de UBCs.
c) avaliação de homogeneidade e de similaridade	Refere-se à análise das propriedades dos elementos texturais utilizados na interpretação e extraídos da imagem para um "overlay". Objetiva identificar possíveis heterogeneidades internas nas unidades, que determinem sua subdivisão, ou unidades que devam ser classificadas com o mesmo nome.
d) trabalhos de campo	Objetiva a confirmação e/ou o ajuste de limites foto-interpretados e de características morfo-ambientais e genéticas atribuídas aos diversos níveis de compartimentação das unidades.
e) elaboração do mapa de UBCs	Refere-se à elaboração de um mapa onde as diversas UBCs estão identificadas por uma sigla ou código refletindo seu contexto fisiográfico e seus níveis hierárquicos de compartimentação.
2ª ETAPA: CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA	
procedimentos	características
a) Identificação dos fatores de análise e das classes dos fatores	Consiste na identificação das propriedades e/ou características fisiográficas do terreno necessárias para a avaliação pretendida. Contemplam dados e informações sobre rochas, solos, relevo, processos geodinâmicos, águas superficiais e subterrâneas, e vegetação.
b) Obtenção dos fatores de análise e classificação	São obtidos através de trabalhos de campo, levantamento de dados prévios e/ou por correlação com propriedades texturais das imagens. A forma de obtenção depende do nível de informação pretendido ou necessário, bem como dos recursos operacionais, financeiros e de tempo disponíveis.
c) Sistematização das informações sobre as UBCs	Devem ser padronizadas e referenciadas em classes pré-determinadas, face à aplicação prevista, e armazenadas em tabelas ou banco de dados que as relacionem às respectivas UBCs.
3ª ETAPA: CARTOGRAFIA TEMÁTICA OU FINAL	
procedimentos	características
a) definição das classes da carta final	Depende, essencialmente, da aplicação pretendida e devem refletir as diferentes situações e/ou condições geológico-geotécnicas que condicionam ou limitam a utilização e a gestão de uma dada área.
b) definição dos critérios de análise e classificação das UBCs	Consiste em se estabelecer uma relação entre os fatores geotécnicos, e suas respectivas classes, e as classes da carta final. Traduz-se em uma regra de classificação que podem ser expressa através de tabelas de classificação, estruturas de árvores lógicas ou atribuição de pesos e somatório de valores.
c) cartografia final	É obtida através da aplicação da regra de classificação e consiste em atribuir a cada UBC, uma das classes da carta geotécnica. Pode ser feita diretamente pelo executor da cartografia ou por meio de procedimentos informatizados.

Fonte: VEDOVELLO (2000).

Com base no exposto, observa-se que a seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos será obtida através de uma cartografia geotécnica na forma de zoneamento geotécnico e elaborada através de uma abordagem fisiográfica, onde a compartimentação do terreno será expressa por unidades básicas de compartimentação. Esta abordagem favorecerá a utilização de sensoriamento remoto na etapa de elaboração da cartografia geotécnica e a utilização de recursos de geoprocessamento, tanto na elaboração como na disponibilização dos resultados.

3. SENSORIAMENTO REMOTO

3.1. Aspectos gerais

O sensoriamento remoto é a tecnologia espacial que permite a aquisição de informações sobre a superfície terrestre à distância, através da interpretação dos dados captados por sensores instalados em aeronaves ou satélites. O seu registro gráfico se dá através de diversos produtos: fotografias aéreas; imagens de satélite; imagens de radar; etc.

O princípio básico que possibilita a obtenção de informações sobre o levantamento dos recursos naturais através da tecnologia do sensoriamento remoto é fundamentado no comportamento espectral dos alvos terrestres, que é registrado por um sistema sensor. A característica espectral típica de cada alvo (água, solo, vegetação) é resultante da interação da energia eletromagnética, proveniente do sol, com as propriedades físicas e químicas inerentes aos alvos terrestres, que são registradas pelos sensores (passivos) que operam em diferentes faixas ópticas do espectro eletromagnético. As características espectrais dos alvos são registradas por diferentes sensores, em diferentes bandas ou canais, de acordo com as suas distintas configurações. (VALÉRIO Fº 1998)

As imagens de satélite proporcionaram um novo impulso na obtenção de dados para a área ambiental, principalmente a partir da década de 1970, com o lançamento de sensores orbitais, pancromáticos e/ou espectrais (LANDSAT,

GEOS, ERDAS, SPOT, IKONOS, dentre muitos outros). As imagens produzidas pelos diferentes sensores apresentam características distintas quanto a sua resolução, o que pode ser um dos fatores determinantes da sua aplicação.

As imagens do sensor *Thematic Mapper* (TM), do Sistema LANDSAT, tem sido as mais utilizadas por conter informações de seis bandas espectrais ópticas com resolução espacial de até 15 metros, abrangendo as faixas espectrais ópticas do visível e infravermelho refletido, além de uma banda no infravermelho termal, de resolução espacial de 120 metros. Estas imagens são disponibilizadas na forma de bandas simples preto e branco ou de composições coloridas, quer seja em formato analógico (papel fotográfico) ou digital e são bastante úteis nos estudos de escala regional relativos à identificação, análise e interpretação de aspectos do meio físico.

VEDOVELLO (2000) destaca que as imagens do satélite SPOT, embora apresentem boa resolução espacial para estudos geoambientais, possuem um acervo de produtos relativamente menor, se comparado com o acervo do LANDSAT. Além disso, o sensor mais recente dos satélites da série LANDSAT, o ETM-7, já apresenta resolução espacial similar ao SPOT. Em relação às imagens de radar, observa-se que, exceção feita ao acervo do Projeto RADAM BRASIL, as atuais imagens RADARSAT ainda apresentam dificuldades para sua aquisição em termos operacionais e comerciais.

VALENTE ET AL. (1998) destacam o avanço que vem ocorrendo com relação à velocidade de processamento, à capacidade de armazenamento e aos recursos destinados à visualização de dados. Isso tem propiciado o desenvolvimento diversificado de *softwares* voltados ao processamento e classificação de imagens digitais, o que tem permitido a extração de um volume maior de informações derivadas do que seria possível diretamente da imagem original. Entretanto, o uso sistemático e a aplicação prática de técnicas de processamento digital e classificação automática de imagens dependem do aprofundamento das pesquisas nessa área.

Dados os aspectos gerais considerados anteriormente, nesta tese o uso do sensoriamento remoto favorece a obtenção de informações sobre o terreno, tanto sobre seus aspectos fisiográficos como em relação ao uso do solo, aspectos importantes para a seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos.

3.2. Uso de sensoriamento remoto em cartografia geotécnica

O sensoriamento remoto tem sido extensamente utilizado pelas mais diversas áreas do conhecimento (cartografia, geologia, agricultura, engenharia florestal, hidrologia, oceanografia, meteorologia, engenharia civil, etc.) como instrumento para a realização de estudos geoambientais, planejamento territorial e urbano, levantamento de recursos naturais, monitoramento do meio ambiente, dentre muitos outros. A sua utilização permite considerável economia de recursos financeiros e de tempo para a realização dos estudos, além dos aspectos de regularidade na obtenção dos dados e de precisão dos resultados.

Dado o enorme volume de informações contido numa imagem, a sua leitura e interpretação ficam sujeitas ao que AMARAL (1990) trata por “*tendenciosidade natural, intrínseca ao espírito humano*”. Ou seja, o nível de conhecimento individual do intérprete, ou mesmo interpretações não sistemáticas pode impedir a reprodutibilidade da foto-interpretação obtida por diferentes profissionais de uma mesma área do conhecimento.

Para otimizar o processo de foto-interpretação e minimizar os aspectos subjetivos de leitura e análise, tem sido desenvolvidos diversos procedimentos para a interpretação visual de imagens, dentre os quais deve ser destacada a sistemática apresentada por SOARES & FIORI (1976) e VENEZIANI & ANJOS (1982). A sistematização proposta por estes autores é baseada nos seguintes pressupostos:

- a) A análise dos elementos de textura e da estrutura fotográfica e das tonalidades de cinza define as propriedades que caracterizam a forma e permite a individualização de áreas imageadas que possuam características semelhantes (zonas homólogas);
- b) O processamento dedutivo e indutivo destas áreas (conceito de convergência de evidências) define seu significado temático.

Mais recentes, outros estudos vêm tratando do assunto, como os apresentados por VEDOVELLO (1993 e 2000), IG-SMA (1996 e 1999), VEDOVELLO & MATTOS (1998) e SOUZA (2000), quando aplicam os princípios sistemáticos de foto-

interpretação na compartimentação fisiográfica de terrenos, adaptando e redefinindo termos e conceitos relativos aos procedimentos usuais.

Nos trabalhos citados acima foi adotada a abordagem fisiográfica de compartimentação dos terrenos e utilizados produtos de sensoriamento remoto para a elaboração da compartimentação fisiográfica de terrenos. O princípio de análise considerou o fato de que *“os elementos fisiográficos interagem de maneira diferente em diferentes domínios fisiográficos, devido às variações nos fatores que regem a sua evolução, como clima, tectônica, etc. Isso faz com que esses elementos apresentem-se sob formas particulares em cada região, determinando assim diferentes paisagens. Essas paisagens específicas refletem na imagem fotográfica texturas específicas, resultantes da organização espacial dos diferentes tipos de elementos texturais. Assim, a identificação de diferentes “zonas homogêneas” na imagem corresponde à identificação de diferentes regiões do meio físico, onde ocorre uma associação determinada dos seus elementos componentes (litologia, solo, relevo, estruturas, etc).”* (VEDOVELLO & MATTOS 1998).

Apresenta similaridade com a abordagem acima mencionada e considerada nesta tese a metodologia desenvolvida pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) para a elaboração do Zoneamento Ecológico-Econômico da Amazônia Legal descrita em CREPANI ET AL. (1996), *in* VALÉRIO F^o (1998). Nesta metodologia, numa primeira fase é elaborado um mapa de unidades homogêneas de paisagem, através da análise e interpretação de imagens TM/LANDSAT (bandas individuais e composição colorida com as bandas 3, 4 e 5 associadas às cores azul, verde e vermelho respectivamente na escala 1:250.000) considerando os padrões fotográficos identificados pelas variações de cores, textura, forma, padrões de drenagem e relevo. Em seguida, são realizadas associações das informações temáticas auxiliares preexistentes (mapas geológicos, geomorfológicos, pedológicos, de cobertura vegetal e dados climáticos) com o mapa preliminar de unidades homogêneas obtido pela análise e interpretação das imagens orbitais, esta associação permite caracterizar tematicamente as unidades ambientais ou de paisagens. Posteriormente, é feita uma classificação do grau de estabilidade ou vulnerabilidade de cada unidade ambiental, segundo as relações entre processos de morfogênese e pedogênese.

Sintetizando, o uso de sensoriamento remoto em cartografia geotécnica

aplica-se em diversos tipos de análise, dentre as quais destacam-se aquelas utilizadas nesta tese, ou seja, na compartimentação do terreno e na caracterização geotécnica destes compartimentos. Este segundo tipo de análise encontra especial aplicação quando se trata da avaliação da suscetibilidade a movimentos de massa e da avaliação da vulnerabilidade natural à contaminação de aquíferos.

3.2.1. Suscetibilidade a ocorrência de movimentos gravitacionais de massa

Com respeito à análise de fragilidades do meio físico concernente à ocorrência de movimentos gravitacionais de massa⁸, exemplos bastante ilustrativos são apresentados por RIEDEL *ET AL.* (1995) e OKIDA (1996). Estes trabalhos utilizaram-se de dados obtidos através de produtos de sensoriamento remoto para a realização das citadas avaliações.

RIEDEL *ET AL.* (*OP CIT.*) avaliaram, para a região de Atibaia (SP), os condicionantes estruturais da estabilidade de taludes de corte em horizontes de saprolitos de gnaisses, através de uma abordagem regional. Foram analisadas as possibilidades de ocorrência de diferentes tipos e mecanismos de instabilidade, observados na área de estudo, tais como: tombamento de lascas e blocos de rocha; sulco ou ravinamento; ruptura planar; colapso de blocos; ruptura em cunha.

Os autores partiram do pressuposto de que as estruturas geológicas que provocam a individualização dos blocos e erosões nos taludes da área são juntas e foliação. Desta forma, estabeleceram uma estratégia metodológica baseada na visualização do comportamento da foliação, operacionalizada através da análise da distribuição dos traços de foliação obtidos de fotografias aéreas em escala 1:25.000. Neste contexto foram elaborados: mapa de forma estrutural, obtendo-se a tendência da direção da foliação para a área de interesse; setorização da área, baseada na análise da direção média da foliação; previsões das instabilidades, em

⁸ **Movimentos gravitacionais de massa:** são movimentos coletivos que provocam transporte de material superficial (solo e/ou rocha) em encostas pela ação da gravidade e da água. Os principais tipos de movimentos são: rastejo, escorregamentos, corridas e quedas e tombamentos de lascas e blocos de rocha. OKIDA (1996).

cada setor de análise, baseadas nas relações geométricas das discontinuidades existentes. Estas análises foram acompanhadas de trabalhos de campo, envolvendo: cadastramento das instabilidades de taludes de corte existentes; levantamento de dados lito-estruturais; avaliação dos tipos de instabilidades e erosões, observadas nos taludes.

OKIDA (1996) apresenta, por sua vez, uma metodologia para o zoneamento de áreas potenciais à ocorrência de movimentos gravitacionais de massa e inundações. Para tanto, utilizou-se de técnicas visuais de análise fisiográfica de terrenos baseando-se na interpretação de produtos de sensoriamento remoto e técnicas de tratamento de imagens digitais. A partir do método lógico e sistemático de fotointerpretação para fotografias aéreas e imagens orbitais (SOARES & FIORI 1976; VENEZIANI & ANJOS 1982), confeccionou nove mapas temáticos (drenagem, traços de foliações, traços de fraturas, frequência de traços de fraturas, lineamentos estruturais, domínios estruturais, unidades de relevo, morfo-estrutural e litotipos) que auxiliaram no zoneamento e na caracterização das áreas sujeitas a movimentos de massa.

Após a aplicação da metodologia na região de Caraguatatuba (SP), OKIDA (OP CIT.) concluiu que os produtos de sensoriamento remoto, principalmente as imagens orbitais, mostraram grande potencial no zoneamento e na caracterização das áreas sujeitas a movimentos gravitacionais de massa, visto proporcionarem bons resultados na discriminação de estruturas geológicas. Essas estruturas são os agentes condicionantes dos movimentos gravitacionais de massa e foram analisadas devido à característica sinóptica das imagens de satélite. Tal característica proporciona a integração dos elementos analisados e, por consequência, uma rápida interpretação dos processos de ordem regional, utilizando-se do "*conceito de convergência de evidências*". A autora observou ainda que não é possível diferenciar entre os diversos tipos de movimentos de massa analisando-se somente as imagens orbitais: a única inferência possível diz respeito à localização das áreas sujeitas à ocorrência dos movimentos.

Para o zoneamento e a caracterização das áreas sujeitas a inundações a autora baseou-se nas características multitemporal e multi-espectral das imagens de satélite. Estas auxiliaram na discriminação de diferentes alvos e no monitoramento de corpos de água e áreas alagadas em diferentes períodos do ano.

3.2.2. Estudos hidrogeológicos e avaliação da vulnerabilidade natural à contaminação de aquíferos

Os estudos hidrogeológicos baseados em análise de sensores remotos trazem contribuições tanto na avaliação do potencial dos recursos hídricos subterrâneos (LEITE 1998; FREITAS 2000; SILVA NETO & BARBOSA 2000), quanto na análise da vulnerabilidade natural de aquíferos à contaminação (FERNANDES 1997; FERNANDES *ET AL.* 2000; YOSHINAGA-PEREIRA & VALENTE 2000).

Tais análises levam em conta a importância do fraturamento das rochas para a formação de reservas de água subterrânea no embasamento cristalino, utilizando-se largamente de conceitos e métodos de Geologia Estrutural, muitas vezes baseados em dados obtidos de sensores remotos. A captação de água subterrânea através de poços nas rochas cristalinas é condicionada a uma pseudoporosidade, originária das fraturas existentes ou pela presença de mantos de intemperismo.

Em regiões onde predominam rochas Pré-Cambrianas, a acumulação de água subterrânea está ligada essencialmente à existência de sistemas aquíferos, originados a partir da trama formada por séries ou sistemas de fraturamentos (juntas e falhas). SILVA NETO & BARBOSA (2000) destacam que quanto maior a densidade de fraturamento e a abertura ou separação entre os planos que subdividem os blocos rochosos fraturados, maior é a capacidade de infiltração. De maneira geral, a resposta hídrica é comandada por aspectos como densidade, conectividade, rugosidade e abertura das fraturas (FERNANDES 1997; JARDIM DE SÁ 2000).

Da mesma forma que estes fatores contribuem para promover a recarga e reserva dos recursos, facilitam a entrada e condução de contaminantes no meio. FERNANDES *ET AL.* (2000) alertam para o fato de que: as fraturas mais abertas constituem caminhos preferenciais para o transporte de contaminantes e, onde estas feições estruturais ocorrem, a vulnerabilidade do aquífero tende a ser maior; as intersecções de fraturas podem formar canais onde a velocidade de fluxo é intensificada.

LEITE (1998), por exemplo, elaborou um Mapa de Potencialidade

Hidrogeológica em uma região de rochas cristalinas no Estado do Ceará. Para tanto, utilizou-se de filtros de convolução direcionais na identificação de fotolineamentos em imagens digitais do satélite LANDSAT-5, representados num mapa de fotolineamentos. Este mapa serviu como base para as análises subseqüentes, quando foram gerados mapas de isodensidades e isofrequências de fotolineamentos, que foram reclassificados para definição de três limites distintos de baixa, média e alta densidade e frequência de fotolineamentos. Estes mapas foram integrados com dados de altimetria, importantes para considerações sobre recarga e descarga de água subterrânea (áreas mais altas e mais baixas, respectivamente). Para crítica ao modelo proposto, foram superpostos os poços encontrados na área com dados confiáveis de vazão, considerando aqueles com vazões abaixo e acima de 3.000 l/h. O resultado mostra uma aproximação razoável do modelo com a realidade de campo, visto que as concentrações maiores de poços de vazões superiores a 3.000 l/h encontram-se em áreas de média a alta potencialidade.

FREITAS (2000) descreve processo semelhante para mapear o potencial hidrogeológico de rochas cristalinas da região de Porto Alegre (RS). Desta forma, empregou técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, integrando à análise de lineamentos parâmetros como uso do solo, litologias, lineamentos morfo-estruturais, declividade do terreno e espessura do manto de alteração. Na análise dos lineamentos usou um índice de fraturamento, levando em consideração o comprimento, a frequência e a intersecção de traços de fratura, extraídos de imagens LANDSAT-TM5 e fotografias aéreas na escala 1:10.000 e 1:60.000. O mapa de potencial hidrogeológico obtido foi então confrontado com os dados de produtividade de 80 poços construídos na área. Os resultados obtidos demonstraram que a técnica adotada fornece subsídios que servem de suporte para estudos localizados de maior detalhe de locação de poços, tornando a pesquisa direcionada, proporcionando economia de tempo e de recursos.

No que diz respeito à avaliação da vulnerabilidade natural de aquíferos fraturados à contaminação, FERNANDES (1997) e FERNANDES *ET AL.* (2000) partem da premissa de que a densidade e a conectividade das fraturas guardam relação direta com a densidade e intersecção de lineamentos. Assim, elaboram, para a região de Campinas (SP), um mapa de lineamentos em escala 1:100.000, a partir da análise de imagens LANDSAT (1:100.000), fotografias aéreas (1:60.000) e imagem de radar (1:250.000). A partir deste mapa foram elaborados estudos

estatísticos que resultaram em outros três: mapa de número de lineamentos; mapa de intersecções de lineamentos; mapa de domínios tectônicos. Estes produtos cartográficos foram então “cruzados”, de modo a produzir um único mapa, onde áreas de maior e menor vulnerabilidade foram delimitadas.

Os critérios utilizados nos trabalhos descritos foram adaptados e incorporadas à metodologia apresentada nesta tese e serão abordados na Parte III deste volume, a qual trata da estrutura metodológica proposta para a seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos.

3.3. Uso de sensoriamento remoto em estudos de uso e ocupação do solo

No que diz respeito aos estudos de uso e ocupação do solo com o apoio da interpretação de produtos de sensoriamento remoto destacam-se diferentes vertentes: monitoramento de áreas urbanizadas; mapeamento de vegetação; estudos aplicados ao planejamento do uso do solo (como seleção de áreas para disposição de resíduos, avaliação de riscos à ocupação urbana frente a ocorrência de movimentos gravitacionais de massa e de inundações, dentre outros).

Para monitoramento de áreas urbanizadas e verificação da evolução da mancha urbana, LOMBARDO & MACHADO (1996) consideram que a tecnologia do sensoriamento remoto pode ser um instrumento auxiliar. Assim, para a análise das características e dinâmica urbanas tem sido bastante utilizadas fotografias aéreas, para as quais a metodologia de interpretação é bastante satisfatória.

No caso das imagens orbitais, deve-se considerar as resoluções espectrais e espaciais do sistema sensor, associando-as com características específicas de diferentes classes de uso do solo urbano. A análise das imagens orbitais para inferir dados da morfologia urbana envolve interpretação visual, quando são considerados os aspectos observacionais, como análise espectral, elementos texturais, tonalidade e relação de contexto.

Muito embora a utilização de imagens orbitais para tais aplicações seja recente e bastante limitada em relação aos levantamentos tradicionais, tem havido

um crescente investimento em pesquisas relacionadas ao comportamento espectral dos alvos urbanos. Este fato pode ser justificado pela análise do custo/benefício, sensivelmente menor nos trabalhos de atualização cartográfica utilizando imagens de satélite (COSTA & CINTRA 1993). Além disso, na análise da evolução da mancha urbanizada, considerando-se os limites entre áreas urbanas e não urbanas, as imagens orbitais oferecem a vantagem da atualização, devido ao dinamismo da expansão dos limites urbanos (LOMBARDO & MACHADO, *OP CIT.*).

O espectro urbano é composto por uma heterogeneidade de alvos com características físico-químicas diversificadas. Os principais alvos urbanos, ou seja, concreto, asfalto (ruas e avenidas), vegetação (grama, árvores), água (rios e lagos) e telha, apresentam-se melhor definidos na faixa do vermelho, verde e infravermelho próximo do espectro eletromagnético. Esta característica é de suma importância na escolha do produto de sensoriamento remoto, que deve oferecer um adequado contraste entre o urbano e o não urbano (canal 5 do sensor MSS-LANDSAT 5; canal 3 do TM-LANDSAT 5; canal 2 do HRV-SPOT). Pesquisas também têm sido realizadas no sentido de testar combinações entre diferentes sensores (TM-LANDSAT e RADARSAT, por exemplo) para melhorar a interpretação de dados, o processamento digital e a acurácia temática da imagem classificada (SILVA JR *ET AL.* 1999).

Apesar das limitações citadas acima, é viável a elaboração de diversos tipos de interpretações, sempre acompanhadas de checagem de campo, o que dá confiabilidade aos resultados. As interpretações devem se basear em aspectos observacionais, como análise espectral, elementos texturais, tonalidade e relação de contexto (análise de homogeneidade e similaridade entre diferentes padrões da imagem). Além disso, em estudos aplicados ao planejamento do uso do solo é importante que a interpretação de produtos dos sensores remotos seja orientada à finalidade principal. Ou seja, as categorias de uso e ocupação do solo a serem representadas no mapa devem ser agrupadas conforme as suas funções na dinâmica urbano-sócio-econômica. IG-SMA (1996 e 1999) e SOUZA (2000) se valem destas premissas e definem diferentes categorias de uso e ocupação do solo, vinculando-as ao objetivo principal dos trabalhos.

Assim, em IG-SMA (1996), por exemplo, tendo o objetivo de avaliação de riscos à ocupação urbana devido à ocorrência de movimentos gravitacionais de

massa e de inundações, pressupõe-se uma categorização do uso do solo que terá conseqüências previsíveis quando integrada com fatores do meio físico. A área de estudo limitou-se ao município de São Sebastião (SP) e por meio da análise de imagens orbitais e checagem de campo foram diferenciados: espaços edificadas e espaços não edificadas. Para as áreas edificadas foram definidas as funções urbana, turística e grandes equipamentos. Para as áreas edificadas com função urbana foram diferenciados padrões de edificação (baixo ou alto padrão de construção) e para as áreas não edificadas foram identificadas a situação do uso do solo (vegetação arbórea densa, vegetação rasteira, solo exposto) e indicadas as unidades de conservação existentes (Parques, Áreas de Proteção Ambiental, Áreas Naturais Tombadas, etc).

JACQUES *ET AL.* (1999), por sua vez, utilizam-se de técnicas de sensoriamento remoto na confecção dos mapas de uso e cobertura do solo do Estado do Rio de Janeiro, na escala 1:250.000. Os autores encontram facilidade de discriminação para as classes salina, restinga, praia, brejo, mangue, mangue degradado e corpos d'água, uma vez que apresentam características singulares nas imagens de satélite (seja pelo padrão ou pelas bandas utilizadas). Já as classes agricultura, mata, pastagem, uso urbano, foram mais difíceis de serem identificadas devido a aspectos de: heterogeneidade (a classe agricultura por exemplo, dependendo da cultura e do ciclo de cultivo, apresenta diferentes respostas espectrais); similaridade de assinaturas espectrais (determinados alvos foram erroneamente classificados por apresentarem níveis de cinza próximos aos de outras classes); defasagem temporal (certas classes sofreram notáveis alterações entre a data de aquisição das imagens - 1994 - e as verificações realizadas nas duas campanhas de campo - 1998); presença de nuvens; dimensão dos alvos (alguns alvos de pequenas dimensões, sobretudo em relevo acidentado, não foram detectados, como por exemplo pequenos cultivos localizados na região serrana).

Muito do exposto foi incorporado à metodologia apresentada nesta tese, sofrendo as devidas adaptações, necessárias à análise específica deste trabalho, a seleção de áreas para disposição de resíduos, guardando-se o cuidado relativo à proteção ambiental de áreas de conservação e os aspectos de ocupação do solo já instalada.

4. GEOPROCESSAMENTO

4.1. Aspectos gerais

O Geoprocessamento consiste no conjunto de tecnologias voltadas à coleta e tratamento de informações espaciais para um objetivo específico e envolve quatro categorias de técnicas relacionadas ao tratamento de informações espaciais (FATORGIS 1998):

a) Técnicas para coleta de informação espacial (Cartografia, Sensoriamento Remoto, GPS, Topografia Convencional, Fotogrametria, Levantamento de dados alfanuméricos);

b) Técnicas de armazenamento de informação espacial (Banco de Dados - Orientado a Objetos, Relacional, Hierárquico, etc.);

c) Técnicas para tratamento e análise de informação espacial, como Modelagem de Dados, Geoestatística, Aritmética Lógica, Funções topológicas, Redes;

d) Técnicas para o uso integrado de informação espacial, como os sistemas GIS – Geographic Information Systems, LIS – Land Information Systems, AM/FM – Automated Mapping/Facilities Management, CAD – Computer-Aided Design.

As três primeiras categorias aplicam-se basicamente à obtenção, armazenamento e tratamento de dados e informações pelo profissional técnico envolvido na obtenção, análise e interpretação de informações espaciais. Já a quarta categoria (técnicas para o uso integrado de informação espacial) aplica-se aos usuários potenciais das informações.

Atualmente, dentre as tecnologias disponíveis na área de geoprocessamento, o **Sistema de Informação Geográfica (SIG)** constitui o instrumento mais adequado para ser utilizado plenamente no processo de cartografia geotécnica, especialmente quando esta é aplicada à gestão ambiental, uma vez que valoriza a integração e interdisciplinaridade da informação.

O SIG é um sistema automatizado composto por um poderoso conjunto de ferramentas usadas para coletar, armazenar, recuperar, transformar, combinar, visualizar e plotar dados geográficos (BURROUGH 1987), ou seja, representações de objetos e fenômenos em que a localização geográfica é uma característica inerente à informação e indispensável para analisá-la.

As definições de SIG refletem, cada uma à sua maneira, a multiplicidade de usos e visões possíveis desta tecnologia e apontam para uma perspectiva interdisciplinar de sua utilização. A partir desses conceitos, é possível indicar duas importantes características de SIGs. VALÉRIO Fº (1998) destaca que estes sistemas possibilitam a integração, numa única base de dados, de informações geográficas provenientes de fontes diversas tais como dados cartográficos, de censo, cadastro urbano e rural, imagens de sensores remotos e modelos numéricos do terreno. Além disso, os SIGs oferecem mecanismos para recuperar, manipular e visualizar estes dados através de algoritmos de manipulação e análise.

Os SIGs comportam diferentes tipos de dados e aplicações, em várias áreas do conhecimento. Assim, numa visão bastante geral o setor de Geoprocessamento no Brasil pode ser dividido em sete segmentos, seis dos quais sugeridos por DAVIS & CÂMARA (2000):

- a) *controle cadastral*, realizado tipicamente por Prefeituras em escalas variando de 1:1.000 a 1:20.000;
- b) *cartografia automatizada*, realizada por instituições produtoras de mapeamento básico e temático;
- c) *monitoramento ambiental*, ligado às áreas de agricultura, meio ambiente, ecologia e planejamento regional, com escalas variando de 1:10.000 a 1:500.000;
- d) *concessionárias e redes*, onde atuam as concessionárias de serviços de água, energia e telefonia, em escalas variando de 1:1.000 a 1:5.000;
- e) *planejamento rural*, vinculado a empresas agropecuárias que planejam a produção e distribuição de seus produtos, efetuando seus trabalhos em escalas que variam de 1:1.000 a 1:50.000;

f) *geomarketing*, ou seja, empresas que necessitam distribuir equipes de vendas e promoção ou localizar novos nichos de mercado (escalas de 1:1.000 a 1:10.000);

g) *saúde pública*, vinculada ao planejamento de ações de prevenção e intervenção por órgãos públicos de saúde (CERCEAU *ET AL.* 1999; MACHADO & BATTAGLIN 1999).

A Tabela 9 ilustra as necessidades típicas de cada segmento, considerando-se que cada um deles apresenta características próprias e requer soluções específicas, o que deve ser cuidadosamente considerado quando da escolha dos softwares de SIG. Este processo envolve aspectos como geração de dados geográficos, disponibilidade de metodologias de trabalho adequadas e mecanismos de divulgação dos resultados obtidos.

Tabela 9. Necessidades típicas de aplicações de Geoprocessamento.

APLICAÇÃO	ANÁLISE GEOGRÁFICA	PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS	MODELOS NUMÉRICOS DE TERRENOS	MODELAGEM DE REDES	BANCOS DE DADOS GEOREFERENCIADOS	PRODUÇÃO CARTOGRÁFICA	GEODÉSIA E FOTOGRAMETRIA
<i>Controle Cadastral</i>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<i>Cartografia automatizada</i>	-	✓	✓	-	(✓)	✓	✓
<i>Monitoramento Ambiental</i>	✓	✓	✓	(✓)	(✓)	✓	(✓)
<i>Concessionárias e redes</i>	-	-	-	✓	✓	-	(✓)
<i>Planejamento Rural</i>	-	✓	✓	(✓)	✓	✓	-
<i>Geomarketing</i>	-	-	-	✓	✓	✓	-
<i>Saúde pública</i>	✓	-	-	(✓)	✓	-	-

✓ : normalmente necessário;

(✓): necessário para usos específicos;

- : usualmente não necessário.

Fonte: CERCEAU *ET AL.* (1999); MACHADO & BATTAGLIN (1999); DAVIS & CÂMARA (2000).

Pelo exposto, verifica-se que os SIGs constituem uma ferramenta poderosa no tratamento de volume significativo de dados de diversas fontes e, conseqüentemente, proporcionam os meios necessários para obtenção de informações integradas, relacionadas ao meio físico antropizado, as quais servirão de subsídios relevantes para o planejamento em nível regional. (VALÉRIO Fº 1998)

4.2. A importância do geoprocessamento em cartografia geotécnica

DINIZ *ET AL.* (1999) e VEDOVELLO *ET AL.* (1999) tratam da relação entre Geoprocessamento e Cartografia Geotécnica no que tange aos seus aspectos de ferramentas para estudos geoambientais como, mapeamentos temáticos, diagnósticos ambientais, avaliação de impactos ambientais e processos de ordenamento territorial.

A obtenção, análise e disponibilização de informações geoambientais, tais como as presentes na cartografia geotécnica, são de inegável importância para a utilização em atividades de gestão ambiental ou qualquer tipo de atividade antrópica. Assim sendo, os citados autores concordam que o advento e o desenvolvimento da área de Geoprocessamento vieram ao encontro das necessidades operacionais e de análise da área de Cartografia Geotécnica, especialmente quando se considera a enorme quantidade de variáveis e dados a serem analisados, bem como o aspecto dinâmico das avaliações.

Estas duas ferramentas se complementam, notadamente no processo de automação (passagem das informações cartográficas do meio analógico para o digital), que considera aspectos metodológicos da cartografia geotécnica tradicional e pode visar tanto a cartografia digital, quanto considerar uma possível aplicação em Sistemas de Informações Geográficas (DINIZ *OP CIT* 1999). A efetividade da utilização das informações geológico-geotécnicas depende, entretanto, da representação adequada dessas informações, considerando-se os objetivos da aplicação e o tipo de usuário da cartografia geotécnica. Evidentemente, o conteúdo, a qualidade, a representação e a comunicação das informações constituem aspectos que não podem ser esquecidos.

BONHAM-CARTER (1994) considera que “a principal função do SIG é de agrupar dados provenientes de fontes diversas em um banco de dados unificado, permitindo a organização, visualização, consulta, combinação, análise e predição de dados”. Assim, percebe-se a importância na relação técnico-usuário para a transmissão de informações e resultados provenientes da Cartografia Geotécnica. Isto se justifica uma vez que o SIG pode constituir um produto que permite não só uma consulta prática e objetiva às informações produzidas pelo técnico, como também possibilita atividades específicas do técnico produtor de informações.

Cada vez mais freqüentes nos trabalhos de Cartografia Geotécnica, as técnicas e recursos oferecidos pelo Geoprocessamento aplicam-se a todas as fases do processo, desde a etapa de obtenção de dados e informações até a etapa de disponibilização dos resultados. Isto pode ser comprovado pela análise de recente e profusa produção técnico-científica, inclusive no que diz respeito aos trabalhos relativos à seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos (como ESCALANTE 1998, SOUZA 1998, IG-SMA 1999, ANDRADE 2000, GUERRA & ZUQUETTE 2000, dentre inúmeros outros).

4.3. O uso de SIG em cartografia geotécnica

Para a efetiva utilização de um SIG como um produto geotécnico é necessário estruturá-lo, em todos os seus níveis e componentes, de forma a atender as necessidades básicas do processo de cartografia geotécnica. Deve-se sempre ter por diretriz tanto o objetivo quanto a aplicação que se pretende estabelecer para o sistema, direcionando, desta forma, a estruturação dos dados, informações e funções de análise e consulta de forma útil e prática para o usuário. Além disso, é fundamental levar em consideração as possíveis necessidades de consulta por parte do usuário, de forma a garantir, durante a própria modelagem do sistema, que todas as consultas desejáveis sejam possíveis.

Uma situação que merece destaque, como bem destaca VEDOVELLO (2000), é a utilização das UBCs (Unidades Básicas de Compartimentação) como um módulo de armazenamento de dados e informações geotécnicas. Devido ao seu caráter de unidade fixa, básica para a determinação das unidades de uma carta geotécnica, favorece a elaboração de um Sistema Gerenciador de Informações.

Além disso, o estabelecimento de regras de classificação para as UBCs, para a obtenção dos produtos finais, possibilita a automatização desse procedimento no âmbito de próprio Sistema Gerenciador de Informações e facilita a obtenção de novos produtos.

O Sistema Gerenciador de Informações constitui um sistema físico de gerenciamento de todos os dados, informações, critérios e classificações voltados aos vários tipos de análise possíveis. Incluem-se as relativas à cartografia geotécnica de uso específico, como a que diz respeito à seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos.

Uma vez concebidas de forma lógica todas as etapas, processos, técnicas e produtos previstos na análise específica é possível implementar um SIG (Sistema de Informações Geográficas). Para tanto, é necessária uma criteriosa modelagem da estrutura do SIG, de forma a garantir a sua eficiência, que deve contemplar uma série de passos, a saber: *definição de objetivos; descrição de um modelo; estruturação do modelo; captura de dados; inter-relação e cruzamento de informações (espaciais ou não); construção do produto* (VEDOVELLO ET AL. 1999).

Assim, utilizando recursos de cartografia digital, sistemas de informações geográficas, sistemas gerenciadores de bancos de dados, etc., muitas fases do trabalho de cartografia geotécnica passam por informatização e automação (DINIZ ET AL. 1999). Desta forma, é possível otimizar o tempo e custos envolvidos na geração dos resultados das análises, que envolve a execução de diversas atividades, tais como: levantamentos de campo com GPS; aquisição digital de mapa-base; classificação de terrenos; avaliação de terrenos e análise espacial de fenômenos; integração temática e produção de mapas; armazenamento, manipulação, análise e recuperação de informações geoambientais.

PARTE III – ESTRUTURAÇÃO METODOLÓGICA

Nesta parte da tese são apresentados os pressupostos e aspectos que balizaram a abordagem geral considerada para a definição de uma estrutura metodológica voltada à seleção de áreas para disposição de resíduos. Para tanto, são empregados métodos associados tanto ao caráter de pesquisa exploratória como de pesquisa analítica. Assim, são destacados os elementos de análise, os critérios de avaliação e os procedimentos operacionais adotados para a implementação da metodologia proposta, considerando-se, ainda, a estruturação de um Sistema Gerenciador de Informações adequado tanto para a etapa de elaboração da cartografia prevista, como para a etapa de disponibilização e consulta dos dados e informações obtidos.

1. PRESSUPOSTOS E ABORDAGEM GERAL

SOUZA (1998) cita as recomendações da Organização Mundial da Saúde para a escolha de locais para disposição de resíduos sólidos, os quais devem estar de acordo com três importantes questões: proteção, igualdade e economia. Ou seja, o processo de seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos deve reunir os quesitos da regulamentação governamental e moderação dos custos econômicos, ambientais, de saúde e sociais. Além disso, a instalação de um depósito de resíduos sólidos não deve exceder a aceitabilidade social por riscos involuntários. O local deve ser racionalmente selecionado, as pessoas afetadas devem ter voz ao longo do processo, e a comunidade não deve sofrer perdas econômicas ou culturais.

Estas considerações devem ser aplicadas na definição de um procedimento metodológico para a seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos que contemple dois aspectos principais: o nível de abordagem e as inter-relações entre

o empreendimento e o meio ambiente. O nível de abordagem diz respeito à escala de análise, de observação, de obtenção, apresentação e representação das informações. Quanto às inter-relações citadas, deve-se levar em conta os possíveis riscos associados à implantação de empreendimentos destinados à disposição de resíduos sólidos, que possam levar ao comprometimento tanto da obra como um todo, como do ambiente em seu entorno.

A análise da literatura técnica sobre o assunto permite identificar diferentes abordagens para a seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos. Muitas destas abordagens consideram tanto os aspectos relativos ao nível de informação como os relativos à interação entre o empreendimento e o meio ambiente.

CETESB (1993), em estudo que envolveu a avaliação hidrogeológica de locais de disposição de resíduos industriais na Região Metropolitana de São Paulo, identificou cinco fases no processo de seleção de áreas: reconhecimento regional, reconhecimento local, investigações de detalhe, análise de anteprojetos e decisão final para a escolha da área adequada à implantação da obra. A abordagem considerada baseou-se em metodologia proposta por WOOD *ET AL.* (1984), a qual obedece a um processo linear, onde o grau de importância, o detalhamento, a dificuldade e a especificidade dos critérios aumentam durante a execução dos trabalhos.

Em IG-SMA (1999) ocorre uma adaptação das propostas apresentadas por BERG & WEHRMANN (1989) e CETESB (1993), quando sugere que o processo de seleção de áreas potenciais para disposição de resíduos sólidos deve, idealmente, se desenvolver em três níveis de aproximação principais, como forma de minimizar o tempo e os custos envolvidos nos levantamentos e análises. Esses níveis são, em ordem de execução:

- a) Avaliação regional** e seleção preliminar de áreas potenciais para disposição de resíduos sólidos;
- b) Avaliação semi-regional** de áreas potenciais para disposição de resíduos sólidos;
- c) Avaliação local**, com definição e caracterização detalhada das áreas priorizadas na etapa anterior.

O primeiro nível de aproximação, em que ocorre a **avaliação regional** e a seleção preliminar de áreas potenciais para disposição de resíduos sólidos, é desenvolvido preferencialmente na escala 1:100.000, ou menor. Nesta etapa são definidos critérios para exclusão de áreas onde não é viável a disposição de resíduos sólidos, consideradas as fragilidades do meio físico, as características de uso e ocupação do solo e impedimentos legais. Isto feito, é possível proceder à classificação de áreas com potencial diferenciado para disposição de resíduos, dadas as características ambientais presentes, o que permite hierarquizar estas áreas para estudos posteriores nas demais etapas do processo de seleção de áreas.

O segundo nível de aproximação consiste na **avaliação semi-regional** de áreas potenciais para disposição de resíduos sólidos, na qual se realiza uma análise mais detalhada das áreas potenciais definidas no primeiro nível. Esta abordagem ocorre preferencialmente em escala 1:25.000 e leva em conta o refinamento dos parâmetros levantados na primeira etapa, além do levantamento de novos aspectos, somente relevantes nesta escala de abordagem. Como resultado é possível a exclusão de áreas pré-selecionadas no primeiro nível de aproximação, além da definição de alternativas locais para a instalação de equipamentos para disposição de resíduos.

Finalmente, o terceiro nível de aproximação se dá numa escala local (1:10.000 a 1:5.000) e consiste na **definição e caracterização local de áreas-alvo**, para uma decisão final e para o planejamento da intervenção. Embora predominem nesta etapa as gestões jurídicas e sócio-econômicas, há neste momento um refinamento ainda maior dos parâmetros e critérios relativos às características fisiográficas a serem consideradas para a seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos, com avaliação através de métodos e procedimentos de campo, além de ensaios laboratoriais e *in situ*. Como resultado é possível a hierarquização das áreas de modo a facilitar o processo de licenciamento ambiental, bem como a identificação de técnicas e recursos tecnológicos a serem adotados na implantação de um possível empreendimento.

Para cada nível de aproximação devem ser considerados os riscos potenciais de degradação do meio ambiente e de comprometimento do próprio empreendimento de disposição de resíduos sólidos. Portanto, o conhecimento do

meio físico assume um papel fundamental na abordagem. Como forma de se ter aterros seguros por um bom período de tempo, os locais de disposição selecionados devem se situar em terrenos relativamente estáveis em termos de processos geodinâmicos e que sejam constituídos por materiais geológicos com propriedades que representem barreiras naturais à migração de contaminantes (BERG & WEHRMANN 1989). Em um longo prazo, tais aspectos implicam em uma maior garantia de proteção ambiental, na medida em que minimizam o potencial de contaminação dos recursos hídricos, seja águas subterrâneas ou sistemas de águas superficiais. Além disso, também haverá uma minimização dos riscos que possam causar uma ruptura da obra devido a fragilidades naturais do terreno no que diz respeito, por exemplo, a processos geodinâmicos (escorregamentos, erosão, inundações, etc).

Considerados os objetivos dessa tese, a estrutura metodológica foi articulada considerando-se uma abordagem relativa ao primeiro nível de aproximação apresentado, ou seja, a avaliação regional e seleção preliminar de áreas potenciais para disposição de resíduos sólidos. Além disso, a estratégia operacional levou em consideração tanto a avaliação de possíveis riscos de degradação ambiental como ao próprio empreendimento. Igualmente, a estruturação metodológica considerou o objetivo de se obter um produto final na forma de um Sistema Gerenciador de Informações (SGI), de forma a facilitar seu uso em diferentes instrumentos de gestão ambiental e por diferentes técnicos gestores. Isto posto, são apresentadas, a seguir, as etapas metodológicas, os procedimentos operacionais adotados e os critérios e técnicas de análise utilizados para a seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos.

2. ESTRUTURA METODOLÓGICA

2.1. Estrutura geral e critérios de análise

Os aspectos conceituais e os pressupostos apresentados anteriormente configuram a base teórica para o desenvolvimento da presente metodologia destinada à seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos. Durante o

desenvolvimento deste capítulo deverá ocorrer o necessário aprofundamento de aspectos conceituais e metodológicos inerentes às etapas, métodos e técnicas a serem apresentados.

Genericamente, pode-se destacar os seguintes aspectos como fundamentais na escolha de áreas para disposição de resíduos sólidos: a proteção aos recursos naturais (água, solo e vegetação) e a comunidades e bens já instalados (áreas urbanas, áreas industriais, etc.); e a racionalização de custos na execução, manutenção, encerramento e monitoramento do empreendimento de disposição de resíduos sólidos. Tendo estes aspectos como pressupostos principais, a estratégia metodológica geral, apresentada a seguir, também considera: uma abordagem regional (escala 1:100.000) e a racionalização de custos e tempo envolvidos na realização dos trabalhos de seleção de áreas.

Deve-se destacar que para a definição dos atributos e critérios de análise, bem como das classificações, é importante manter a atenção para as premissas básicas desta proposição metodológica, ou seja, o nível de abordagem de avaliação regional e as possíveis inter-relações entre o empreendimento e o meio ambiente.

O nível de abordagem define a escala de análise, de observação, de obtenção e de representação de informações. Ou seja, na escala 1:100.000, por exemplo, os atributos fundamentais nas análises temáticas diferem dos atributos importantes em escalas maiores, como 1:10.000, devendo, neste último caso, ser muito mais numerosos e ter caráter muito mais restritivo. O pesquisador deve, portanto, ter discernimento para distinguir entre o essencial e o não essencial, conservando o útil e abandonando o dispensável (SANTOS 1989). Disso depende a simplicidade, clareza e objetividade do trabalho de mapeamento, através da seleção correta dos elementos que irão compô-lo.

AGUIAR (1997) destaca que *“a compatibilização dos atributos ao objetivo do trabalho deve reger os passos seguintes, verificando-se nessa oportunidade aqueles que efetivamente participarão dos documentos cartográficos finais, de forma a não comprometer o cronograma de execução ou aumentar a complexidade da análise para a determinação das unidades finais”*.

Conclui-se, portanto, que a escolha dos atributos deve ser bastante

criteriosa e calcada num seguro embasamento teórico, sendo realizada previamente a qualquer etapa de coleta de dados. Isto evitará que sejam envidados esforços em sua obtenção e análise, que acabem por se mostrar desnecessários. Muitas das metodologias conhecidas trilham este caminho, levantando inúmeras informações que nem mesmo são utilizadas nas análises temáticas, implicando no aumento dos custos e no tempo de execução dos trabalhos. Por vezes o excesso de atributos pode até mesmo levar a resultados enganosos, que obscurecem ou, muito pior, implicam em falsas representações da realidade.

As observações acima valem também quando se leva em conta os possíveis riscos associados à implantação de empreendimentos destinados à disposição de resíduos. Numa escala de abordagem regional é possível avaliar algumas fragilidades do meio físico de forma qualitativa, levando em conta as características gerais dos compartimentos fisiográficos e fazendo-se inferências por métodos indiretos. Nesta escala não é economicamente justificável, por exemplo, a realização de amostragens, sondagens, ou mesmo ensaios de campo ou laboratório, para a definição de atributos específicos importantes à fase de implantação de obras e elaboração de projetos de engenharia civil.

Apesar destas ressalvas, é possível a consideração de riscos potenciais de degradação ao meio ambiente e ao próprio empreendimento de disposição de resíduos sólidos. Em um longo prazo, tais aspectos implicam em uma maior garantia de proteção ambiental, na medida em que minimizam o potencial de contaminação dos recursos naturais. Além disso, também há uma maior garantia de que não venha a ocorrer uma ruptura da obra devido a fragilidades naturais do terreno no que diz respeito, por exemplo, a processos geodinâmicos (erosão, escorregamentos, inundações, etc).

Visando a facilitar a compreensão e a reprodutibilidade desta proposta metodológica, este capítulo visa:

- a) Definir os fatores intervenientes, os atributos, os critérios de análise e as classificações para seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos;
- b) Estruturar um Sistema Gerenciador de Informações voltado à seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos, utilizando recursos de geoprocessamento para o armazenamento e a análise de informações e dados

de cunho geoambiental.

c) Detalhar a estrutura metodológica, incluindo a definição de: métodos, técnicas e ferramentas de análise do terreno; inferências sobre características e propriedades do terreno; critérios para a associação e a hierarquização dos atributos do terreno.

2.1.1. Fatores intervenientes na seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos

Para a seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos numa escala de abordagem regional, a proteção ao meio ambiente e à saúde pública, bem como as possíveis inter-relações entre o empreendimento e o meio ambiente, estão condicionados à análise **dos aspectos de uso e ocupação do solo e dos aspectos fisiográficos do terreno**. Estes aspectos são expressos na forma de dois tipos de documentos cartográficos, o Mapa de Aspectos de Uso e Ocupação do Solo e o Mapa de Unidades de Compartimentação Fisiográfica, cuja articulação é feita conforme o fluxograma apresentado na Figura 3.

O resultado da interação entre os atributos constantes nestes dois mapas consiste na definição e hierarquização de áreas potenciais para disposição de resíduos (Mapa de Áreas Potenciais para Disposição de Resíduos Sólidos).

Nos estudos necessários à seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos, o primeiro aspecto a ser considerado deve ser o de uso e ocupação do solo, já que identifica áreas que, independentemente de qualquer outro tipo de análise, não permitem a instalação de empreendimentos para disposição de resíduos. Assim, no **Mapa de Aspectos de Uso e Ocupação do Solo** devem estar diferenciadas: áreas onde não há impedimentos legais, nem conflitos entre o uso e ocupação atual do solo e o uso pretendido (como algumas áreas de uso rural); áreas onde é totalmente inviável a disposição de resíduos (tais como áreas com usos urbano e industrial já instalado, áreas de expansão urbano-industrial, algumas áreas de conservação ambiental); áreas onde a disposição de resíduos pode ser feita, mas possui restrições (como algumas áreas de conservação ambiental).

Figura 3. Articulação da estratégia metodológica do Sistema Gerenciador de Informações voltado à seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos.

A seguir devem ser considerados os aspectos fisiográficos do terreno, os quais passarão por análise somente nas áreas onde haja alguma viabilidade dada por aspectos de uso e ocupação do solo. Na escala de abordagem regional, a avaliação dos aspectos fisiográficos do meio físico tem importância fundamental, principalmente no que diz respeito às características que definirão seu comportamento quanto à vulnerabilidade natural à contaminação dos aquíferos e quanto à suscetibilidade natural a processos geodinâmicos (erosão, escorregamentos, inundações). Estas características são intrínsecas às Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs), representadas no **Mapa de Unidades de Compartimentação Fisiográfica**. Estas unidades apresentam características relacionadas às rochas, ao relevo e aos materiais inconsolidados em associações específicas que determinam diferentes fragilidades e potencialidades para o terreno e, conseqüentemente, respostas diferenciadas às intervenções antrópicas (IG-SMA 1999).

A partir da análise do Mapa de Unidades de Compartimentação Fisiográfica é possível considerar as fragilidades marcantes do terreno que venham a inviabilizar ou restringir áreas para disposição de resíduos sólidos (vulnerabilidade natural à contaminação de aquíferos e suscetibilidade a processos geodinâmicos), possibilitando a eliminação de novas áreas, agora devido a aspectos fisiográficos do terreno. O resultado desta análise é representado no **Mapa de Áreas Potenciais para Disposição de Resíduos Sólidos**, que apresenta as unidades de compartimentação fisiográfica devidamente hierarquizadas para o fim proposto.

Nos itens a seguir serão abordados os dois aspectos considerados básicos para as avaliações propostas: aspectos de uso e ocupação do solo e aspectos fisiográficos do terreno. A cada um deles serão relacionados os atributos intervenientes, os critérios de análise e as classificações necessárias à geração do produto final, o Mapa de Áreas Potenciais para Disposição de Resíduos Sólidos.

2.1.2. Definição de atributos, critérios de análise e classificações

A - Aspectos de uso e ocupação do solo

Os aspectos de uso e ocupação do solo que interferem ou condicionam as avaliações geoambientais expressam-se através de ações antrópicas que conseqüentemente determinam as diferentes formas de uso do solo. Sobre isso, HOLL (1998) destaca que as ações antrópicas consistem em *“toda e qualquer intervenção no meio físico provocada pelo homem. Ações antrópicas são impulsionadas por necessidades originadas do modo de vida vigente, e modeladas por aspectos políticos, econômicos, culturais e sociais, os quais caracterizam essas ações. Isso indica que a ação antrópica pode ser analisada segundo muitos enfoques, mas como elemento de análise em produtos geotécnicos a ação antrópica deve ser investigada conforme suas formas de uso e ocupação do meio físico, as quais são interpretadas conforme seu impacto ambiental e demanda por espaços e recursos naturais”*.

Em outras palavras, os atributos relativos aos aspectos de uso e ocupação do solo dizem respeito a algumas características intrínsecas à utilização do espaço geográfico que determinam a viabilidade para um uso em análise. No caso da seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos, em uma escala de abordagem regional, os aspectos de uso do solo importantes para a análise contemplam a identificação de funções de uso do solo atual, bem como dos respectivos graus de adensamento das áreas identificadas. Além disso, informações sobre a legislação relativa às formas de uso do solo existentes devem ser consideradas no mapeamento do uso do solo.

Face ao exposto, o mapeamento de uso do solo deve considerar as seguintes categorias:

a) Áreas com usos urbano e industrial. Incluem-se nesta categoria as áreas com uso urbano-industrial já instalado ou com possibilidade de expansão. Predominam as seguintes características: alta densidade de edificações em estágio consolidado ou em estágio de consolidação; baixa densidade de edificações e alto

índice de arborização (área de expansão urbana); áreas não edificadas, cujo entorno é ocupado por áreas urbanas ou por grandes equipamentos (vazios urbanos); áreas com predomínio de grandes equipamentos de forma concentrada, tais como indústrias, galpões, armazéns, estufas, aeroportos (áreas industriais).

b) Áreas de uso agro-industrial. Ocorrem pequenas propriedades de uso agro-industrial (processamento de cana-de-açúcar, laranja, por exemplo), caracterizadas pela presença esparsa de galpões, armazéns, estufas.

c) Áreas de uso rural. Predomina o uso rural, sendo ocupadas por agricultura, pastagem, reflorestamento e campo antrópico⁹. As edificações ocorrem de forma pontual e esparsa. Nestas áreas há possibilidade de reorganização do uso do solo.

d) Áreas de conservação ambiental. As Unidades de Conservação e áreas correlatas (tais como Estação Ecológica, Parque Ecológico, Área de Relevante Interesse Ecológico, Área de Proteção Ambiental - APA -, dentre outras) são porções do território protegidas por legislação específica, que definem e restringem o uso e ocupação do solo dentro dos seus limites e na área de entorno (SILVA & FORNASARI F^o 1992). Para a delimitação destas áreas, deve-se levar em conta as possibilidades inerentes à escala de observação. As áreas que não puderem ser delimitadas na etapa de avaliação regional, certamente o serão nas etapas posteriores.

Uma vez definidos os atributos de uso e ocupação do solo, bem como os critérios de análise, resta a elaboração da classificação dos mesmos para a geração do produto final, o Mapa de Áreas Potenciais para Disposição de Resíduos. Deste modo, as quatro categorias de uso e ocupação do solo devem ser classificadas quanto a sua viabilidade em receber empreendimentos para disposição de resíduos sólidos em: **áreas eliminadas; áreas pré-selecionadas com restrições; áreas pré-selecionadas sem restrições**. É importante destacar que na categoria relativa às áreas de conservação ambiental, cada caso deve ser avaliado isoladamente, considerando-se as definições e restrições legais estipuladas por legislação específica.

⁹ **Campo antrópico:** área cuja cobertura vegetal foi alterada pelo homem, sem, no entanto, estar cultivada ou urbanizada no momento (HOLL MC 2000, informação verbal).

A Tabela 10 reúne as características de cada uma das categorias, bem como de alguns tipos de unidades de conservação ambiental e apresenta sua classificação relativa à viabilidade em receber empreendimentos de disposição de resíduos sólidos.

B - Aspectos fisiográficos do terreno

As características do meio físico apresentam grande importância na seleção de áreas para disposição de resíduos uma vez que os elementos fisiográficos (solo, rocha, relevo, vegetação) que compõem o terreno interagem de forma variável. Desta forma, determinam diferentes condições de comportamento frente às ações antrópicas, além de associarem-se ao desenvolvimento de processos geodinâmicos. Assim, as características fisiográficas devem ser analisadas tanto para avaliar o impacto ao meio ambiente, quando ao empreendimento.

Nesta tese, a avaliação do terreno está centrada na análise dos elementos componentes do meio físico. O **meio físico** consiste numa porção do meio ambiente definido pelas relações entre materiais terrestres de composição predominantemente abiótica (rocha, relevo, solo/materiais inconsolidados, águas superficiais e subterrâneas, clima) com tipos naturais de energia (gravitacional, solar, energia interna da Terra e outras), incluindo as modificações decorrentes da ação biológica e humana (tipos de ocupação, condições sócio-econômicas). (ZUQUETTE 1993; BITAR 1996B).

Segundo os princípios apresentados, existem inúmeros atributos que podem ser analisados, porém interessa para esta proposta metodológica apenas aqueles que possam ser úteis à avaliação da adequabilidade das unidades do terreno para disposição de resíduos no nível de abordagem regional. A identificação dos atributos foi executada considerando-se sua influência na avaliação da vulnerabilidade natural à contaminação de aquíferos e da suscetibilidade a ocorrência de processos geodinâmicos (erosão, escorregamentos, inundações).

Desta forma, destacam-se os seguintes atributos: Litologia; Grau de fraturamento da rocha; Tipo de relevo; Declividade; Amplitude do relevo; Dinâmica superficial; Tipo de solo (textura); Espessura de solo; Profundidade do nível d'água.

Tabela 10. Categorias de uso e ocupação do solo caracterizadas e classificadas quanto a sua viabilidade em receber empreendimentos de disposição de resíduos sólidos. Incluem-se somente alguns tipos de unidades de conservação ambiental, a título de exemplo, uma vez que devem ser analisadas caso a caso.

CATEGORIA	CARACTERIZAÇÃO	CLASSIFICAÇÃO
<i>Áreas com usos urbano e industrial</i>	Incluem-se áreas com uso urbano-industrial já instalado ou com possibilidade de expansão, com as seguintes características: alta densidade de edificações em estágio consolidado ou em estágio de consolidação; baixa densidade de edificações e alto índice de arborização (área de expansão urbana); áreas não edificadas, cujo entorno é ocupado por áreas urbanas ou por grandes equipamentos (vazios urbanos); áreas com predomínio de grandes equipamentos de forma concentrada, tais como indústrias, galpões, armazéns, estufas, aeroportos (áreas industriais)	Área eliminada
<i>Áreas de uso agro-industrial</i>	Ocorrem pequenas propriedades de uso agro-industrial, caracterizadas pela presença esparsa de galpões, armazéns, estufas.	Área pré-selecionada com restrições
<i>Áreas de uso rural</i>	Predomina o uso rural, sendo ocupadas por agricultura, pastagem, reflorestamento e campo antrópico. As edificações ocorrem de forma pontual e esparsa. Há possibilidade de reorganização do uso do solo.	Área pré-selecionada sem restrições
<i>Unidades de conservação ambiental</i>	<i>Estação Ecológica:</i> Área representativa de ecossistemas brasileiros, onde pelo menos 90% da área é destinada à <i>preservação integral</i> . Na área restante podem ser desenvolvidas atividades de pesquisa e de educação ambiental, desde que exista um plano de zoneamento aprovado e que tais atividades não alterem o ambiente natural. Possui, portanto, alto grau de restrição ao uso do solo.	Área eliminada
	<i>Parque Ecológico:</i> área dotada de atributos naturais excepcionais e destinada à <i>preservação permanente</i> , sendo submetida à condição de inalienabilidade e indisponibilidade no seu todo. As atividades permitidas são as de fins científicos, culturais, educativos e recreativos. A coleta de frutos, sementes e outros produtos pode ser feita mediante autorização da administração do Parque e para fins científicos. Cada Parque Ecológico deve elaborar seu Plano de Manejo. Possui, portanto, alto grau de restrição ao uso do solo.	Área eliminada
	<i>Parque Estadual:</i> Área dotada de atributos naturais excepcionais e destinada à <i>preservação permanente</i> , sendo submetida à condição de inalienabilidade e indisponibilidade no seu todo. As atividades permitidas são as de fins científicos, culturais, educativos e recreativos. A coleta de frutos, sementes e outros produtos pode ser feita mediante autorização da administração do Parque e para fins científicos. Cada Parque Estadual deve elaborar seu Plano de Manejo. Possui, portanto, alto grau de restrição ao uso do solo.	Área eliminada
	<i>Área de Proteção Ambiental:</i> Área destinada a <i>proteção e conservação da qualidade ambiental e dos sistemas naturais existentes</i> , não implicando em desapropriação. Tem como objetivo promover a boa qualidade de vida da população local e à proteção dos ecossistemas regionais. As Áreas de Proteção Ambiental deverão ter um zoneamento ecológico-econômico que estabelecerá normas de uso e ocupação do solo específicas para cada zona.	Área pré-selecionada com restrições

Fonte: modificado de IG/SMA (1999).

Assim, os atributos do terreno definidos acima são combinados de diferentes maneiras, sob variados critérios de análise. Além disso, os aspectos peculiares de diferentes domínios fisiográficos (Bacia Sedimentar do Paraná e Embasamento Cristalino, por exemplo) determinam relações diversas entre as características do terreno e sua influência nas fragilidades do terreno. Neste contexto, podem ser enumerados não apenas os atributos como também as classes para avaliação dos mesmos, necessárias às análises propostas, tal como apresentado no Tabela 11.

Para a avaliação da **vulnerabilidade natural à contaminação de aquíferos**, um determinado atributo do terreno pode ser preponderante ou mais relevante que outros, devido ao seu contexto fisiográfico e à sua influência na migração e/ou na atenuação de um poluente (BROLLO ET AL. 2000). É o caso, por exemplo, do grau de fraturamento das rochas, atributo importante no contexto de Embasamento Cristalino, que reflete a presença de fraturas e zonas de fraturas de alta permeabilidade, as quais fornecem os caminhos preferenciais para os contaminantes. Essa maior importância relativa de determinado atributo pode determinar inclusive que, devido a sua forma de ocorrência, seja possível definir a classe de vulnerabilidade de uma UBC, independentemente das formas de ocorrência dos demais atributos (IG-SMA 1999).

Com base no exposto, são determinados e hierarquizados os atributos do terreno necessários à análise da vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos em diferentes domínios fisiográficos.

Assim, no domínio de Bacia Sedimentar a importância hierárquica dos atributos apresenta-se como segue: 1º) nível d'água; 2º) espessura de solo; 3º) tipo de solo; 4º) litologia.

Já no domínio do Embasamento Cristalino é definida a seguinte ordem hierárquica: 1º) grau de fraturamento da rocha; 2º) espessura de solo; 3º) tipo de solo; 4º) declividade.

Para a análise integrada de múltiplos atributos recomenda-se o estabelecimento de uma “árvore lógica”, onde esteja estruturada a inter-relação entre os parâmetros de análise para vulnerabilidade natural da água subterrânea à contaminação. Resultam, assim, quatro classes de vulnerabilidade: **muito alta, alta, média e baixa**.

Tabela 11. Atributos e classes para avaliação dos mesmos, para análise de fragilidades do meio físico em diferentes domínios fisiográficos (baseado em IG-SMA, 1999 e SOUZA, 2000).

BACIA SEDIMENTAR		EMBASAMENTO CRISTALINO	
ATRIBUTOS	CLASSES PARA AVALIAÇÃO DO ATRIBUTO	ATRIBUTOS	CLASSES PARA AVALIAÇÃO DO ATRIBUTO
LITOLOGIA	a) Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados (tais como: Aluviões arenosos; Arenitos médios ou grossos, etc.) b) Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados (tais como: Siltitos laminados; Siltitos areno-argilosos; Arenitos muito finos, silto-argilosos laminados; Arenitos finos pelíticos, lamitos arenosos e arenitos finos mal selecionados) c) Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados (tais como: Ritmitos silto-argilosos; Lamitos arenosos e arenitos lamíticos com grânulos; Lamitos, Argilitos, etc.)	GRAU DE FRATURAMENTO DA ROCHA	a) Alto b) Médio c) Baixo
TIPO DE RELEVO	a) Altamente dissecados e com altas declividades de forte ondulado (Morros e Morrotes, Colinas e Morrotes, Colinas Médias e Pequenas, Colinas Pequenas, por exemplo). b) Medianamente dissecados e de forte ondulado a ondulado (como Morros e Morrotes, Colinas e Morrotes, Colinas Médias e Amplas, Colinas Amplas e Médias, Colinas Médias e Pequenas, Colinas Médias, Colinas Pequenas, por exemplo). c) Pouco dissecados e de suave ondulado (como Colinas Amplas, Colinas Amplas de Topos Horizontalizados, Colinas Amplas e Médias, por exemplo).	ÂNGULO DE FOLIAÇÃO DA ROCHA EM RELAÇÃO AO PLANO DA VERTENTE	a) Concordante a pouco discordante b) Pouco discordante c) Discordante d) Muito discordante
TIPO DE SOLO	a) Argiloso b) Arenoso c) Siltoso d) Argilo-arenoso e) Argilo-siltoso f) Areno-argiloso g) Areno-siltoso h) Silto-argiloso i) Silto-arenoso	TIPO DE RELEVO	a) Muito dissecado (como Escarpas e Montanhas, por exemplo); b) Muito a medianamente dissecado (como Montanhas, Morros, Morrotes, por exemplo); c) Medianamente dissecado (como Morros e Morrotes, Colinas e Morrotes, Colinas Médias e Amplas, Colinas Médias e Pequenas, Colinas Médias, Colinas Pequenas, por exemplo); d) Pouco dissecado (como Colinas Amplas, Colinas Amplas e Médias, por exemplo).
ESPESSURA DE SOLO	a) 0 a 5 m b) 5 a 10 m c) > 10 m	MORFOMETRIA DO RELEVO - DECLIVIDADE	a) < 5° b) 5 a 30° c) > 30°
NÍVEL D'ÁGUA	a) 0 a 5 m b) 5 a 10 m c) 10 a 20 m d) > 20 m	TIPO DE SOLO	a) Argiloso b) Arenoso c) Siltoso d) Argilo-arenoso e) Argilo-siltoso f) Areno-argiloso g) Areno-siltoso h) Silto-argiloso i) Silto-arenoso
		ESPESSURA DE SOLO	a) 0 a 5 m b) 5 a 10 m c) > 10 m

A “árvore lógica” é um procedimento comumente utilizado quando se realiza uma análise baseada na inter-relação de múltiplos atributos e na qual os parâmetros de cada atributo possam apresentar influência variável na análise pretendida (ZUQUETTE 1993). As Tabelas 12 e 13 apresentam detalhadamente a inter-relação entre os atributos que levam à sua classificação em UBCs pertencentes ao domínio fisiográfico de Bacia Sedimentar e de Embasamento Cristalino, respectivamente.

Para efeito de seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos, as áreas com muito alta e alta vulnerabilidade têm caráter eliminatório, as áreas com média vulnerabilidade são pré-selecionadas com restrições e as áreas com baixa vulnerabilidade são pré-selecionadas sem restrições. Esta classificação pode ser melhor visualizada na Tabela 15, que engloba a avaliação geral das fragilidades do meio físico quanto à definição de áreas para disposição de resíduos.

A avaliação do terreno quanto a sua **suscetibilidade natural a processos geodinâmicos**, também se vale da análise integrada de alguns dos atributos previamente definidos: grau de fraturamento da rocha; ângulo de foliação da rocha em relação ao plano da vertente; tipo de relevo; declividade; tipo de solo (textura); espessura de solo.

Estes atributos assumem diferentes graus de importância quando se considera a ocorrência dos fenômenos geodinâmicos mais relevantes em diferentes domínios fisiográficos. Desta forma, é conveniente proceder à análise em questão de forma setORIZADA, ou seja, no domínio de Bacia Sedimentar são analisadas erosão e inundação, enquanto no Embasamento Cristalino incluem-se ainda os escorregamentos.

Na superfície de um terreno, o processo de erosão do solo pela água promove a desagregação e remoção de partículas de solo pela ação combinada da gravidade, da água precipitada e de escoamento. Assim sendo, propriedades intrínsecas dos materiais do terreno (como permeabilidade, coesão, etc.) sofrem a ação de elementos extrínsecos e, a depender da suscetibilidade natural do terreno, terão o processo desencadeado ou não. Estas propriedades intrínsecas são determinadas pela interação entre os diferentes atributos do terreno que, no domínio de Bacia Sedimentar tem seus critérios de análise fundamentados em: *tipo*

de relevo; tipo de solo (textura); e espessura de solo. A forma como estes atributos se inter-relacionam é definida por meio da matriz de análise apresentada na Tabela 14, que determina quatro classes de suscetibilidade (muito alta, *alta*, *média* e *baixa*).

Nesta proposta metodológica pode-se entender o termo escorregamento de forma genérica como “todo e qualquer movimento coletivo de materiais terrosos e/ou rochosos, independentemente da diversidade de processos, causas, velocidades, formas e demais características” (GUIDICINI & NIEBLE 1984). Neste caso, elementos intrínsecos ao terreno, sob o efeito ou não de elementos extrínsecos, têm suas forças de resistência diminuídas, desencadeando o processo. Este é um dos processos mais relevantes no domínio de Embasamento Cristalino, podendo quase sempre estar associado a processos erosivos.

Isto posto, fica claro que para a determinação da suscetibilidade a ocorrência de erosão e escorregamentos no domínio de Embasamento Cristalino é necessária a análise integrada de vários dos atributos listados na Tabela 11, a saber: *grau de fraturamento da rocha; ângulo de foliação da rocha em relação ao plano da vertente; tipo de relevo; declividade; tipo de solo (textura); espessura de solo.* Como resultado são determinadas quatro classes de suscetibilidade (*muito alta*, *alta*, *média* e *baixa*), definidas por meio da matriz de análise apresentada na Tabela 14.

Quanto ao termo inundação, este consiste num tipo particular de cheia ou enchente, onde a vazão supera a capacidade de descarga dos cursos d'água, acarretando o extravasamento das águas para áreas marginais (OHNUMA ET AL. 1994). Dada a escala de abordagem regional empregada nesta proposta metodológica, a avaliação da suscetibilidade a ocorrência de inundação é efetuada exclusivamente para as UBCs associadas aos depósitos aluvionares, tanto no domínio da Bacia Sedimentar, como no do Embasamento Cristalino. Este tipo de avaliação resulta em quatro classes de suscetibilidade (*muito alta*, *alta*, *média* e *baixa*), definidas através de análise matricial tal como ilustrado na Tabela 14, em que são considerados os atributos: *tipo de relevo; e tipo de solo (textura).* Vários autores consideram diversos tipos de atributos para esta análise, porém estes são inerentes ao contexto em que se encontra o depósito aluvionar, ou seja, pequena espessura de solo, nível d'água raso, etc.

Tabela 12 . “Árvore Lógica” para análise do domínio fisiográfico de Bacia Sedimentar frente à vulnerabilidade natural dos aquíferos à contaminação. Fonte: adaptado de IG/SMA (1999).

NÍVEL D'ÁGUA	ESPESSURA DE SOLO	TIPO DE SOLO	LITOLOGIA	CLASSIFICAÇÃO QUANTO A VULNERABILIDADE
0-5 m	não importa	não importa	não importa	MUITO ALTA
5-10 m	0-5 m	Arenoso	não importa	MUITO ALTA
		Areno-siltoso	não importa	MUITO ALTA
		Areno-Argiloso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	MUITO ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	MUITO ALTA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	ALTA
		Siltoso	não importa	MUITO ALTA
		Silte-arenoso	não importa	MUITO ALTA
		Silte-argiloso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	MUITO ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	MUITO ALTA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	MUITO ALTA
		Argiloso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	MUITO ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	ALTA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	ALTA
		Argilo-arenoso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	MUITO ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	MUITO ALTA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	ALTA a média
		Argilo-siltoso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	MUITO ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	MUITO ALTA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	ALTA
	5-10 m	Arenoso	não importa	MUITO ALTA
		Areno-siltoso	não importa	MUITO ALTA
		Areno-Argiloso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	ALTA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	MÉDIA
		Siltoso	não importa	MUITO ALTA
		Silte-arenoso	não importa	MUITO ALTA
		Silte-argiloso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	ALTA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	ALTA
		Argiloso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	MÉDIA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	MÉDIA

Tabela 12 (continuação). “Árvore Lógica” para análise do domínio fisiográfico de Bacia Sedimentar frente à vulnerabilidade natural dos aquíferos à contaminação. Fonte: adaptado de IG/SMA (1999).

NÍVEL D'ÁGUA	ESPESSURA DE SOLO	TIPO DE SOLO	LITOLOGIA	CLASSIFICAÇÃO QUANTO A VULNERABILIDADE
5-10 m	5-10 m	Argilo-arenoso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	ALTA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	ALTA
		Argilo-siltoso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	ALTA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	ALTA
	> 10 m	Arenoso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	ALTA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	ALTA
		Areno-siltoso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	ALTA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	ALTA
		Areno-Argiloso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	ALTA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	ALTA
		Siltoso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	ALTA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	ALTA
		Silte-arenoso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	ALTA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	ALTA
		Silte-argiloso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	ALTA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	ALTA
		Argiloso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	MÉDIA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	MÉDIA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	MÉDIA
		Argilo-arenoso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	ALTA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	ALTA
		Argilo-siltoso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	ALTA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	ALTA

Tabela 12 (continuação). “Árvore Lógica” para análise do domínio fisiográfico de Bacia Sedimentar frente à vulnerabilidade natural dos aquíferos à contaminação. Fonte: adaptado de IG/SMA (1999).

NÍVEL D'ÁGUA	ESPESSURA DE SOLO	TIPO DE SOLO	LITOLOGIA	CLASSIFICAÇÃO QUANTO A VULNERABILIDADE
10-20 m	0-5 m	Arenoso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	ALTA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	MÉDIA
		Areno-siltoso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	ALTA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	MÉDIA
		Areno-Argiloso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	ALTA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	MÉDIA
		Siltoso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	ALTA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	MÉDIA
		Silte-arenoso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	ALTA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	MÉDIA
		Silte-argiloso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	ALTA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	MÉDIA
		Argiloso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	MÉDIA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	ALTA
		Argilo-arenoso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	ALTA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	MÉDIA
		Argilo-siltoso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	ALTA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	MÉDIA
	5-10 m	Arenoso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	ALTA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	MÉDIA
		Areno-siltoso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	ALTA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	MÉDIA

Tabela 12 (continuação). “Árvore Lógica” para análise do domínio fisiográfico de Bacia Sedimentar frente à vulnerabilidade natural dos aquíferos à contaminação. Fonte: adaptado de IG/SMA (1999).

NÍVEL D'ÁGUA	ESPESSURA DE SOLO	TIPO DE SOLO	LITOLOGIA	CLASSIFICAÇÃO QUANTO A VULNERABILIDADE
10-20 m	5-10 m	Areno-Argiloso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	ALTA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	MÉDIA
		Siltoso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	ALTA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	MÉDIA
		Silte-arenoso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	ALTA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	MÉDIA
		Silte-argiloso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	ALTA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	MÉDIA
		Argiloso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	MÉDIA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	MÉDIA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	BAIXA
		Argilo-arenoso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	MÉDIA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	MÉDIA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	BAIXA
		Argilo-siltoso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	MÉDIA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	MÉDIA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	MÉDIA
	10-20 m	Arenoso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	ALTA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	ALTA
		Areno-siltoso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	ALTA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	ALTA
		Areno-Argiloso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	MÉDIA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	MÉDIA
		Siltoso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	ALTA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	ALTA

Tabela 12 (continuação). “Árvore Lógica” para análise do domínio fisiográfico de Bacia Sedimentar frente à vulnerabilidade natural dos aquíferos à contaminação. Fonte: adaptado de IG/SMA (1999).

NÍVEL D'ÁGUA	ESPESSURA DE SOLO	TIPO DE SOLO	LITOLOGIA	CLASSIFICAÇÃO QUANTO A VULNERABILIDADE
10-20 m	10-20 m	Silte-arenoso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	ALTA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	ALTA
		Silte-argiloso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	ALTA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	ALTA
		Argiloso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	MÉDIA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	BAIXA
		Argilo-arenoso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	MÉDIA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	BAIXA
		Argilo-siltoso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	MÉDIA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	BAIXA
> 20 m	0-5 m	Arenoso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	ALTA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	BAIXA
		Areno-siltoso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	ALTA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	BAIXA
		Areno-Argiloso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	MÉDIA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	BAIXA
		Siltoso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	ALTA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	BAIXA
		Silte-arenoso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	ALTA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	BAIXA
		Silte-argiloso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	ALTA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	BAIXA
		Argiloso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	ALTA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	BAIXA
		Silte-argiloso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	ALTA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	BAIXA

Tabela 12 (continuação) . “Árvore Lógica” para análise do domínio fisiográfico de Bacia Sedimentar frente à vulnerabilidade natural dos aquíferos à contaminação. Fonte: adaptado de IG/SMA (1999).

NÍVEL D'ÁGUA	ESPESSURA DE SOLO	TIPO DE SOLO	LITOLOGIA	CLASSIFICAÇÃO QUANTO A VULNERABILIDADE
> 20 m	0-5 m	Argiloso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	MÉDIA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	BAIXA
		Argilo-arenoso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	MÉDIA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	BAIXA
		Argilo-siltoso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	MÉDIA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	BAIXA
	5-10 m	Arenoso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	MÉDIA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	BAIXA
		Areno-siltoso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	MÉDIA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	BAIXA
		Areno-Argiloso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	MÉDIA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	BAIXA
		Siltoso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	MÉDIA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	BAIXA
		Silte-arenoso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	MÉDIA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	BAIXA
		Silte-argiloso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	MÉDIA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	BAIXA
		Argiloso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	MÉDIA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	BAIXA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	BAIXA
		Argilo-arenoso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	MÉDIA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	BAIXA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	BAIXA

Tabela 12 (continuação). “Árvore Lógica” para análise do domínio fisiográfico de Bacia Sedimentar frente à vulnerabilidade natural dos aquíferos à contaminação. Fonte: adaptado de IG/SMA (1999).

NÍVEL D'ÁGUA	ESPESSURA DE SOLO	TIPO DE SOLO	LITOLOGIA	CLASSIFICAÇÃO QUANTO A VULNERABILIDADE
> 20 m	5-10 m	Argilo-siltoso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	MÉDIA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	BAIXA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	BAIXA
	> 10 m	Arenoso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	MÉDIA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	MÉDIA
		Areno-siltoso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	MÉDIA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	MÉDIA
		Areno-Argiloso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	MÉDIA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	BAIXA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	BAIXA
		Siltoso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	MÉDIA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	MÉDIA
		Silte-arenoso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	MÉDIA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	MÉDIA
		Silte-argiloso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	ALTA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	MÉDIA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	MÉDIA
		Argiloso	não importa	BAIXA
		Argilo-arenoso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	BAIXA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	BAIXA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	BAIXA
		Argilo-siltoso	Litotipos essencialmente arenosos e mal consolidados	BAIXA
			Litotipos de caráter misto, medianamente consolidados	BAIXA
			Litotipos argilosos, medianamente a bem consolidados	BAIXA

Tabela 13. “Árvore Lógica” para análise do domínio fisiográfico de Embasamento Cristalino frente à vulnerabilidade natural dos aquíferos à contaminação. Fonte: adaptado de IG/SMA (1999).

GRAU DE FRATURAMENTO	ESPESSURA DE SOLO	TIPO DE SOLO	DECLIVIDADE	CLASSIFICAÇÃO QUANTO A VULNERABILIDADE
Alto	0 – 5 m	Arenoso	Não importa	MUITO ALTA
		Areno-siltoso	< 5°	MUITO ALTA
			5 – 30°	MUITO ALTA
			> 30°	MUITO ALTA
		Areno-argiloso	< 5°	ALTA
			5 – 30°	ALTA
			> 30°	ALTA
		Siltoso	< 5°	MUITO ALTA
			5 – 30°	MUITO ALTA
			> 30°	MUITO ALTA
		Silte-arenoso	< 5°	MUITO ALTA
			5 – 30°	MUITO ALTA
			> 30°	MUITO ALTA
		Silte-argiloso	< 5°	ALTA
			5 – 30°	ALTA
			> 30°	ALTA
		Argiloso	< 5°	ALTA
			5 – 30°	ALTA
			> 30°	MÉDIA
		Argilo-arenoso	< 5°	ALTA
			5 – 30°	ALTA
			> 30°	MÉDIA
		Argilo-siltoso	< 5°	ALTA
			5 – 30°	ALTA
			> 30°	MÉDIA
	5 – 10 m	Arenoso	< 5°	ALTA
			5 – 30°	ALTA
			> 30°	ALTA
		Areno-siltoso	< 5°	ALTA
			5 – 30°	ALTA
			> 30°	ALTA
		Areno-argiloso	< 5°	MÉDIA
			5 – 30°	MÉDIA
			> 30°	MÉDIA

Tabela 13 (continuação). “Árvore Lógica” para análise do domínio fisiográfico de Embasamento Cristalino frente à vulnerabilidade natural dos aquíferos à contaminação. Fonte: adaptado de IG/SMA (1999).

GRAU DE FRATURAMENTO	ESPESSURA DE SOLO	TIPO DE SOLO	DECLIVIDADE	CLASSIFICAÇÃO QUANTO A VULNERABILIDADE
Alto	5 – 10 m	Siltoso	< 5°	ALTA
			5 – 30°	ALTA
			> 30°	ALTA
		Silte-arenoso	< 5°	ALTA
			5 – 30°	ALTA
			> 30°	ALTA
		Silte-argiloso	< 5°	ALTA
			5 – 30°	ALTA
			> 30°	MÉDIA
		Argiloso	< 5°	MÉDIA
			5 – 30°	MÉDIA
			> 30°	BAIXA
		Argilo-arenoso	< 5°	MÉDIA
			5 – 30°	MÉDIA
			> 30°	BAIXA
		Argilo-siltoso	< 5°	MÉDIA
			5 – 30°	MÉDIA
			> 30°	BAIXA
	> 10 m	Arenoso	< 5°	ALTA
			5 – 30°	ALTA
			> 30°	ALTA
		Areno-siltoso	< 5°	ALTA
			5 – 30°	ALTA
			> 30°	ALTA
		Areno-argiloso	< 5°	MÉDIA
			5 – 30°	MÉDIA
			> 30°	MÉDIA
		Siltoso	< 5°	ALTA
			5 – 30°	ALTA
			> 30°	ALTA
		Silte-arenoso	< 5°	ALTA
			5 – 30°	ALTA
			> 30°	ALTA

Tabela 13 (continuação). “Árvore Lógica” para análise do domínio fisiográfico de Embasamento Cristalino frente à vulnerabilidade natural dos aquíferos à contaminação. Fonte: adaptado de IG/SMA (1999).

GRAU DE FRATURAMENTO	ESPESSURA DE SOLO	TIPO DE SOLO	DECLIVIDADE	CLASSIFICAÇÃO QUANTO A VULNERABILIDADE
Alto	> 10 m	Silte-argiloso	< 5°	ALTA
			5 – 30°	ALTA
			> 30°	MÉDIA
		Argiloso	< 5°	BAIXA
			5 – 30°	BAIXA
			> 30°	BAIXA
		Argilo-arenoso	< 5°	BAIXA
			5 – 30°	BAIXA
			> 30°	BAIXA
		Argilo-siltoso	< 5°	BAIXA
			5 – 30°	BAIXA
			> 30°	BAIXA
Médio	0 – 5 m	Arenoso	Não importa	ALTA
			< 5°	ALTA
			5 – 30°	ALTA
		Areno-siltoso	< 5°	ALTA
			5 – 30°	ALTA
			> 30°	ALTA
		Areno-argiloso	< 5°	ALTA
			5 – 30°	ALTA
			> 30°	MÉDIA
		Siltoso	< 5°	ALTA
			5 – 30°	ALTA
			> 30°	ALTA
		Silte-arenoso	< 5°	ALTA
			5 – 30°	ALTA
			> 30°	ALTA
		Silte-argiloso	< 5°	ALTA
			5 – 30°	ALTA
			> 30°	MÉDIA
		Argiloso	< 5°	MÉDIA
			5 – 30°	MÉDIA
			> 30°	MÉDIA
		Argilo-arenoso	< 5°	MÉDIA
			5 – 30°	MÉDIA
			> 30°	MÉDIA

Tabela 13 (continuação). “Árvore Lógica” para análise do domínio fisiográfico de Embasamento Cristalino frente à vulnerabilidade natural dos aquíferos à contaminação. Fonte: adaptado de IG/SMA (1999).

GRAU DE FRATURAMENTO	ESPESSURA DE SOLO	TIPO DE SOLO	DECLIVIDADE	CLASSIFICAÇÃO QUANTO A VULNERABILIDADE
Médio	0 – 5 m	Argilo-siltoso	< 5°	MÉDIA
			5 – 30°	MÉDIA
			> 30°	MÉDIA
	5 – 10 m	Arenoso	< 5°	ALTA
			5 – 30°	ALTA
			> 30°	ALTA
		Areno-siltoso	< 5°	ALTA
			5 – 30°	ALTA
			> 30°	ALTA
		Areno-argiloso	< 5°	MÉDIA
			5 – 30°	MÉDIA
			> 30°	MÉDIA
		Siltoso	< 5°	ALTA
			5 – 30°	ALTA
			> 30°	ALTA
		Silte-arenoso	< 5°	ALTA
			5 – 30°	ALTA
			> 30°	ALTA
		Silte-argiloso	< 5°	ALTA
			5 – 30°	ALTA
			> 30°	MÉDIA
		Argiloso	< 5°	MÉDIA
			5 – 30°	BAIXA
			> 30°	BAIXA
		Argilo-arenoso	< 5°	MÉDIA
			5 – 30°	BAIXA
			> 30°	BAIXA
		Argilo-siltoso	< 5°	MÉDIA
			5 – 30°	BAIXA
			> 30°	BAIXA
	> 10 m	Arenoso	< 5°	ALTA
			5 – 30°	ALTA
			> 30°	ALTA
		Areno-siltoso	< 5°	ALTA

Tabela 13 (continuação). “Árvore Lógica” para análise do domínio fisiográfico de Embasamento Cristalino frente à vulnerabilidade natural dos aquíferos à contaminação. Fonte: adaptado de IG/SMA (1999).

GRAU DE FRATURAMENTO	ESPESSURA DE SOLO	TIPO DE SOLO	DECLIVIDADE	CLASSIFICAÇÃO QUANTO A VULNERABILIDADE
Médio	> 10 m	Areno-siltoso	5 – 30º	ALTA
			> 30º	ALTA
		Areno-argiloso	< 5º	MÉDIA
			5 – 30º	BAIXA
			> 30º	BAIXA
		Siltoso	< 5º	ALTA
			5 – 30º	ALTA
			> 30º	ALTA
		Silte-arenoso	< 5º	ALTA
			5 – 30º	ALTA
			> 30º	ALTA
		Silte-argiloso	< 5º	ALTA
			5 – 30º	MÉDIA
			> 30º	MÉDIA
		Argiloso	< 5º	BAIXA
			5 – 30º	BAIXA
			> 30º	BAIXA
		Argilo-arenoso	< 5º	BAIXA
			5 – 30º	BAIXA
			> 30º	BAIXA
		Argilo-siltoso	< 5º	MÉDIA
5 – 30º	BAIXA			
> 30º	BAIXA			
Baixo	0 – 5 m	Arenoso	Não importa	ALTA
		Areno-siltoso	< 5º	ALTA
			5 – 30º	ALTA
			> 30º	ALTA
		Areno-argiloso	< 5º	MÉDIA
			5 – 30º	MÉDIA
			> 30º	MÉDIA
		Siltoso	< 5º	ALTA
			5 – 30º	ALTA
			> 30º	ALTA
Silte-arenoso	< 5º	ALTA		

Tabela 13 (continuação). “Árvore Lógica” para análise do domínio fisiográfico de Embasamento Cristalino frente à vulnerabilidade natural dos aquíferos à contaminação. Fonte: adaptado de IG/SMA (1999).

GRAU DE FRATURAMENTO	ESPESSURA DE SOLO	TIPO DE SOLO	DECLIVIDADE	CLASSIFICAÇÃO QUANTO A VULNERABILIDADE
Baixo	0 – 5 m	Silte-arenoso	5 – 30°	ALTA
			> 30°	ALTA
		Silte-argiloso	< 5°	ALTA
			5 – 30°	ALTA
			> 30°	ALTA
		Argiloso	< 5°	MÉDIA
			5 – 30°	BAIXA
			> 30°	BAIXA
		Argilo-arenoso	< 5°	MÉDIA
			5 – 30°	MÉDIA
			> 30°	BAIXA
		Argilo-siltoso	< 5°	MÉDIA
			5 – 30°	MÉDIA
			> 30°	MÉDIA
	5 – 10 m	Arenoso	< 5°	MÉDIA
			5 – 30°	MÉDIA
			> 30°	MÉDIA
		Areno-siltoso	< 5°	MÉDIA
			5 – 30°	MÉDIA
			> 30°	MÉDIA
		Areno-argiloso	< 5°	MÉDIA
			5 – 30°	BAIXA
			> 30°	BAIXA
		Siltoso	< 5°	MÉDIA
			5 – 30°	MÉDIA
			> 30°	MÉDIA
		Silte-arenoso	< 5°	MÉDIA
			5 – 30°	MÉDIA
			> 30°	MÉDIA
		Silte-argiloso	< 5°	MÉDIA
			5 – 30°	MÉDIA
			> 30°	MÉDIA
		Argiloso	< 5°	BAIXA
			5 – 30°	BAIXA

Tabela 13 (continuação). “Árvore Lógica” para análise do domínio fisiográfico de Embasamento Cristalino frente à vulnerabilidade natural dos aquíferos à contaminação. Fonte: adaptado de IG/SMA (1999).

GRAU DE FRATURAMENTO	ESPESSURA DE SOLO	TIPO DE SOLO	DECLIVIDADE	CLASSIFICAÇÃO QUANTO A VULNERABILIDADE
Baixo	5 – 10 m	Argiloso	> 30°	BAIXA
		Argilo-arenoso	< 5°	BAIXA
			5 – 30°	BAIXA
			> 30°	BAIXA
		Argilo-siltoso	< 5°	BAIXA
			5 – 30°	BAIXA
			> 30°	BAIXA
	> 10 m	Arenoso	< 5°	MÉDIA
			5 – 30°	MÉDIA
			> 30°	MÉDIA
		Areno-siltoso	< 5°	MÉDIA
			5 – 30°	MÉDIA
			> 30°	MÉDIA
		Areno-argiloso	< 5°	BAIXA
			5 – 30°	BAIXA
			> 30°	BAIXA
		Siltoso	< 5°	MÉDIA
			5 – 30°	MÉDIA
			> 30°	MÉDIA
		Silte-arenoso	< 5°	MÉDIA
			5 – 30°	MÉDIA
			> 30°	MÉDIA
		Silte-argiloso	< 5°	MÉDIA
			5 – 30°	MÉDIA
			> 30°	BAIXA
		Argiloso	< 5°	BAIXA
			5 – 30°	BAIXA
			> 30°	BAIXA
		Argilo-arenoso	< 5°	BAIXA
			5 – 30°	BAIXA
			> 30°	BAIXA
		Argilo-siltoso	< 5°	BAIXA
			5 – 30°	BAIXA
			> 30°	BAIXA

CLASSES DE SUSCETIBILIDADE	ATRIBUTOS PARA ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE À OCORRÊNCIA DE EROÇÃO NO DOMÍNIO DE BACIA SEDIMENTAR			ATRIBUTOS PARA ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE À OCORRÊNCIA DE ESCORREGAMENTOS E EROÇÃO NO DOMÍNIO DE EMBASAMENTO CRISTALINO						ATRIBUTOS PARA ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE À OCORRÊNCIA DE INUNDAÇÃO EM PLANÍCIES ALUVIONARES	
	TIPO DE RELEVO	TIPO DE SOLO	ESPESSURA DE SOLO	GRAU DE FRATURAMENTO DA ROCHA	ÂNGULO DE FOLIAÇÃO DA ROCHA EM RELAÇÃO AO PLANO DA VERTENTE	TIPO DE RELEVO	DECLIVIDADE	TIPO DE SOLO	ESPESSURA DE SOLO	TIPO DE RELEVO	TIPO DE SOLO
MUITO ALTA	-	-	-	Extremamente fraturado	Concordante a pouco discordante	Muito dissecado (Escarpas e Montanhas, por exemplo)	> 30º	Arenoso a areno-siltoso . Pode ocorrer campo de matações.	1 a 10 m	Planície fluvial	Pacotes métricos de areias finas silticas a argilas, micáceas, intercaladas por lentes locais de areias médias
ALTA	Altamente dissecados e com altas declividades de forte ondulado (Morros e Morrotes, Colinas e Morrotes, Colinas Médias e Pequenas, Colinas Pequenas, por exemplo).	a) Arenoso b) Siltoso c) Areno-Siltoso, d) Silte-Arenoso e) Silte-Argiloso	< 5m.	Muito fraturado	Pouco discordante	Muito a medianamente dissecado (Montanhas, Morros, Morrotes, por exemplo)	15-30º	Areno-argiloso a siltico-argiloso. Pode ocorrer campo de matações.	1 a 10 m	Terraço	Pacotes métricos de areias finas silticas a argilas, micáceas, intercaladas por lentes locais de areias médias
MÉDIA	Medianamente dissecados e de forte ondulado a ondulado (como Morros e Morrotes, Colinas e Morrotes, Colinas Médias e Amplas, Colinas Amplas e Médias, Colinas Médias e Pequenas, Colinas Médias, Colinas Pequenas, por exemplo).	a) Areno-Argiloso, b) Argilo-Siltoso.	5 a 10m.	Medianamente fraturado	Discordante	Medianamente dissecado (Morros e Morrotes, Colinas e Morrotes, Colinas Médias e Amplas, Colinas Médias e Pequenas, Colinas Médias, Colinas Pequenas, por exemplo).	5-15º	Argilo-arenoso	1 a 10 m	Terraço	Areias médias a grossas com grânulos, micáceas, muito mal selecionadas; raros depósitos de cascalho
BAIXA	Pouco dissecados e de suave ondulado (como Colinas Amplas, Colinas Amplas de Topos Horizontalizados, Colinas Amplas e Médias, por exemplo).	a) Argilo-Arenosa b) Argiloso.	> 10m.	Pouco fraturado	Muito discordante	Pouco dissecado (Colinas Amplas, Colinas Amplas e Médias, por exemplo).	< 5º	Argiloso	5 a 10 m	-	-

Tabela 14. Critérios considerados na análise de fragilidades do meio físico (erosão, escorregamentos e inundação) em diferentes domínios fisiográficos (adaptado de IG/SMA, 1999 e Souza, 2000).

A Tabela 15 sintetiza a avaliação geral das fragilidades do meio físico quanto à definição de áreas para disposição de resíduos, destacando aquelas que apresentam caráter eliminatório das que são pré-selecionadas.

Tabela 15. Matriz de classificação das fragilidades do meio físico quanto à definição de áreas potenciais para disposição de resíduos sólidos.

CLASSIFICAÇÃO DO TERRENO QUANTO A ÁREAS POTENCIAIS PARA DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS	Classe de vulnerabilidade natural à contaminação de aquíferos	Classe de suscetibilidade natural a processos geodinâmicos		
		Erosão em domínio de Bacia Sedimentar	Erosão e escorregamento em domínio de Embasamento Cristalino	Inundação em Planícies Aluvionares
Áreas eliminadas	Muito alta Alta	Alta	Muito alta Alta	Alta Média Baixa
Áreas pré-selecionadas com restrições	Média	Média	Média	-
Áreas pré-selecionadas sem restrições	Baixa	Baixa	Baixa	-

2.2. Métodos e técnicas

Uma vez definidos os atributos diretamente relacionados com a seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos na escala de abordagem regional é necessário estabelecer os caminhos necessários para a obtenção destes atributos. É premissa desta metodologia que os caminhos sejam rápidos e de baixo custo, sem que haja o comprometimento da confiabilidade e qualidade dos dados. Desta forma, o uso de **sensoriamento remoto** é bastante viável para a obtenção dos dados e informações de forma indireta.

Outra situação que se coloca é a organização destes dados de forma a viabilizar o uso de **sistemas de informações geográficas** para a obtenção dos mapas temáticos, bem como de consultas diversas relativas aos temas envolvidos nas análises.

Neste item da Parte III serão apresentadas todas as etapas operacionais da

metodologia proposta, bem como os princípios nas quais se baseiam, mostrando os caminhos lógicos de construção dos mapas temáticos e de como eles devem se integrar para a obtenção do Mapa de Áreas Potenciais para Disposição de Resíduos Sólidos.

2.2.1. Levantamento de informações básicas

A - Compilação de dados bibliográficos e cartográficos e elaboração do mapa-base

Um dos princípios básicos da cartografia geotécnica refere-se ao uso de informações e dados pré-existentes para a elaboração de mapas temáticos, de forma a minimizar custos e tempo de execução do trabalho. No transcorrer desta etapa operacional deve-se ter em mente sempre o objetivo do trabalho e toda a metodologia envolvida, de forma a otimizar a tarefa de levantamento e compilação de dados. Da bibliografia são selecionadas várias hipóteses de trabalho nos planos interpretativo e operativo, bem como informações diversificadas que podem interessar, em qualquer fase do cronograma pré-estabelecido (AGUIAR 1997).

No contexto desta proposta metodológica é importante ter atenção redobrada em artigos científicos e técnico-científicos que possam trazer, para a área geográfica em análise, informações sobre os atributos básicos delimitados nas Tabelas 10 e 11. Incluem-se nesta investigação os atributos que possam sofrer interpretações e de maneira indireta gerar os atributos básicos.

Basicamente, podem ser citados como fontes importantes de análise os mapas geológicos, geomorfológicos, hidrogeológicos, pedológicos, geotécnicos, de legislação e de uso e ocupação do solo. Deve-se ter cautela com relação à escala destes documentos cartográficos, que pode implicar ou não em generalização, extrapolação e interpolação das informações.

AGUIAR (1997) alerta também para as informações sobre os tipos de projeções cartográficas e origens de coordenadas, cuja ausência ou incorreção pode implicar em descarte das informações, uma vez que as mesmas não poderão ser georeferenciadas.

Além dos dados temáticos, cuidado especial deve ser tomado na obtenção dos documentos cartográficos que subsidiarão a confecção da **base cartográfica**. Em geral são utilizados mapas plani-altimétricos do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) e do IGC (Instituto Geográfico e Cartográfico), nem sempre disponíveis na escala necessária às análises pretendidas, além de ainda não estarem disponíveis em formato digital. Estes órgãos responsáveis pela produção de cartas topográficas, apenas recentemente estão viabilizando a produção dessas bases cartográficas em formato digital, mesmo assim a partir das bases muito desatualizadas quanto às informações plani-altimétricas.

Uma vez obtidos os documentos cartográficos que comporão a base cartográfica é necessária a sua transformação para o meio digital. Posteriormente devem passar por edição, para adequação de curvas de nível e simplificação da rede de drenagem, principalmente. Também deve ocorrer a atualização da malha viária, com adequação para a escala de análise dos temas, o que pode ser obtido com o auxílio de imagens de satélite. Os elementos cartográficos definidos para a composição do mapa-base devem estar plenamente georeferenciados, observando-se corretamente o sistema de projeção e fuso em que se encontram, de forma a garantir uma fiel representação espacial dos atributos a serem mapeados.

Ultimamente os usuários de bases cartográficas passaram a ser também os produtores dessas bases cartográficas digitais, muitas vezes sem ter a capacitação para isso. E sem uma sistematização dessa produção, ou, ao menos, a orientação e controle de como isso deve ser feito, essas bases digitais têm sua qualidade muito comprometida, ou, no mínimo, são impróprias para a transferência entre “ambientes” e, conseqüentemente, para o intercâmbio e integração de produtos cartográficos entre diferentes usuários.

B - Seleção de produtos de sensoriamento remoto

Embora existam inúmeros tipos de produtos de sensores remotos, esta proposta metodológica leva em consideração os produtos do sistema TM-Landsat, na escala 1:100.000, dada sua grande utilidade para as interpretações previstas (análise de uso e ocupação do solo e compartimentação fisiográfica), frente ao conjunto de características temporais, espectrais, espaciais e sinópticas. Além

disso, apresentam um grande acervo de imagens disponível e com facilidade de aquisição em relação aos outros produtos (como imagens de radar, imagens SPOT, fotografias aéreas, etc.).

Assim, para a seleção do produto a ser utilizado deve-se levar em consideração as características das imagens e as particularidades das áreas de estudo. Além disso, devem ser analisadas as características específicas sobre as imagens, tais como ângulo de elevação solar, cobertura de nuvens, azimute etc., que possam favorecer e/ou dificultar a interpretação das cenas. A seleção do melhor produto para a análise, portanto, depende dos objetivos do estudo, das características fisiográficas da área e dos elementos de análise e critérios que serão utilizados pelo intérprete. A adoção de técnicas de tratamento de imagens pode significar um auxílio adicional nas análises de uso e ocupação do solo e de compartimentação fisiográfica.

Para a seleção da imagem a ser utilizada, alguns aspectos devem ser observados. Quando a análise da imagem for baseada na observação de elementos texturais de relevo, determinados pelos efeitos de sombreamento da cena, dois aspectos devem ser observados: o ângulo de elevação solar e a banda espectral a ser utilizada. Quando a análise de elementos de drenagem se der em regiões aplainadas, como planícies costeiras ou setores de bacias sedimentares, o efeito de sombreamento da cena pode não ser suficiente para a identificação dessas drenagens. Nesse caso a escolha de outras bandas ou composições coloridas, que realcem a presença de matas galerias ou mesmo a umidade do solo, pode ser mais adequado. Quando a análise for baseada em elementos texturais determinados por propriedades espectrais dos elementos componentes do terreno (solos, rochas, vegetação, água) deve-se identificar, a partir da literatura técnica, quais bandas espectrais ou composições coloridas, permitam contrastes adequados para o elemento analisado.

Por exemplo, a combinação das bandas 3, 4, 5, 7 é bastante útil para o estudo dos movimentos gravitacionais de massa (OKIDA 1996; BUENO *ET AL.* 2000), enquanto a combinação das bandas 3, 4 e 5 se presta a estudos de caracterização lito-estrutural e seleção de áreas favoráveis à captação de água subterrânea (KLEIN *ET AL.* 1999; SILVA NETO & BARBOSA 2000), bem como para mapeamento geoambiental (SILVA JUNIOR *ET AL.* 1999). Já a combinação das bandas 1, 2, 3 e 7

subsidiar estudos de poluição de águas superficiais através da correlação com o teor de clorofila, importante indicador de eutrofização de um corpo d'água (GONÇALVES & CAMPANA 1999). A banda 3 apresenta-se adequada para estudos urbanos (COSTA & CINTRA 1993), ao passo que para estudos relativos à compartimentação fisiográfica de terrenos a combinação da banda 4 e da composição colorida 3B/4R/5G parece ser bastante adequada, como já comprovado por IG-SMA (1999) e por VEDOVELLO (2000).

2.2.2. Estruturação de bancos de dados

Para subsidiar adequadamente o Sistema Gerenciador de Informações (SGI) mostra-se indispensável fazer o registro ordenado dos diversos tipos de informações. É necessária, portanto, a estruturação de bancos de dados associados às diferentes informações que se quer obter, tendo-se sempre em mente a estrutura metodológica mostrada na Figura 3.

Um **banco de dados** é um conjunto de informações relacionadas entre si, referentes a um mesmo assunto e organizadas de maneira lógica, com a finalidade de servir como base para recuperação e análise das informações. Um **banco de dados informatizado** armazena informações em um formato que permite ao sistema de gerenciamento processar os dados em informações úteis, possibilitando organizar, localizar e exibir essas informações (GOMES 1997). Este banco de dados deve reter informações essencialmente elementares, “atomizadas”, permitindo sua manipulação e a geração de novas informações.

Assim, o ideal para o uso de SGI é que se faça o uso de um **sistema de gerenciamento de banco de dados relacional** (como os *softwares* *dBase*, *Access*, *Visual Basic*, por exemplo). A característica principal deste tipo de sistema consiste no armazenamento de dados em tabelas que podem ser relacionadas entre si, de modo a facilitar o processo de consulta e recuperação de dados. Além disso, pode automatizar tarefas repetitivas com muita eficiência, subsidiando a geração de dados secundários.

A proposta metodológica desta tese prevê a estruturação e alimentação dos seguintes bancos de dados:

a) Banco de dados de análise das imagens de satélite quanto a aspectos fisiográficos do terreno (Figura 4). Deve conter campos que representem os elementos de leitura e análise das imagens e que subsidiem a individualização das UBCs (Unidades de Compartimentação Fisiográfica), bem como a interpretação e o estabelecimento de inferências sobre características e propriedades das UBCs.

b) Banco de dados de levantamentos de campo quanto a aspectos fisiográficos do terreno (Figura 5). Deve conter campos que possibilitem o registro sistemático das informações sobre a geologia, a geomorfologia e o perfil de alteração do solo obtidos na etapa de checagem de campo.

c) Banco de dados de características de uso e ocupação do solo (Figura 6). Deve conter campos que impliquem na caracterização das categorias de uso e ocupação do solo, as quais efetivamente serão utilizadas para a geração do Mapa de Áreas Potenciais para Disposição de Resíduos Sólidos.

d) Banco de dados de características e propriedades geotécnicas das UBCs (Figura 7). Deve conter campos que impliquem na caracterização sintética das UBCs, as quais efetivamente serão utilizadas para a geração do Mapa de Áreas Potenciais para Disposição de Resíduos Sólidos. Este banco de dados pode conter campos que sejam produto do “cruzamento” de campos do “*Banco de dados da análise das imagens de satélite quanto a aspectos fisiográficos do terreno*”, bem como do “*banco de dados de campo quanto a aspectos fisiográficos do terreno*”.

2.2.3. Elaboração do Mapa de Aspectos de Uso e Ocupação do Solo

A - Interpretação de imagens de satélite

Embora a interpretação de imagens visando a avaliação de uso do solo pareça ser bastante direta e imbuída de empirismo, princípios de fotointerpretação dados pela análise lógica de elementos texturais e tonais da imagem trazem resultados bastante seguros, o que pode ser verificado em IG-SMA (1996 e 1999), JACQUES *ET AL.* (1999), OLIVEIRA (1999). Neste processo de fotointerpretação são necessárias três etapas: ***leitura, análise e interpretação.***

Na etapa de ***leitura*** da imagem, deve ser empreendida a restituição da rede de drenagem e do sistema viário principal por meio de um *overlay*.

Posteriormente, é realizada a etapa de ***análise*** da imagem, quando ocorre o estabelecimento de diferentes padrões de uso do solo. São utilizados como principais elementos de reconhecimento e diferenciação das manchas observadas na imagem: tonalidade, textura, homogeneidade, geometria, localização e vizinhança.

Uma vez definidos os diferentes padrões de uso, vem a etapa de ***interpretação*** da imagem, quando os citados padrões devem ser agrupados em classes homogêneas, que concentram usos do solo diferenciados, porém de mesma natureza. Neste momento ocorre a delimitação das categorias de uso do solo tal como definido no Tabela 10, ou seja: *áreas com usos urbano e industrial; áreas de uso agro-industrial; áreas de uso rural; áreas de conservação ambiental.*

B - Checagem de campo

As categorias de uso e ocupação do solo, delimitadas através de fotointerpretação, devem passar por checagem de campo expedita, de forma a verificar se seus limites estão corretos e atualizados. Além disso, devem ser solucionadas dúvidas quanto ao enquadramento de algum determinado padrão da imagem à categoria de uso do solo correspondente. É interessante que esta fase

seja acompanhada de registro fotográfico das categorias de uso do solo em análise, as quais devem ter sua localização devidamente registrada por meio de equipamentos de posicionamento por satélite (como GPS¹⁰, por exemplo).

C - Geração do Mapa de Aspectos de Uso e Ocupação do Solo

A compartimentação resultante das etapas de fotointerpretação e de checagem de campo deve ser digitalizada por meio de *software* de CAD (*Microstation*, por exemplo), tendo por suporte a base cartográfica em formato digital, já georeferenciada. É recomendável que cada categoria de uso do solo esteja registrada em um *layer* diferente, o que permite sua transformação em polígonos fechados. Desta forma, as categorias de uso do solo são então espacializadas em área (polígonos fechados) e diferenciadas por cores.

Por meio de *software* de GIS (como *MapInfo*, por exemplo) deve ocorrer a associação dos atributos alfanuméricos (*Banco de dados de características de uso e ocupação do solo*) aos elementos gráficos (polígonos, polilinhas, pontos e texto). Este é, em resumo, o processo semi-automático adotado para a geração do ***Mapa de Aspectos de Uso e Ocupação do Solo***.

De forma a subsidiar as etapas posteriores desta proposta metodológica, deve-se proceder à classificação das categorias de uso e ocupação do solo com respeito a sua viabilidade em receber empreendimentos de disposição final de resíduos sólidos. Este procedimento ocorre de forma automática através do *software* de GIS (*MapInfo*), quando traduz as informações constantes nas colunas 1 e 3 da Tabela 10 (respectivamente: categorias de uso e ocupação do solo; classificação). Como resultado, obtém-se um mapa intermediário no processo de seleção de áreas, contendo três classes relativas às limitações de aspectos de uso do solo para disposição de resíduos sólidos: *áreas eliminadas*; *áreas pré-selecionadas com restrições*; *áreas pré-selecionadas sem restrições*.

Neste momento é importante lembrar mais uma vez um dos aspectos principais desta proposta: com a eliminação de parte da área de estudo já na

¹⁰ **GPS** (*Global Positioning System*) é um aparelho simples, portátil, que informa com razoável precisão a posição de determinado ponto através de suas coordenadas geográficas, ou seja, possibilitando seu georeferenciamento.

primeira fase deste processo metodológico, tem-se uma considerável otimização de recursos financeiros e de tempo. É a partir deste mapa intermediário que se dá prosseguimento à segunda etapa metodológica, a elaboração do Mapa de Aspectos Fisiográficos do Meio Físico.

2.2.4. Elaboração do Mapa de Unidades de Compartimentação Fisiográfica

Esta proposta metodológica agrega princípios apresentados por VEDOVELLO (2000) no que diz respeito a compartimentação fisiográfica de terrenos, os quais foram aplicados com sucesso em diversos trabalhos envolvendo cartografia geotécnica (VEDOVELLO 1993; OKIDA 1996; IG-SMA 1996 e 1999; SOUZA 2000, dentre outros).

Desta forma, na etapa de compartimentação fisiográfica, uma área de estudo deve ser dividida em unidades que apresentem homogeneidade quanto às características dos elementos componentes do meio físico (rocha, relevo, solo) e que, portanto, impliquem em um comportamento geotécnico individualizado frente às ações e atividades antrópicas (VEDOVELLO 2000). Essas unidades devem ser obtidas segundo a abordagem fisiográfica e a partir da análise sistemática de produtos de sensoriamento remoto (aspectos já considerados na Parte II desta tese), tal como previsto nos itens a seguir.

A - Interpretação de imagens de satélite

Esta etapa deve se dar somente nas áreas não eliminadas por aspectos de uso e ocupação do solo, tal como destacado anteriormente, tendo como base de análise os produtos de sensoriamento remoto previamente selecionados (imagens TM-Landsat).

Com respeito às técnicas de fotointerpretação voltados à análise do meio físico, vários autores vêm desenvolvendo estudos (SOARES & FIORI 1976; VENEZIANI & ANJOS 1982; VEDOVELLO 1993 E 2000; THEODOROVICZ 1994; LIMA 1995; OKIDA 1996; ROSS & MOROZ 1997; SILVA NETO & BARBOSA 2000; dentre outros) e realizando adaptações segundo os tipos de aplicações (geologia, geomorfologia,

planejamento territorial, estudos hidrogeológicos, etc).

O processo de interpretação de imagens de satélite baseia-se em princípios de fotointerpretação dados pela análise lógica dos sistemas de drenagem e relevo e passa pelas etapas de **leitura, análise e interpretação**.

A1 – Fotoleitura.

No processo de **leitura** da imagem deve ser feito o reconhecimento e a identificação dos elementos texturais que compõem a imagem (drenagem e relevo, principalmente), a fim de entender seu significado.

Deve-se destacar, neste momento, que o *elemento textural* constitui a menor superfície contínua e homogênea distinguível na imagem fotográfica e passível de repetição. Pode ser um traço de drenagem (elemento textural de drenagem) ou um traço de relevo (elemento textural de relevo).

Operacionalmente deve ser realizada a “extração” para *overlay* dos elementos de drenagem e relevo, o que deve gerar três mapas auxiliares, os quais servirão de base para análises específicas subseqüentes, tal como realizado por OKIDA (1996): Mapa de drenagens; Mapa de traços de foliações; Mapa de traços de fraturas.

A2 – Foto-análise.

A etapa de **análise** da imagem implica no estudo das relações entre os elementos constantes nas imagens, bem como na associação e ordenação das partes de imagens. Operacionalmente, para efeito da compartimentação fisiográfica, é feito o agrupamento dos elementos da imagem, através da identificação de padrões diferenciados de textura da imagem (formas de relevo e padrões de drenagem), culminando com a delimitação de “zonas homogêneas”. Através do formulário adequado a esta proposta metodológica, retratado na Figura 4, é possível registrar todos os elementos que devem ser analisados, incluindo os que irão subsidiar a etapa seguinte (de interpretação). Estes elementos de análise estão sintetizados a seguir:

a) Homogeneidade: consiste na ocorrência, em uma dada área, de propriedades texturais constantes (homogêneas) ou não (heterogêneas). A Tabela 16, extraída de VEDOVELLO (2000), apresenta uma síntese das propriedades texturais a serem analisadas, bem como sua caracterização.

b) Tropia: é a propriedade dos elementos texturais se desenvolverem segundo uma direção preferencial. Implica na existência de uma, duas ou três direções preferenciais (anisotropia) ou na multidirecionalidade (isotropia) de elementos texturais.

c) Assimetria: trata da igualdade (simetria) ou não (assimetria) das propriedades texturais de áreas situadas em lados opostos de uma linha ou feição textural da imagem.

Tabela 16. Caracterização das propriedades das formas texturais em imagens de satélite

PROPRIEDADE TEXTURAL	CARACTERIZAÇÃO
Tipo de elemento de textura	Espécie de elemento textural que está sendo analisado, se de relevo ou de drenagem ou tonal.
Densidade de textura	Quantidade de elementos texturais (de um mesmo tipo) por unidade de área da imagem. Apesar de refletir uma propriedade quantitativa, a densidade textural normalmente é descrita em termos qualitativos e comparativos tais como alta, moderada, baixa, etc.
Arranjo textural	Maneira (ordenada ou não) como os elementos texturais se dispõem espacialmente. A análise desta propriedade permite classificar o modo de ocorrência dos elementos texturais segundo padrões que reflitam a disposição espacial desses elementos na imagem. Como exemplo, uma determinada forma ocasionada por elementos de drenagem pode refletir um padrão retangular ou dendrítico ou anelar, etc.
Grau de estruturação	Evidência ou definição relativa da organização espacial dos elementos texturais (em função do seu arranjo textural). Pode ser qualificada em classes, tais como alto, médio, baixo, etc. ou ainda, mal definido, bem definido, etc.
Ordem de estruturação	Regularidade de organização dos elementos texturais, cuja classificação é dada em termos da ocorrência (ou não) de uma ou mais estruturas sobrepostas, podendo ser de: ordem um (se ocorre apenas um tipo de estrutura), ordem dois (se ocorrem dois tipos super-impostos), e assim por diante.

Fonte: Vedovello (2000).

Nesta etapa, algumas atividades auxiliares devem ser realizadas no sentido de promover a geração indireta de atributos que serão utilizados na etapa de interpretação da imagem, bem como no processo de geração do Mapa de Áreas Potenciais para Disposição de Resíduos Sólidos. Assim, os três mapas auxiliares gerados na etapa de leitura da imagem devem sofrer reproprocessamento de seus

dados, bem como análises estatísticas, tal como propostas em RIEDEL *ET AL.* (1995), OKIDA (1996), FERNANDES (1997), FREITAS (2000) e SILVA NETO & BARBOSA (2000). Em alguns destes trabalhos (FERNANDES *OP CIT*; SILVA NETO & BARBOSA *OP CIT*; FREITAS *OP CIT*) é dada uma importância especial às regiões de Embasamento Cristalino, com potencial de uso de água subterrânea através dos chamados aquíferos fraturados, os quais apresentam grande vulnerabilidade natural à contaminação graças ao mesmo fator: o fraturamento das rochas. Já em RIEDEL *ET AL.* (*OP CIT*) e OKIDA (*OP CIT*) há um destaque para a avaliação de escorregamentos também em regiões de Embasamento Cristalino, onde, além do fator fraturamento é feita a análise da distribuição das foliações.

Desta forma, é elaborado o quarto mapa auxiliar, o Mapa de Frequência de Traços de Fratura, o qual vai subsidiar a geração de um dos atributos fundamentais na análise global (vide Tabela 11): o grau de fraturamento da rocha (alto, médio, baixo). Um quinto mapa auxiliar também é gerado, o Mapa de Direções Principais de Traços de Foliações, de forma a subsidiar a geração de outro atributo fundamental: o ângulo de foliação da rocha em relação ao plano da vertente (concordante a pouco discordante; pouco discordante; discordante; muito discordante).

É importante destacar que dos cinco mapas considerados, somente o de drenagem deve ser elaborado para qualquer tipo de compartimento fisiográfico, enquanto os outros quatro devem ser elaborados para áreas de Embasamento Cristalino. A Tabela 17 apresenta uma descrição sucinta da forma de obtenção dos cinco mapas auxiliares considerados na presente proposta, justificando a assertiva anterior quando apresenta a utilidade dos mapas considerados.

A3 – Foto-interpretação

A etapa de ***interpretação*** da imagem envolve o estudo da imagem fotográfica visando à descoberta e avaliação, por métodos indutivos, dedutivos e comparativos do significado, função e relação dos objetos correspondentes às imagens. Nesta etapa é avaliado o significado das “zonas homogêneas” e são feitas correlações lógicas, na busca de subsídios indiretos que possam indicar, dentre outros fatores, fragilidades do meio físico.

Tabela 17. Mapas auxiliares considerados na presente proposta: técnica de obtenção e utilidade.

MAPA	TÉCNICA DE OBTENÇÃO DO MAPA	UTILIDADE
Mapa de Drenagens	Compilação integral da drenagem a partir da imagem	- Analisar as propriedades texturais da imagem; - Gerar o Mapa de Traços de Fraturas.
Mapa de Traços de Foliações	Compilação de todos os elementos texturais ou feições lineares ou lineações de relevo retilíneas e/ou elementos texturais de drenagem de 1ª ordem com dimensões definidas (4 a 5 mm na escala 1:100.000) e normalmente paralelas aos planos de simetria de relevo e drenagem.	- Gerar o Mapa de Direções Principais de Traços de Foliações; - Estabelecer as relações espaciais e de idade relativa.
Mapa de Traços de Fraturas	Extração de feições lineares retilíneas extraídas do mapa de drenagem, com extensão de 4 a 5 mm na escala 1:100.000	- Gerar o Mapa de Frequência de Traços de Fratura
Mapa de Direções Principais de Traços de Foliações	Elaborado a partir de um molde vazado com formato circular, diâmetro de 8 cm e sobreposto ao mapa de traços de foliações. Em cada região recoberta pelo molde vazado são demarcadas, em cores diferentes as duas direções principais de traços de foliações da área em estudo.	- Confrontando-se os dados deste mapa com o mapa topográfico é possível obter o ângulo de foliação da rocha em relação ao plano da vertente.
Mapa de Frequência de Traços de Fratura	Análise estatística de traços de fraturas: contagem dos traços de fratura através da sobreposição de uma malha transparente com células de 2 X 2 cm no mapa de traços de fratura; o número de traços de fratura de cada célula é colocado no centro da malha e interpolado com os outros valores por curvas de isofrequência.	- Considerando que os locais com maior frequência de traços de fratura correspondem às principais direções de fraqueza da crosta terrestre, é possível obter o grau de fraturamento de uma área.

Fonte: RIEDEL *ET AL.* (1995); OKIDA (1996); FERNANDES (1997); FREITAS (2000); SILVA NETO & BARBOSA (2000).

É importante destacar que, na medida em que for sendo realizado o processo de fotointerpretação, deve ocorrer a alimentação do “*banco de dados de análise das imagens de satélite quanto a aspectos fisiográficos do terreno*”.

Muito embora a experiência do foto-intérprete e seu raciocínio lógico possam implicar em efetiva economia de recursos (financeiros e de tempo), é importante tomar muito cuidado nesta fase. Uma das possibilidades da interpretação consiste no fato de que muitas das propriedades do terreno podem ser obtidas por diferentes inferências, o que é bastante desejável, como forma de testar estas inferências para sua validação. O caráter e amplitude destas inferências pode ser checado através da Tabela 18, que oferece algumas das possibilidades de inferências compiladas a partir do trabalho de diversos autores. Este tipo de correlação deve ser amplamente utilizado para a obtenção indireta dos atributos constantes na Tabela 11, relativos à análise de fragilidades do meio físico com influência direta na seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos, objeto central da proposta metodológica desta tese.

B - Compartimentação fisiográfica

Como resultado da etapa de interpretação da imagem de satélite ocorre a compartimentação do terreno em ***Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs)***, ou seja, são identificadas e delimitadas na imagem divisões fisiográficas em diferentes níveis hierárquicos. É importante considerar neste processo o nível de detalhamento pretendido, o que leva a uma delimitação correta dos componentes dentro das unidades maiores (AGUIAR 1997). Esta observação remete novamente a uma das premissas desta proposta metodológica: o nível de abordagem regional (refletido na cartografia em escala 1:100.000).

VEDOVELLO (2000) destaca que a estratégia de compartimentação deve considerar a identificação inicial de compartimentos fisiográficos em um nível mais regional e, a partir daí, sua subdivisão em níveis hierárquicos mais detalhados. Essa estratégia facilita os trabalhos de fotointerpretação, através da comparação textural em setores menores e geneticamente distintos. Além disso, evita a discriminação, como uma mesma UBC, de unidades que apresentem formas texturais similares, mas que estejam situadas em contextos fisiográficos diversos.

Tabela 18. Exemplos da obtenção de propriedades do terreno, importantes na avaliação de suas fragilidades, a partir da correlação entre elementos e propriedades da imagem de satélite.

PROPRIEDADE DO TERRENO DESEJADA	ELEMENTOS E PROPRIEDADES DA IMAGEM ANALISADOS	INFERÊNCIA
FORMAS E TIPOS DE RELEVO	- densidade e arranjo dos elementos texturais de relevo e drenagem; - padrões de textura topográfica.	Relaciona-se com o grau de dissecação do terreno, que consiste na combinação da dissecação horizontal (quantidade de canais de drenagem por unidade de área) com a dissecação vertical (diferentes entalhamentos médios dos canais de drenagem por unidade de área).
DECLIVIDADE	- amplitude altimétrica.	Quanto maior a amplitude altimétrica em uma área com mesma densidade de drenagem, maior a declividade das encostas.
TIPO DE SOLO	- tipos de formas de topos e encostas.	Numa encosta convexa o solo tende a argiloso, coesivo e plástico; numa encosta convexa-retilínea-côncava o solo tende a arenoso (ou siltoso), coesivo e plástico.
ESPESSURA DE SOLO	- tipos de formas de topos e encostas; - densidade de textura de relevo.	A baixa densidade de textura de relevo implica em grande espessura de solo associada a encosta convexa. Numa encosta do tipo convexa-retilínea-côncava ocorre pequena espessura de solo.
PERMEABILIDADE	- densidade de elementos texturais de drenagem; - padrões de drenagem.	Correlação com a capacidade de infiltração do terreno, que também irá depender em primeiro lugar, das características físicas dos materiais que o constituem. Assim, para duas regiões com mesmo índice pluviométrico, a permeabilidade é inversamente proporcional à densidade de elementos texturais. Exemplo: rochas de textura fina como argilas e folhelhos situam-se sobre terrenos com drenagem bastante densa, porque são quase impermeáveis, já os materiais como conglomerados e arenitos, por sua textura grosseira dão uma drenagem superficial menos densa, devido a sua maior permeabilidade.
ALTERABILIDADE	- tipos de formas de topos e encostas; - densidade de elementos de relevo.	Avaliação do balanço entre remoção e deposição de material através da forma das encostas. Assim, uma encosta convexa apresenta grau de alterabilidade muito alto, enquanto numa encosta convexa-retilínea-côncava o grau de alterabilidade é baixo. As litologias relativamente mais resistentes à alteração tendem a apresentar maior densidade de relevo.
GRAU DE FRATURAMENTO DA ROCHA	- tropia dos elementos de drenagem; - densidade e intersecção de traços de fratura.	Relaciona-se diretamente com o grau de estruturação do terreno.
ERODIBILIDADE	- densidade de elementos de drenagem; - tipos de formas de topos e encostas.	A densidade de drenagem está associada diretamente à densidade de relevo e ambos com o processo de remoção de material do terreno. Assim, considerando outras variáveis constantes, a densidade de drenagem muito alta implica em potencial de erosão alto, ao passo que densidade de drenagem baixa implica em potencial de erosão baixo.

Fonte: SOARES & FIORI (1976); VENEZIANI & ANJOS (1982); FERRANTE (1990); THEODOROVICZ (1994); LIMA (1995); OKIDA (1996); ROSS & MOROZ (1997) SILVA NETO & BARBOSA (2000); VEDOVELLO (2000).

VEDOVELLO (*OP CIT*) alerta para o fato de que as UBCs constituem a base de determinação de unidades geotécnicas, uma vez que podem ser caracterizadas e avaliadas geotecnicamente para os mais diversos fins, mantendo, entretanto, seu significado e sua unicidade cartográfica.

Uma vez definidas as UBCs, deve ser realizada uma avaliação de homogeneidade e de similaridade das propriedades dos elementos texturais utilizados na interpretação da imagem. Esta tarefa tem por objetivo identificar possíveis heterogeneidades internas nas unidades, que determinem sua subdivisão, ou unidades que devam ser classificadas sob a mesma denominação.

Neste momento tem-se um mapa preliminar, em que as unidades delimitadas - as UBCs - devem receber um *código* ou *sigla* que possa retratar o conjunto de informações decorrentes da fotointerpretação, bem como dos dados e informações previamente coletados. Esta codificação deve refletir o contexto fisiográfico onde se encontra a UBC, bem como seus níveis hierárquicos de compartimentação, os quais podem apresentar caráter taxonômico ou descritivo. Nesta fase do trabalho é de grande valia a consulta a mapas geológicos e geomorfológicos compilados na mesma escala do Mapa de Unidades de Compartimentação Fisiográfica, quando as unidades delimitadas, as UBCs, são comparadas com as unidades representadas nos citados mapas.

C – Checagem de campo

Esta etapa objetiva resolver dúvidas advindas da fotointerpretação da imagem, em especial quanto aos limites entre compartimentos fisiográficos previamente estabelecidos, os quais devem passar por confirmação e ajuste. Também se deve proceder à confirmação e caracterização geotécnica dos diversos compartimentos fisiográficos. A abrangência da checagem de campo, ou o número de pontos de observação, estão intrinsecamente relacionados aos dados de interesse produzidos em outros trabalhos, ao número e tamanho das unidades de compartimentação, bem como à variabilidade dos perfis de alteração de solo de cada unidade (AGUIAR 1997). A experiência e bom senso do pesquisador vão determinar as necessárias extrapolações a partir de descrições pontuais, as quais devem retratar variações que ocorrem na sua área de influência.

O registro fotográfico de feições particulares das UBCs é bastante desejável, uma vez que pode reunir mais elementos para averiguação das hipóteses de trabalho. Destaca-se mais uma vez a importância do uso de GPS nesta tarefa, o que possibilitará o posterior georeferenciamento destas informações e sua inserção no Sistema Gerenciador de Informações (SGI).

Concomitante a esta etapa deve ocorrer a alimentação do “*Banco de dados de levantamentos de campo quanto a aspectos fisiográficos do terreno*” (Figura 5).

D - Geração do Mapa de Unidades de Compartimentação Fisiográfica

A compartimentação resultante das etapas de fotointerpretação e de checagem de campo deve ser digitalizada em mesa digitalizadora, por meio de *software* de CAD (como *Microstation*, ou AutoCAD, por exemplo), com a devida correção topológica. Este processo terá por suporte a base cartográfica em formato digital, já georeferenciada, resultando em inúmeros polígonos.

O *software* de GIS (*MapInfo*) ou mesmo o *software* de banco de dados relacional (*Access*) gera automaticamente o “*Banco de dados de características e propriedades geotécnicas da UBCs*”, através de operações lógicas que integram e selecionam informações contidas no “*Banco de dados da análise das imagens de satélite quanto a aspectos fisiográficos do terreno*” e no “*Banco de dados de levantamentos de campo quanto a aspectos fisiográficos do terreno*”.

Posteriormente, por meio de *software* de GIS (*MapInfo*), aos polígonos já georeferenciados são associados os atributos alfanuméricos contidos no “*Banco de dados de características e propriedades geotécnicas das UBCs*”. É gerado, assim, o ***Mapa de Unidades de Compartimentação Fisiográfica***.

2.2.5. Elaboração do Mapa de Áreas Potenciais para Disposição de Resíduos Sólidos

O Mapa de Áreas Potenciais para Disposição de Resíduos Sólidos apresenta as áreas, devidamente hierarquizadas, com potencial para serem

utilizadas por empreendimentos cuja finalidade é seja a disposição final de resíduos sólidos. Neste mapa também estão indicadas as áreas que não devem ser utilizadas, considerando-se aspectos de uso e ocupação do solo e fragilidades do terreno.

Considera-se importante que este mapa, além de apresentar este zoneamento, tenha uma “memória técnica” a ele associada, que permita ao usuário saber as razões da eliminação ou da classificação de cada unidade, possibilitando inclusive alterações já na escala de planejamento local. Isto vai de encontro ao que o Sistema Gerenciador de Informações (SGI) pode oferecer, incluindo a possibilidade de se fazer consultas sobre possíveis modificações impostas pelo fator antrópico a qualquer área considerada.

Este produto cartográfico consiste num mapa de zoneamento geotécnico e apresenta como unidades básicas de análise as UBCs (Unidades Básicas de Compartimentação), devidamente caracterizadas geotecnicamente. Assim, as UBCs presentes no Mapa de Unidades de Compartimentação Fisiográfica devem neste momento sofrer a aplicação das regras de classificação constantes na Tabela 15. Este procedimento ocorre de forma automática através do software de GIS (*MapInfo*, por exemplo), por meio de operações lógicas de associação de atributos, definindo três classes diferenciadas por cores semafóricas, cujo significado é evidente: *eliminadas (vermelho)*, *pré-selecionadas com restrições (amarelo)*, *pré-selecionadas sem restrições (verde)*.

Associadas às cores, as unidades pré-selecionadas para a disposição de resíduos sólidos devem apresentar uma codificação composta por três letras, que indicam respectivamente as características das UBCs quanto aos aspectos: de uso e ocupação do solo; de vulnerabilidade natural à contaminação de aquíferos; de suscetibilidade natural a processos geodinâmicos. A Tabela 19 apresenta a estrutura dos códigos citados, enquanto a Tabela 20 mostra exemplos hipotéticos, de forma a facilitar a compreensão desta codificação.

Com base nas informações apresentadas pelo código, as UBCs com potencial para a disposição de resíduos podem ser selecionadas e/ou priorizadas para estudos subseqüentes, visando a uma seleção final. Além disso, dadas as características dessas UBCs com potencial para o uso considerado é possível se ter idéia da natureza das restrições. Conseqüentemente, é possível prever as

possíveis relações custo-benefício da escolha de uma dada área, considerando-se aspectos de uso e ocupação do solo, ambientais e tecnológicos envolvidos.

Tabela 19. Estrutura do código de hierarquização das áreas pré-selecionadas para disposição de resíduos sólidos.

	ASPECTO CONSIDERADO NA HIERARQUIZAÇÃO	CÓDIGO	CARACTERÍSTICAS DA ÁREA PRÉ-SELECIONADA
1ª letra	Uso e ocupação do solo	Ua	Áreas de uso agro-industrial
		Ub	Áreas de uso rural
		Uc	Áreas de conservação ambiental
2ª letra	Vulnerabilidade natural dos aquíferos à contaminação	Va	Média
		Vb	Baixa
3ª letra	Suscetibilidade natural a processos geodinâmicos	Sa	Média suscetibilidade a erosão em Bacia Sedimentar
		Sb	Baixa suscetibilidade a erosão em Bacia Sedimentar
		Sc	Média suscetibilidade a erosão e escorregamentos no Embasamento Cristalino
		Sd	Baixa suscetibilidade a erosão e escorregamentos no Embasamento Cristalino

Tabela 20. Exemplos hipotéticos de codificação de UBCs de áreas pré-selecionadas para disposição de resíduos sólidos.

CÓDIGO DE HIERARQUIZAÇÃO DAS UBCs	CARACTERÍSTICAS DE PRÉ-SELEÇÃO DA UBC
Ua Va Sa	Áreas de uso agro-industrial; Média vulnerabilidade natural à contaminação dos aquíferos; Média suscetibilidade a erosão na Bacia Sedimentar do Paraná.
Uc Vb Sc	Área de Conservação Ambiental; Baixa vulnerabilidade natural à contaminação dos aquíferos; Média suscetibilidade a erosão e escorregamentos no Embasamento Cristalino.
Ub Va Sb	Áreas de uso rural; Média vulnerabilidade natural à contaminação dos aquíferos; Baixa suscetibilidade a erosão em Bacia Sedimentar.

2.3. O Sistema Gerenciador de Informações (SGI) voltado à seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos

O Sistema Gerenciador de Informações (SGI) aqui proposto constitui um sistema físico de gerenciamento de todos os dados, informações, critérios e classificações voltados ao processo de seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos. Este sistema tem por base a estrutura apresentada no diagrama da Figura 8, onde estão interligados de forma lógica todas as etapas, processos, técnicas e produtos necessários ao objetivo principal desta proposta. Assim sendo, a partir desta estrutura é possível implementar o SGI, de forma a executar diversas funções previstas nesta proposta, a exemplo do que ocorre em SOUZA (2000), tais como: análise espacial de fenômenos; produção de mapas; armazenamento, manipulação, análise e recuperação de informações geoambientais na forma de banco de dados georeferenciados; etc.

Cada produto cartográfico presente no sistema proposto, seja o mapa base, ou os mapas temáticos (Mapa de Aspectos de Uso e Ocupação do Solo; Mapa de Unidades de Compartimentação Fisiográfica; Mapa de Áreas Potenciais para Disposição de Resíduos), ou mesmo os mapas auxiliares (Mapas de Fotointerpretação, entre outros), pode conter informações espaciais representadas por pontos, linhas ou polígonos, conforme a origem e tipo do(s) dado(s). A partir destas informações são executadas várias operações lógicas básicas e avançadas, necessárias à geração de outros produtos. Tudo isso deve condicionar a escolha dos *softwares* utilizados pelo sistema.

Existem no mercado atualmente inúmeros *softwares* dedicados ao mapeamento temático, os quais oferecem diversos recursos cartográficos, de edição e de visualização. O nível de portabilidade (a importação e exportação de dados em diversos formatos) facilita não só a elaboração de diversos tipos de mapas temáticos, através da possibilidade de entrada e saída de informações de diferentes arquivos, como também o intercâmbio de informações com outros programas (BRITO & MENEZES 1999).

Figura 8. Diagrama mostrando o fluxo de trabalho para a construção do Sistema Gerenciador de Informações voltado à seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos.

Os *softwares* de SIG permitem que se faça mapeamento temático, além de oferecerem, ainda, ferramentas e funções que possibilitam a análise espacial dos dados através da sua visualização. A estrutura fundamental do SIG é um banco de dados ligado a uma base cartográfica que permite fazer consultas e análises geográficas.

Uma interessante opção de *software* de SIG são os sistemas *Desktop Mapping*, uma classe de aplicações de Geoprocessamento que se concentram em facilitar as atividades de apresentação de informações sob o formato de mapas. Geralmente baseado em plataforma PC (*Personal Computer*), em ambiente *Microsoft Windows*, o forte desta classe de aplicações está precisamente na facilidade de integração de dados de diversas fontes, além de excelentes facilidades para produção de mapas temáticos plotados (DAVIS & CÂMARA, 2000). Além de apresentar custos relativamente baixos, com constante tendência de queda, nos últimos tempos esta classe de aplicativo vem registrando a tendência a incorporar cada vez mais funções, de modo que já estão se intitulando *Desktop SIG*. Embora não tenha um robusto gerenciador de informações gráficas ou alfanuméricas, é freqüente a utilização direta de arquivos gráficos ou alfanuméricos de outros aplicativos, tais como *AutoCAD*, *Excel*, *Access*, *dBase* e outros. A Figura 9 reproduz um diagrama de blocos que representa a arquitetura interna de um *Desktop mapping*.

Considerando os aspectos apresentados, sugere-se, dentre os aplicativos existentes no mercado, o *software MapInfo* para a implementação do sistema proposto nesta metodologia. Associado a ele, é utilizado um *software* gerenciador de banco de dados relacional, o *Access*, o qual armazena dados em tabelas que podem ser relacionadas entre si, de modo a facilitar o processo de consulta e recuperação de dados.

Figura 9. Arquitetura interna de um *Desktop Mapping* (DAVIS & CÂMARA 2000).

PARTE IV – APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

A estrutura metodológica definida anteriormente envolveu o desenvolvimento de procedimentos técnicos e a implementação de recursos tecnológicos, os quais foram operacionalizados de forma concomitante, de modo a permitir o uso do Sistema Gerenciador de Informações (SGI) tanto durante o processo de seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos, como na etapa de disponibilização e consulta dos dados e informações obtidos.

Nos capítulos a seguir será aplicada a metodologia proposta a uma área-piloto e expostos os motivos que levaram a autora desta tese a escolher a região de aplicação, as formas de obtenção dos dados e como foram elaboradas as análises. Ao final serão apresentados os produtos cartográficos gerados com o auxílio do Sistema Gerenciador de Informações, baseado no *software MapInfo*, versão 4,5.

1. SELEÇÃO DA ÁREA PILOTO

A área escolhida para aplicação da metodologia proposta nesta tese envolve 18 municípios localizados na Região Metropolitana de Campinas (Figura 10), os quais ocupam uma área total de cerca de 3.340 km²: Americana, Artur Nogueira, Campinas, Cosmópolis, Engenheiro Coelho, Holambra, Hortolândia, Indaiatuba, Jaguariúna, Monte Mor, Nova Odessa, Paulínia, Pedreira, Santa Bárbara D'Oeste, Santo Antonio de Posse, Sumaré, Valinhos e Vinhedo.

O processo de seleção da área piloto remonta à experiência profissional da autora desta tese, quando da sua atividade técnica como pesquisadora científica no Instituto Geológico da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. Como tal, atuou em projetos de pesquisa tendo como área geográfica de aplicação a região de Campinas (SP): “*Subsídios para o planejamento regional e urbano do meio físico na porção média da Bacia do Rio Piracicaba, SP*” (IG-SMA 1995A); “*Seleção de áreas para implantação de aterro sanitário no Município de Sumaré*”

Figura 10. Área escolhida para a aplicação da metodologia proposta.

(IG-SMA1995B); “*Metodologia para seleção de áreas para tratamento e disposição final de resíduos sólidos*” (IG-SMA 1999). Estes projetos constituem a principal fonte de dados e informações desta tese, como será visto nos capítulos seguintes.

A área geográfica destes projetos foi designada com base em estudo efetuado por EMPLASA (1993), intitulado “*Cenário Regional. Região de Campinas - Área de Metropolização. Aspectos Físico-Ambientais e Sociais*”, o qual envolveu estudos sócio-econômicos em dezoito municípios incluídos na chamada Região de Governo de Campinas (os mesmos envolvidos nesta tese). Este estudo já vislumbrava a criação de uma região metropolitana no entorno do município de Campinas, o que de fato veio a acontecer, porém somente em 19 de junho de 2000, quando foi sancionada pelo governador do Estado de São Paulo a Lei Complementar nº 870. Por meio desta lei é criada a Região Metropolitana de Campinas, a qual engloba dezenove municípios, os quais não são exatamente aqueles envolvidos no estudo da EMPLASA (é incluído o município de Itatiba).

Para a escolha da área-piloto levou-se em conta, além dos dados e informações do meio físico já disponíveis (através de trabalhos técnico-científicos já produzidos na região), a abrangência e diversidade de compartimentos fisiográficos presentes nesta região, sua importância regional e realidade sobre gestão de resíduos sólidos. Esta região concentra grande diversidade de problemas ambientais, dentre os quais onde dispor os resíduos sólidos consiste num dos mais importantes. Há todo um processo histórico e econômico que pode explicar a situação de criticidade atual da região quanto à gestão de resíduos sólidos, o que pode ser visto nos itens a seguir.

1.1. Aspectos sócio-econômicos

Paralelamente ao desenvolvimento do interior do Estado como um todo, a região de Campinas destaca-se a partir de sua posição de importante nó de transportes e comunicações, cumprindo a função de interface entre a Região Metropolitana de São Paulo e o Interior. A estrutura industrial da região de Campinas é uma das mais dinâmicas e diversificadas do Interior e representa hoje o segundo maior parque industrial do Estado de São Paulo, sendo responsável por 10% do Produto Interno Bruto (PIB). No município de Campinas encontram-se

centros tecnológicos, universidades (UNICAMP, PUCAMP) e um aeroporto internacional, indicadores do significativo grau de desenvolvimento da região. Observa-se nesta região os mesmos processos ocorrentes na Região Metropolitana de São Paulo, referentes ao desenvolvimento econômico, mobilidade populacional e degradação ambiental. (IG-SMA 1995A)

Segundo dados mostrados na Tabela 21, os municípios englobados pela área-piloto totalizam uma população de cerca de dois milhões de habitantes, o que corresponde a 5,93% da população total do Estado de São Paulo (IBGE 1996).

Tabela 21. Evolução do total populacional nos municípios da área piloto.

	POPULAÇÃO TOTAL (HABITANTES)						
	1980	1991	1992	1993	1994	1995	1996
Americana	121.552	153.383	156.378	159.330	162.238	165.076	167.695
Artur Nogueira	15.802	19.112	20.401	21.739	23.098	24.470	25.888
Campinas	661.992	845.591	858.473	870.926	883.318	895.669	907.831
Cosmópolis	23.067	35.874	36.646	37.454	38.260	39.052	39.811
Engenheiro Coelho	MI	6.436	6.874	7.312	7.761	8.226	8.692
Holambra	MI	5.372	5.603	5.848	6.098	6.354	6.630
Hortolândia	MI	84.995	90.738	96.536	102.517	108.717	115.136
Indaiatuba	55.731	100.305	104.483	108.640	112.915	117.243	121.517
Jaguariúna	15.093	22.505	23.033	23.573	24.142	24.737	25.349
Monte Mor	13.890	25.397	26.426	27.462	28.568	29.633	30.751
Nova Odessa	21.743	33.955	34.718	35.465	36.187	36.835	37.364
Paulínia	20.573	36.469	38.026	39.572	41.112	42.682	44.287
Pedreira	21.295	27.848	28.659	29.452	30.268	31.070	31.819
Santa Bárbara d'Oeste	75.866	144.759	148.028	151.213	154.454	157.693	160.778
Santo Antonio de Posse	10.825	14.232	14.388	14.537	14.657	14.764	14.886
Sumaré	100.589	140.175	145.402	150.940	156.607	162.098	167.559
Valinhos	48.670	67.669	69.001	70.395	71.786	73.119	74.489
Vinhedo	21.494	33.454	34.438	35.447	36.481	37.518	38.534
TOTAL	1.230.162	1.799.522	1.843.707	1.887.834	1.932.461	1.976.951	2.021.012

M.I. : Município inexistente na época. Posteriormente foi emancipado.

Fonte: IBGE (Censos Demográficos, 1980 e 1991; Contagem populacional, 1996) e SEADE, *in* SMA/SP (1999).

O contingente populacional praticamente duplicou no período de 1970 a 1980 (passando de cerca de 650 mil habitantes em 1970, para cerca de 1,2 milhão de habitantes em 1980), comportamento que se verificou em cada município da região e tendência que consolidou na década de 90.

Este crescimento acentuado da população decorre, principalmente, da migração induzida pela crescente oferta de empregos, devida, em grande, parte ao significativo aumento e diversificação das atividades industriais na região. Um importante polo industrial está localizado entre os municípios de Americana, Campinas, Hortolândia, Jaguariúna, Paulínia, Sumaré e Valinhos, onde se concentram importantes indústrias dos ramos alimentício, cerâmico, elétrico, eletrônico, farmacêutico, mecânico, metalúrgico, petroquímico, químico e têxtil.

O processo de industrialização gerou, por sua vez, um alto grau de urbanização na região, onde em 1991 a taxa da população vivendo em áreas urbanas chegou a valores acima de 90% em alguns municípios (como Americana, Campinas, Indaiatuba, Nova Odessa, Sumaré e Vinhedo, por exemplo) e valores acima de 75% nos demais municípios (com exceção de Artur Nogueira). Em 1996 esta taxa superou o valor de 95% (IBGE 1996, *in* SMA 1999).

Este aumento da taxa de urbanização reflete, além da atração exercida pelas cidades devido aos serviços e conforto oferecidos a sua população, o novo caráter da produção agrícola, na qual praticamente inexistiu o pequeno produtor residindo na sua propriedade. A produção agro-exportadora e energética baseia-se em grandes propriedades e contratação de mão de obra temporária, o que significa a não fixação desses trabalhadores na terra. Desta forma este contingente populacional sai à procura de moradia em bairros dentro da área urbana, onde ainda podem encontrar trabalho no período de entre-safra agrícola. (IG-SMA 1995A).

Quanto à atividade agrícola, verifica-se um predomínio da cultura extensiva canaveira, seguida de perto pela citricultura. Despontam também, como importante atividade econômica a produção de flores e plantas ornamentais voltada inclusive para exportação (principalmente em Holambra). Estão presentes ainda, culturas anuais e temporárias que ocupam extensões menores, tais como batata, arroz, feijão, mandioca, milho, algodão, soja, tomate, alface, sorgo e pimentão. Além disso, ocorrem outras culturas perenes, de menor expressão em área: banana, café,

caqui, abacate, entre outras. (IG-SMA 1995A). A atividade pecuária apresenta, por sua vez, alguma expressão no que diz respeito à criação de bovinos, suínos, aves (para ovos e para corte), asininos e muares, e ovelhas. (IEA-SAA 1996, *in* SMA 1999).

As características de todas estas atividades econômicas da região constituem um dos aspectos críticos em relação à geração de resíduos sólidos, uma vez que apresentam elevado potencial de geração dos mesmos.

1.2. Resíduos sólidos

Como consequência direta do quadro apresentado, vem ocorrendo a geração de volumes cada vez maiores de resíduos sólidos. Paralelamente, há uma deficiência de equipamentos e locais apropriados para tratamento e disposição final destes resíduos, em que se considere de forma integrada a qualidade ambiental e os recursos tecnológicos disponíveis (IG-SMA 1999).

1.2.1. Resíduos sólidos domiciliares

A Tabela 22 ilustra a situação em que se encontram atualmente os municípios compreendidos pela área-piloto frente à geração e destinação final de seus resíduos sólidos domiciliares. Nos dezoito municípios em questão são produzidas diariamente 1.112 toneladas de resíduos sólidos domésticos por uma população urbana de 1.943.555 habitantes (0,57 kg/hab/dia). Embora boa parte desses municípios tenha sofrido uma melhoria nas condições ambientais de seus locais de disposição de resíduos, apenas dois deles apresentavam, segundo CETESB (1999), em janeiro de 1999, condições adequadas.

CETEC (*OP CIT*) registra que são praticamente inexistentes planos integrados de manejo de resíduos sólidos, associando-se várias técnicas de tratamento e disposição final. A utilização de mecanismos como triagem de materiais e compostagem são bastante raros, a exemplo do que ocorre no Estado de São Paulo como um todo. Também são esporádicos planos integrados na forma de consórcios, registrando-se na região apenas um caso, entre os municípios de

Sumaré e Hortolândia (os resíduos do primeiro são encaminhados para o aterro sanitário do outro).

Tabela 22. Diagnóstico da geração e destinação dos resíduos sólidos domiciliares nos municípios compreendidos pela área-piloto.

MUNICÍPIO	POPULAÇÃO URBANA (HABITANTES) ⁽¹⁾	RESÍDUO SÓLIDO DOMICILIAR (TON/DIA) ⁽²⁾	DESTINAÇÃO FINAL	AValiação 1998	MELHORIA NO IQR ⁽³⁾
Americana	167.790	83,90	Aterro sanitário	inadequado	sim
Artur Nogueira	23.275	9,31	Aterro sanitário	inadequado	não
Campinas	872.652	610,86	Aterro sanitário	controlado	não
Cosmópolis	37.767	15,11	Aterro sanitário	inadequado	não
Engenheiro Coelho	5.934	2,37	Lixão	inadequado	sim
Holambra	1.686	0,67	Aterro sanitário em valas	adequado	sim
Hortolândia	115.720	57,86	Aterro sanitário	controlado	sim
Indaiatuba	119.346	59,67	Lixão	inadequado	sim
Jaguariúna	21.202	8,48	Lixão	inadequado	sim
Monte Mor	29.100	11,64	Lixão	inadequado	sim
Nova Odessa	34.318	13,73	Aterro sanitário	controlado	sim
Paulínia	39.972	15,99	Aterro sanitário controlado	controlado	não
Pedreira	29.937	11,97	Aterro sanitário	inadequado	sim
Santa Bárbara D'Oeste	158.122	79,06	Aterro sanitário	controlado	não
Santo Antonio de Posse	12.110	4,84	Lixão	inadequado	não
Sumaré	166.909	83,45	Lixão	controlado	sim
Valinhos	69.748	27,90	Aterro sanitário	adequado	não
Vinhedo	37.967	15,19	Aterro sanitário	controlado	sim
TOTAL	1.943.555	1.112,00			

⁽¹⁾ População urbana, segundo censo IBGE de 1996;

⁽²⁾ Dados do Inventário Estadual de Resíduos Sólidos de 1997;

⁽³⁾ Considerando dados de 1997 e 1998 - IQR: Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos.

Fonte: CETESB (1998 e 1999A).

1.2.2. Resíduos sólidos de serviços de saúde

A situação dos resíduos de serviços de saúde na região é bastante problemática, não havendo um diagnóstico sistemático com dados confiáveis, nem mesmo um controle sobre a destinação destes resíduos. Em grande parte dos municípios não existe sequer um cadastro das entidades produtoras deste tipo de resíduos (hospitais, consultórios médicos, veterinários e odontológicos, laboratórios de análises clínicas, etc), desconhecendo-se totalmente os volumes e a composição dos materiais produzidos, bem como a forma de seu destino final. Assim, significativa porção deste material certamente é misturada aos resíduos sólidos domésticos, recebendo o mesmo tipo de tratamento.

CETEC (1999) realizou levantamento nas prefeituras da região, obtendo informações que muitas vezes não coincidem com os dados da CETESB, constatando a citada situação de descontrole sobre o gerenciamento deste tipo de resíduos, mas que é bastante ilustrativa. A incineração a céu aberto ocorre de forma rotineira nos diversos depósitos de resíduos da região (como em Artur Nogueira e Monte Mor), não se tendo controle sobre o material incinerado de forma irregular em lixões clandestinos. Entretanto, a forma mais comum de tratamento é o aterramento, juntamente com os resíduos sólidos domiciliares. Alguns municípios promovem a coleta dos serviços de saúde e realizam esse procedimento em valas sépticas, separadamente dos resíduos sólidos domiciliares (Holambra e Americana o fazem em aterros sanitários, enquanto Santa Bárbara D'Oeste e Santo Antonio de Posse o fazem em lixões). Há também equipamentos para tratamento térmico destes resíduos, os quais também recebem os resíduos de outros municípios da região: em Paulínia existe um incinerador convencional, enquanto em Campinas há um micro-ondas.

1.2.3. Resíduos sólidos industriais

Com relação aos resíduos sólidos industriais, JAAKKO PÖYRY (1996) apresenta um diagnóstico para as Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (Tabela 23), que pode ilustrar a situação na Região Metropolitana de Campinas (Tabela 24). Destaca-se que as indústrias instaladas nas bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí produzem anualmente cerca de 105.000 toneladas de resíduos sólidos classe I. Deste total, as grandes empresas respondem por cerca de 60% e os restantes 40% são gerados pelas pequenas e micro-empresas, que dificilmente são atingidas pelo sistema de controle e fiscalização. Quanto aos resíduos classe II, são produzidos anualmente cerca de 950.000 toneladas, dos quais cerca de 10% são produzidos por pequenas e micro-empresas.

Os municípios de Amparo, **Americana**, **Campinas**, Jundiaí, Limeira, **Paulínia**, Piracicaba, **Sumaré** e **Valinhos** respondem por mais de 70% dos resíduos sólidos industriais da região. Desses oito municípios, cinco (em negrito) estão na Região Metropolitana de Campinas (JAAKKO PÖYRY 1996).

Com respeito ao tratamento e destino final dos resíduos sólidos industriais, há uma diversidade de soluções, que abrangem: reprocessamento, estocagem, incineração, tratamento químico, disposição em aterros industriais e municipais e em lixões, dentre outros. Quase 25% dos resíduos sólidos classe I gerados estão estocados precariamente dentro das indústrias, perfazendo um total 64.000 toneladas. Esta situação é crítica na medida em que estes resíduos apresentam alto potencial de contaminação ambiental e encontram-se à espera de tratamento adequado ou do desenvolvimento de tecnologia para tal. Existem, ainda, 920.000 toneladas de resíduos sólidos classe II estocados provisoriamente na região, aumentando a cada ano à razão de 50.000 toneladas/ano. Desse total, 51,13% corresponde aos 18 municípios compreendidos pela área-piloto. (IG-SMA 1999).

Do quadro apresentado é conclusiva a deficiência de equipamentos técnica e ambientalmente apropriados para receberem os resíduos sólidos, seja Classe I, Classe II ou Classe III. É preocupante, ainda, a ausência de informações sobre a geração e destinação dada aos resíduos sólidos industriais produzidos nas pequenas e micro-empresas.

Tabela 23. Geração de resíduos sólidos industriais segundo o porte das indústrias nas bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá.

INDÚSTRIAS		QUANTIDADE DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS GERADOS			
PORTE	QUANTIDADE	CLASSE I (TON/ANO)	CLASSE II (TON/ANO)	CLASSE III (TON/ANO)	TOTAL (TON/ANO)
Grande	459	66.183,3	835.984,6	21.581,9	923.749,8
Pequenas e micro	14.610	39.241,4	116.322,4	113.816,7	269.380,5
TOTAL	15.069	105.424,7	952.307,0	135.398,6	1.193.130,3

Fonte: JAAKKO PÖYRY (1996).

Tabela 24. Geração de resíduos sólidos industriais nos municípios compreendidos pela área-piloto.

MUNICÍPIO	QUANTIDADE DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS GERADOS			
	CLASSE I (TON/ANO)	CLASSE II (TON/ANO)	CLASSE III (TON/ANO)	TOTAL POR MUNICÍPIO (TON/ANO)
Americana	2.661,7	59.701,4	5.126,7	67.489,8
Artur Nogueira	390,6	711,7	217,8	1.320,2
Campinas	11.817,3	90.910,4	8.114,	110.841,8
Cosmópolis	3.983,4	5.769,9	170,6	9.923,9
Engenheiro Coelho	26,8	4.832,0	0	4.858,8
Holambra	0	28,5	0	28,5
Hortolândia	76,0	3.061,7	25,7	3.163,4
Indaiatuba	3.064,8	9.251,0	5.232,7	17.548,4
Jaguariúna	201,9	30.576,5	4.579,3	35.357,7
Monte Mor	211,6	2.234,5	301,1	2.747,2
Nova Odessa	2.088,4	2.780,8	1.529,7	6.398,9
Paulínia	29.287,4	53.728,3	828,4	83.844,1
Pedreira	1.078,7	10.830,1	12.563,1	24.471,9
Santa Bárbara D'Oeste	1.587,1	15.500,8	1.394,9	18.482,8
Santo Antonio de Posse	70,0	0	0	70,0
Sumaré	4.881,5	31.546,8	6.163,9	42.592,3
Valinhos	3.957,2	49.229,5	2.446,6	55.633,3
Vinhedo	1126,2	4856,2	7.906,0	13.888,4
TOTAL	66.510,6	327.200,1	56.300,5	450.011,2

Fonte: JAAKKO PÖYRY (1996).

2. LEVANTAMENTO DE DADOS E INFORMAÇÕES

2.1. Seleção de produtos de sensoriamento remoto

Neste estudo foram utilizadas imagens de satélite TM-Landsat, na escala 1:100.000, no formato papel e com as seguintes órbitas/pontos e quadrantes: 219/076 A; 219/076 C; 220/076 D. As cenas utilizadas foram obtidas em duas passagens diferentes, 27/07/1994 e 20/08/1997, respectivamente com ângulo de elevação solar de 31° e de 38°, e azimute de 048° e de 051°.

No que diz respeito aos aspectos de uso e ocupação do solo, os melhores resultados foram obtidos a partir da composição colorida 3/B, 4/R, 5/G.

Já os aspectos fisiográficos encontraram melhor resposta a partir da interpretação das cenas na banda 4 e na composição colorida 3B/4R/5G. A banda 4 foi mais favorável à interpretação na região onde ocorrem rochas do embasamento cristalino, enquanto a composição colorida favoreceu a interpretação no domínio da Bacia Sedimentar do Paraná.

2.2. Elaboração do mapa-base

Visando a obtenção da base cartográfica 1:100.000, que viria suportar as informações temáticas, efetuou-se uma avaliação da cartografia digital existente que abrangesse a área geográfica de interesse: a Região Metropolitana de Campinas. Diversas fontes foram consultadas e a opção recaiu sobre o uso de material cartográfico digital existente na Coordenadoria de Planejamento Ambiental da Secretaria de Estado do Meio Ambiente. Este material cartográfico consistia originalmente em doze cartas em escala 1:50.000 e formato vetorial, adquirido por escaneamento em *scanner* de alta resolução e vetorização semi-automática. Apesar de se tratar de material não editado (em bruto) implicou num ganho de tempo e economia nos custos relativos a este item.

Procedeu-se, então, à edição dos arquivos originais e preparação da base

1:100.000, o que foi executado com o uso do *software Microstation*, dados os avançados recursos de edição de CAD deste *software*. Também foi realizada a atualização da malha viária, com adequação cartográfica para a escala de análise dos temas e utilizando-se imagens de satélite TM-Landsat 5. Ressalte-se que foi utilizado na base 1:100.000 o sistema de projeção UTM apoiado no *Datum* Horizontal Córrego Alegre com meridiano central 45° (fuso 23).

2.3. Compilação de dados bibliográficos e cartográficos

Como já considerado anteriormente, a principal fonte de dados e informações desta tese está em IG-SMA (1995A, 1995B e 1999), projetos desenvolvidos no Instituto Geológico da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, quando da atuação técnica e gerencial da autora. Além destes trabalhos, sob o ponto de vista do meio físico, a região abrangida pela área-piloto tem sido objeto de estudo de diversos autores, dentre os quais podem ser citados: WERNICK (1967), PETROBRÁS (1971), VLACH (1985), BASEI ET AL. (1986), SOUZA Fº (1986), UNESP (1986), EMPLASA (1993), IG-SMA (1993), BARISON (1995), JAAKKO PÖYRY (1996), PIRES NETO (1996), YOSHINAGA-PEREIRA (1996), FERNANDES (1997), IG-SMA ET AL. (1997), ROSS & MOROZ (1997), SMA (1998C), VEDOVELLO ET AL. (1998), BROLLO ET AL. (1998B e 1999), CETESB (1998 e 1999A).

O levantamento e análise destes trabalhos visaram à obtenção de dados e informações que se adequassem à estrutura mostrada no diagrama de fluxo de trabalho da Figura 8. Grande parte destes trabalhos também serviu de base para a obtenção direta ou indireta de atributos relativos tanto a aspectos de uso e ocupação do solo (como os constantes na Tabela 10), como os referentes a aspectos fisiográficos do meio físico (como os da Tabela 11).

Outrossim, foram realizados a compilação e o reprocessamento de dados para a geração de produtos cartográficos que auxiliassem na compartimentação fisiográfica, os quais a princípio foram plotados manualmente sobre o mapa-base. Resultaram deste processo dois mapas auxiliares, Mapa Litológico e Mapa de Tipos de Relevo.

2.3.1. Unidades de Conservação

Um dos primeiros aspectos levantados foi o da distribuição e natureza das Unidades de Conservação presentes na área de estudo, tendo o mesmo entendimento considerado em SILVA & FERNASARI F^o (1992) e destacado na Parte III desta tese. Levou-se em conta também a extensão destas unidades, de forma a possibilitar sua representação na escala de mapeamento (1:100.000).

Isto posto, a análise de SMA (1998c) possibilitou a identificação de nove Unidades de Conservação na área de estudo, as quais foram plotadas manualmente no mapa-base: *Estação Ecológica Valinhos*, localizada no município de Valinhos; *Parque Ecológico Monsenhor Emílio José Salim*, localizada no município de Campinas; *Parque Estadual de Assessoria da Reforma Agrária (ARA)*, localizada no município de Valinhos; *Área de Proteção Ambiental Piracicaba-Juqueri-Mirim (área II)*, englobando parte dos municípios de Campinas, Jaguariúna, Pedreira, Santo Antonio da Posse e Holambra; *Área de Relevante Interesse Ecológico da Mata de Santa Genebra*, localizada no município de Campinas; *Área de Relevante Interesse Ecológico Cosmópolis*, localizada no município de Cosmópolis; *Área Natural Tombada Fazenda Mato Dentro*, localizada no município de Campinas; *Área Natural Tombada Fazenda Santa Genebra*, localizada no município de Campinas; *Área Natural Tombada Bosque dos Jequitibás*, localizada no município de Campinas.

2.3.2. Mapa Litológico.

O Mapa Litológico, apresentado em escala 1:100.000, contribuiu para a identificação das unidades de compartimentação fisiográfica e para a caracterização da área em estudo. Dada sua aplicação neste projeto, optou-se por uma divisão baseada na variação litológica, que reflete o comportamento mecânico das unidades, através das características texturais, estruturais, variação granulométrica das rochas. O critério litológico adotado não pressupõe necessariamente a contemporaneidade das litologias agrupadas.

Para elaboração deste mapa foi realizada compilação a partir de WERNICK (1967), BASEI ET AL. (1986), PETROBRÁS (1971), IPT (1981), VLACH (1985), SOUZA

F° (1986), UNESP (1986), IG-SMA (1993 e 1995A) e FERNANDES (1997). Note-se que estes trabalhos apresentam diferenças tanto no tipo de abordagem, relacionado aos critérios descritivos das litologias, quanto no detalhamento dos dados, fator esse relacionado à escala. Estes dados foram complementados por foto-interpretação das imagens TM-Landsat, em escala 1:100.000, composições coloridas (3, 4, 5,), (5, 3, 7) e banda 4. Esta interpretação, baseada na variação textural dos elementos da imagem, permitiu a identificação de unidades com diferentes características texturais. As unidades obtidas a partir deste processo inserem-se em dois grandes domínios morfotectônicos: litologias pertencentes ao *Embasamento Cristalino* e litologias associadas à *Bacia Sedimentar do Paraná*.

No domínio do *Embasamento Cristalino* observa-se a ocorrência de uma seqüência de rochas granito-gnáissicas e rochas meta-sedimentares associadas de idade Pré-Cambriana. Estas litologias são afetadas por grandes zonas de cisalhamento de alto ângulo de caráter dúctil situadas próximas à borda dos sedimentos da Bacia do Paraná. A seqüência granito-gnáissica e as rochas meta-sedimentares pertencentes ao Embasamento Cristalino foram subdivididas em 11 unidades, de acordo com suas características composicionais, texturais, e deformacionais. Nestas unidades encontram-se granitóides das suítes graníticas Jaguariúna e Morungaba, gnaisses diversos, e rochas metassedimentares atribuídas ao Grupo Itapira (BASEI ET AL. 1986).

Já os sedimentos pertencentes à Bacia Sedimentar do Paraná podem ser divididos em três grupos: sedimentos de idade cenozóica; diques e *sills* de diabásios; sedimentos pertencentes ao Subgrupo Itararé. Os Sedimentos de Idade Cenozóica são sedimentos aluvionares, siltes, arenitos finos e lamitos, subdivididos em três unidades: sedimentos aluvionares (atuais e pré-atuais); siltitos, predominantemente; lamitos e arenitos finos lamíticos. Os diques e *sills* de diabásios ocorrem de forma extensa pela área na forma de corpos tabulares. Os *Sedimentos pertencentes ao Subgrupo Itararé* foram subdivididos em três unidades, o que não pressupõe contemporaneidade das fácies agrupadas: arenitos médios a grossos; arenitos finos e siltes laminados; ritmitos e lamitos.

A distribuição destas unidades pode ser mais bem observada na Figura 11, que mostra um trecho do Mapa Litológico simplificado. A legenda deste mapa está mais bem detalhada na Tabela 25.

Figura 11. Trecho do Mapa Litológico da área-piloto.

Tabela 25. Principais características das unidades litológicas presentes no Mapa Litológico da área-piloto (modificado de IG-SMA 1999).

UNIDADE LITOLÓGICA	DESCRIÇÃO
DEPÓSITOS ALUVIONARES (U)	Os principais depósitos aluvionares estão associados às planícies das drenagens principais: Córrego da Ressaca e rios Camanducaia, Jaguari, Atibaia, Piracicaba, Capivari e Jundiá. Litologicamente, tratam-se de conglomerados mal selecionados, areias grossas a finas mal selecionadas, sedimentos silto-argilosos, argilas e siltes.
SILTITOS LAMINADOS, SILTITOS ARENO-ARGILOSOS (Scz)	Corresponde a litologias de granulação média, de idade Cenozóica. Tratam-se de siltitos laminados e siltitos areno-argilosos com esparsos seixos, provavelmente oriundos de unidades do Subgrupo Itararé, mal selecionados, por vezes com laminação cruzada e granodecrescência e, subordinadamente, argilitos siltosos, arenitos quartzosos e conglomeráticos. Predominam corpos tabulares métricos de siltitos areno-argilosos. Estas litologias ocorrem principalmente em regiões de topo de colinas suaves.
ARENITOS FINOS PELÍTICOS, LAMITOS ARENOSOS E ARENITOS FINOS MAL SELECIONADOS (Pcz)	Esta unidade, também de idade Cenozóica, encobre a de siltitos laminados e areno-argilosos (Scz). O contato apresenta um pavimento de clastos. É constituída por arenitos finos pelíticos, lamitos arenosos e arenitos muito finos mal selecionados, medianamente compactos, geralmente maciços e com espessura atingindo até 5 metros. Tende a ocorrer em meia encosta e em relevos de colinas amplas e apresenta baixa densidade de drenagem.
DIABÁSIOS (D)	Tratam-se de corpos tabulares predominantemente na forma de sills e diques, com granulação fina.
ARENITOS MÉDIOS A GROSSOS (Ai)	Esta unidade bem como as unidades <i>Si</i> e <i>Pi</i> correspondem a sedimentos do Subgrupo Itararé. Na área em estudo os sedimentos do Subgrupo Itararé ocorrem ao longo de toda a Bacia do Paraná, principalmente nas porções de média encosta e encosta inferior. Estes sedimentos encontram-se em contato com o Embasamento Cristalino através de uma inconformidade, apresentando uma orientação irregular NNE-SSW. De forma geral, pode-se dizer que esta unidade é formada por arenitos e conglomerados polimíticos, arenitos médios intercalados a arenitos finos, arenitos médios a grossos, mal selecionados, com estratificação cruzada acanalada apresentando granodecrescência. Apresenta cor avermelhada nas frações mais grossas e bege nas frações mais finas.
ARENITOS MUITO FINOS, SILTO-ARGILOSOS LAMINADOS (Si)	Tratam-se de arenitos muito finos, silto-argilosos laminados por vezes intercalados a ritmitos laminados em intercalações métricas a decimétricas.
RITMITOS ARENO-SILTO-ARGILOSO, LAMITOS ARENOSOS E ARENITOS LAMÍTICOS COM GRÂNULOS (Pi)	Os ritmitos areno-silto-argilosos, os lamitos arenosos e os arenitos lamíticos correspondem à unidade de frações mais finas do Subgrupo Itararé. Trata-se de ritmitos que apresentam alternância de argilitos e siltitos em contato superior com lamitos, que por sua vez apresentam grânulos e seixos de natureza variada. Como alguns destes clastos encontram-se facetados foi-lhes atribuído retrabalhamento glacial. Na área em estudo esta unidade ocorre principalmente na porção inferior das vertentes e geralmente associada a unidade Si.
HORNBLENDA-BIOTITA GRANITOS PORFIRÍTICOS (Gp1)	Litologia pertencente à Suíte Granítica Jaguariúna. Trata-se de hornblenda-biotita granito porfirítico, cinza escuro, com matriz fina a média, inequigranular, com cerca de 15% de máficos, de composição granodiorítica-granítica, com megacristais de feldspato potássico. Encontra-se foliado, com intensidade de deformação variável, estando mais deformado nas proximidades da Zona de Cisalhamento Campinas.
BIOTITA GRANITOS (Ge1)	Esta litologia pertence à Suíte Granítica Jaguariúna. Trata-se de um biotita granito, de cor rosa acinzentado, inequigranular, de granulação média a grossa e com uma porcentagem bem reduzida de megacristais, com 5 a 10 % de máficos e composição granodiorítica.

UNIDADE LITOLÓGICA	DESCRIÇÃO
BIOTITA GRANITOS E QUARTZO MONZOGRANITOS PORFIRÍTICOS (Gp2)	Esta litologia apresenta cor cinza, granulação média a grossa, é inequigranular, com máficos variando entre 5 a 15% e pertence à Suíte Granítica Morungaba. Os monzogranitos apresentam megacristais centimétricos de microclíneo e têm a matriz com granulação média a grossa. A unidade também apresenta enclaves de dioritos, de quartzo-dioritos e de quartzo monzo dioritos decimétricos. Apresenta variação quanto à deformação, em que as porções mais intensamente deformadas estão na parte leste da unidade, onde ocorre a Zona de Cisalhamento Valinhos.
BIOTITA GRANITOS (Ge2)	Trata-se de Biotita Granitos 3B e granodioritos maciços, de cor rosa a cinza rosada, com granulação fina a média, equigranulares e com máficos variando entre 10 a 5%. Apresenta xenólitos de rochas gnáissicas. Com grau de deformação variado, é afetada à oeste por um “ramo” da Zona de Cisalhamento Valinhos.
GRANITÓIDES INDIFERENCIADOS (G)	São granitos foliados, de cor cinza, equigranulares.
GNAISSES BANDADOS (Nb)	Esta unidade ocorre ao longo da faixa situada próxima ao contato com o Embasamento Cristalino e a Bacia do Paraná, na porção leste da área em estudo. É afetada pelas principais zonas de cisalhamento da região (Zona de Cisalhamento Campinas e Zona de Cisalhamento Valinhos), o que lhe confere uma forma alongada na direção NE-SW. É composta por biotita-hornblenda gnaisses equigranulares de granulação média e com intercalações de bandas centimétricas cinza claras de composição quartzo-diorítica e de bandas escuras compostas por biotitas e hornblendas. Apresenta, ainda, intercalações de anfibolitos bandados. Nesta unidade podem ser diferenciadas cinco litologias (IG-SMA/SP, 1993): hornblenda biotita gnaisses de composição toleítica, diorítica ou anfibolítica, com bandas descontínuas de cor cinza; biotita gnaisses bandados de cor cinza inequigranular médio; biotita gnaisses; granitóides homogêneos cinza, inequigranulares médios a grossos; granada biotita gnaisses bandados, com aspecto nebulítico e subordinadamente anfibolitos gnáissicos.
GNAISSES LAMINADOS (Nl)	Esta unidade ocorre associada à unidade de Gnaisses Bandados (Nb). É cortada pelas zonas de cisalhamento regionais de Valinhos e Campinas. Trata-se de granada-sillimanita-biotita gnaisses e gnaisses xistosos, peraluminosos, de cor cinza e textura granoblástica fina. Por vezes apresenta estrutura migmatítica estromática. Apresenta, subordinadamente, anfibolitos esparsos e granitóides foliados intercalados aos gnaisses. Outras intercalações frequentes são de rochas calciossilicáticas, xistos negros e biotita gnaisses cinza.
GNAISSES PORFIROBLÁSTICOS E GNAISSES BANDADOS (Np)	Trata-se de gnaisses porfiroblásticos e subordinadamente gnaisses bandados com predomínio da textura oftalmítica (<i>augen</i>); com megacristais centimétricos de feldspato e matriz de granulação média. São, em geral, de cor cinza. Ocorrem subordinadamente intercalações de quartzitos e biotita xistos centimétricas aos gnaisses. Encontra-se associada à unidade de Biotita Gnaisses Equigranulares (No).
BIOTITA GNAISSES EQUIGRANULARES (No)	Trata-se de biotita gnaisses equigranulares, gnaisses graníticos com granada e ortognaisses e rochas migmatíticas associadas.
XISTOS (X)	Trata-se de granada muscovita biotita xistos de cor cinza e granulação fina. Constituem rochas metavulcânicas xistificadas, de aspecto maciço. A esta unidade encontra-se associada a unidade de Quartzitos (Q).
QUARTZITOS (Q)	Trata-se de quartzitos micáceos, esbranquiçados a levemente rosados de granulação média a fina. A esta litologia encontram-se intercalados biotita xistos feldspáticos.

2.3.3. Mapa de Tipos de Relevo

O Mapa de Tipos de Relevo, compilado em escala 1:100.000, também teve seu contexto adaptado às necessidades deste estudo, de forma a fornecer atributos básicos importantes nas avaliações temáticas (como grau de dissecção e morfometria, por exemplo). Da mesma forma que para o mapa litológico, as fontes de informação também apresentavam variações na escala de representação, as quais tiveram que sofrer adaptações e generalizações.

Assim sendo, a compilação deste mapa baseou-se nos trabalhos de IPT (1981), IG-SMA (1993 e 1995), PIRES NETO (1996) e ROSS & MOROZ (1997). Como resultado foram delimitadas dez unidades: Planícies Fluviais, Terraços, Colinas Amplas, Colinas Médias, Colinas Pequenas, Colinas e Morrotes, Morrotes, Morros, Montanhas, Escarpas. Estes tipos de relevo encontram-se distribuídos em dois compartimentos morfo-estruturais que compõem o relevo do Estado de São Paulo, a Depressão Periférica e o Planalto Atlântico, aos quais se associam, respectivamente, formas colinosas e formas amorreadas. Na zona de transição entre os compartimentos encontram-se formas mistas.

A variação de relevo na área de estudo pode ser mais bem observada na Figura 12, que ilustra o Mapa de Tipos de Relevo para uma porção da área de estudo. A legenda completa deste mapa está sintetizada na Tabela 26, que apresenta as características gerais dos tipos de relevo.

Figura 12. Trecho do Mapa de Tipos de Relevo da área-piloto.

Tabela 26. Características dos Tipos de Relevo presentes na área-piloto.

TIPOS DE RELEVO	CARACTERÍSTICAS DOMINANTES			
	declividade	amplitude da forma de relevo	comprimento de rampa	grau de dissecação
Planícies Fluviais	< 2%	-	-	-
Terraços	< 2%	-	-	-
Colinas Amplas	2 a 12%	15 a 130 m	250 a 2850 m	pouco dissecadas
Colinas Médias	4 a 18%	20 a 90 m	250 a 1700 m	pouco dissecadas
Colinas Pequenas	4 a 17%	25 a 105 m	150 a 1800 m	muito dissecadas
Colinas e Morrotes	14 a 30%	60 a 90 m	300 a 750 m	medianamente a muito dissecadas
Morrotes	6 a 53%	20 a 340 m	200 a 1100 m	muito dissecadas
Morros	17 a 45%	70 a 150 m	250 a 600 m	muito a medianamente dissecadas
Montanhas	8 a 56%	40 a 400 m	250 a 1400 m	muito dissecadas
Escarpas	10 a 49%	60 a 480 m	300 a 1800 m	muito dissecadas

2.4. Compartimentação do uso e ocupação do solo

2.4.1. Foto-interpretação.

O processo de fotointerpretação seguiu os procedimentos recomendados na Parte III desta tese, fazendo-se uso da imagem TM-Landsat em composição colorida 3/B, 4/R, 5/G. Através desta composição é possível diferenciar aspectos texturais e tonais da imagem, relevantes à diferenciação do uso do solo para a finalidade proposta, ou seja, áreas edificadas, áreas com predomínio de vegetação, áreas com solo exposto.

Assim, fez-se uso de um *overlay*-base, contendo a rede de drenagem e o sistema viário principal restituídos a partir da leitura da imagem. Neste mesmo *overlay* também foram traçados os limites das Unidades de Conservação previamente compiladas, definindo-se, desta forma a primeira das quatro categorias de uso e ocupação do solo.

Posteriormente, na etapa de análise da imagem, ocorreu o estabelecimento de diferentes padrões de uso do solo, através da análise espectral, de variações texturais e tonais da imagem, além da análise da relação de contexto. Seguiu-se o agrupamento de formas texturais semelhantes, definindo as categorias de uso e ocupação do solo (etapa de interpretação da imagem).

Assim, conforme recomendação metodológica, foram definidas para a área de estudo mais três categorias de uso e ocupação do solo: *Áreas com usos urbano e industrial*; *Áreas de uso agro-industrial*; *Áreas de uso rural*. Estes tipos de uso do solo apresentam características específicas associadas à imagem de satélite considerada.

Assim, nas áreas associadas ao *uso urbano e industrial* a forma, tamanho e arranjo de elementos texturais são associados principalmente à presença e disposição do arruamento, densidade de edificações e arborização. O elemento textural tonal apresenta importância marcante, onde: a cor branca representa vias sem pavimentação ou lotes sem impermeabilização; a cor laranja indica uma mescla de vias pavimentadas e sem pavimentação e edificações pouco adensadas em área arborizada; o lilás e o rosa indicam edificações adensadas e predomínio de vias pavimentadas; o azul escuro representa vias pavimentadas e edificações bastante adensadas ou verticalizadas, em área pouco arborizada.

Já nas áreas associadas ao *uso agro-industrial* a forma, tamanho e arranjo de elementos texturais são associados ao tipo e porte da cobertura vegetal (natural e cultivada). É marcante também a ocorrência de pontos isolados, do tamanho de um *pixel*, identificados como grandes equipamentos referentes aos galpões e estufas.

Por último, nas áreas associadas ao *uso rural* a forma, tamanho e arranjo de elementos texturais também são associados ao tipo e porte da cobertura vegetal (natural e cultivada). A vegetação natural varia do verde claro (vegetação rasteira e arbustiva) ao verde escuro (vegetação arbórea densa). Já a vegetação cultivada está associada aos tons de verde, laranja e cinza, que significam diferentes tipos de agricultura e estágios de desenvolvimento do plantio.

2.4.2 Checagem de campo.

A checagem de campo destinou-se a sanar dúvidas da foto-interpretação relativas aos aspectos de uso e ocupação do solo. O seu caráter expedito retratou o planejamento prévio de forma a se ter uma visão geral de todas as categorias de uso do solo. Assim sendo, houve a checagem de limites entre unidades, bem como do significado de alguns padrões identificados na imagem e, principalmente, a caracterização das diferentes categorias de uso e ocupação do solo. Além disso, foi feito registro fotográfico das feições particulares observadas e utilizado aparelho de GPS como apoio à localização dos pontos de campo investigados.

2.5. Compartimentação fisiográfica

2.5.1. Fotointerpretação

O criterioso processo de fotointerpretação da imagem voltado à avaliação de aspectos fisiográficos do terreno constituiu uma das etapas mais importantes da aplicação da metodologia, já que definiu as unidades básicas de análise do meio físico. A partir destas unidades foram aplicadas a classificação e hierarquização para fins de seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos. Ressalte-se que esta etapa da fotointerpretação foi realizada somente nas regiões previamente definidas como de uso rural, agro-industrial e de unidades de conservação.

A primeira atividade da fotointerpretação da imagem foi a extração para um *overlay* dos elementos de drenagem, resultando no *Mapa de Drenagens*. Uma análise ampla deste mapa permitiu delimitar prontamente dois grandes compartimentos na área de estudo, tal a diferença no arranjo e densidade dos elementos texturais da imagem. Confrontando-se estes mapas com os Mapas Litológico e de Tipos de Relevo conclui-se pela razão destas diferenças: na porção oeste está presente a Bacia Sedimentar do Paraná, enquanto a leste ocorrem terrenos associados ao Embasamento Cristalino. Esta distinção assumiu importância operacional, na medida em que há alguma desigualdade nos atributos buscados para estes diferentes compartimentos.

No setor de Embasamento Cristalino foi feita também a extração para um *overlay* dos elementos de relevo, de forma a permitir a obtenção indireta do atributo relacionado ao grau de fraturamento da rocha, o qual é diretamente proporcional ao grau de estruturação do relevo (propriedade da imagem de satélite indicada no “*Banco de dados da análise das imagens de satélite quanto a aspectos fisiográficos do meio físico*”).

Posteriormente, foi feita a identificação de compartimentos fisiográficos a partir das diferenças de homogeneidade, de tropia e de assimetria dos elementos texturais de relevo e da drenagem e de suas formas e estruturas na imagem. Este processo envolveu os critérios estabelecidos pela metodologia proposta, levando à diferenciação de inúmeros compartimentos. Ressalte-se que, na medida em que foi sendo realizada a fotointerpretação, procedeu-se à alimentação do “*Banco de dados da análise das imagens de satélite quanto a aspectos fisiográficos do meio físico*”, visando a um futuro processamento destas informações.

Uma vez estabelecida a compartimentação inicial, foram verificadas a homogeneidade e a similaridade dos compartimentos obtidos, tal como recomendado por VEDOVELLO (2000). Desta forma, foram considerados homogêneos os compartimentos em que as propriedades e características texturais de elementos de drenagem e/ou de relevo, relativas a cada nível taxonômico, fossem constantes em toda a área do compartimento. Uma vez verificada a ocorrência de heterogeneidades internas nas unidades de compartimentação iniciais, estas foram subdivididas.

Já a verificação da similaridade consistiu em comparar as propriedades da forma e a estrutura dos elementos texturais das diversas zonas homogêneas de cada compartimento taxonômico. De tal modo, áreas que apresentavam propriedades texturais e/ou estruturais semelhantes foram classificadas sob a mesma denominação.

Assim sendo, por meio do processo descrito foram individualizadas unidades de compartimentação fisiográfica, em diferentes níveis hierárquicos, as quais teoricamente têm características e propriedades específicas e apresentam uma resposta diferenciada às intervenções antrópicas e aos processos geodinâmicos.

O passo seguinte consistiu na digitalização dos limites das Unidades de Compartimentação Fisiográfica, tomando-se o mapa-base digital como apoio cartográfico. Esta operação foi realizada por meio do *software Microstation*, gerando polígonos associados a um novo *layer* de informações, compondo a base do que virá a ser o Mapa de Unidades de Compartimentação Fisiográfica.

2.5.2. Hierarquia de compartimentação dos terrenos

A hierarquia estabelecida para a compartimentação dos terrenos está intrinsecamente relacionada às condições morfo-ambientais da região estudada e se refletem em quatro níveis hierárquicos, cujas características morfo-ambientais são apresentadas a seguir:

- **1º nível:** corresponde a diferenças fisiográficas de natureza tectônica em nível regional.
- **2º nível:** associa-se a variações lito-estruturais.
- **3º nível:** considera diferenças de sistemas e/ou formas de relevo.
- **4º nível:** contempla as variações relativas a associações específicas de rochas (litologias e estruturas), solos (perfis de materiais inconsolidados) e formas ou elementos de relevo.

2.5.3. Identificação de compartimentos fisiográficos

A identificação na imagem das feições correspondentes aos níveis hierárquicos foi realizada passo a passo, tal como sugere a Tabela 27, que apresenta uma síntese dos aspectos texturais nas imagens que foram utilizadas para a identificação dos compartimentos em cada nível hierárquico. A relação entre as características texturais na imagem e os compartimentos identificados em cada nível hierárquico estão mais bem detalhados nos parágrafos apresentados a seguir.

Tabela 27. Características texturais nas imagens associadas aos diferentes níveis hierárquicos de compartimentação para a área de estudo.

NÍVEL HIERÁRQUICO	ASPECTOS TEXTURAIS DISCRIMINANTES
1º nível - Domínio Regional	Assimetria das formas de drenagem.
2º nível - Domínio Lito-estrutural	Tropia, arranjo e grau de estruturação das formas e estruturas de relevo e drenagem.
3º nível - Domínio Geomorfológico	Densidade, tropia e grau de estruturação associados às formas e às estruturas de relevo e drenagem.
4º nível - Unidades de Compartimentação	Propriedades das formas dos elementos texturais de drenagem e relevo (tipo, densidade, arranjo, grau e ordem de estruturação).

Fonte: modificado de VEDOVELLO (2000).

A primeira divisão fisiográfica realizada, relativa ao **1º nível hierárquico**, consistiu em dividir a área em dois compartimentos fisiográficos, denominados *Bacia Sedimentar (B)* e *Embasamento Cristalino (C)*. A distinção desses dois compartimentos na imagem foi feita com base na assimetria das formas de drenagem, que são predominantemente geométricas para o compartimento C e do tipo arborescente para o compartimento B. Na Figura 13 é possível observar as diferenças de drenagem entre os dois compartimentos. O limite entre esses dois compartimentos é de natureza difusa e por vezes progressiva e reflete o caráter de transição entre os domínios do Embasamento Cristalino e da Bacia Sedimentar.

No **2º nível hierárquico** foram identificados compartimentos relacionados às diferenças lito-estruturais. A relação entre a textura na imagem e as características litológicas gerais das unidades representadas no Mapa Litológico são as seguintes:

- Os *aluvões* são identificados por rupturas de declive suaves, que ocorrem principalmente na transição de colinas amplas para o canal de drenagem. Muitas vezes verifica-se mais de uma ruptura de declive, em que a intermediária relaciona-se a rampas coluvionares. Nesses locais verifica-se a ausência de elementos texturais de drenagem e de quebras positivas e negativas do relevo.
- As *associações litológicas predominantemente arenosas* no domínio da Bacia Sedimentar do Paraná estão associadas a formas de drenagem arborescentes e de média densidade. Tropias unidirecionais refletem-se com baixo a médio grau de estruturação.

a) Rede de drenagem em setor de Bacia Sedimentar.

b) Rede de drenagem em setor de Embasamento Cristalino.

c) Compartimentação fisiográfica para o setor de bacia sedimentar, com exemplos da codificação estabelecida com base nos níveis hierárquicos de análise, onde:

- primeira letra B - domínio de bacia sedimentar;
- segunda letra B - litotipos arenitos muito finos silto-argilosos, C - litotipos ritmitos areno-silto argilosos, G - litotipos siltitos laminados e siltitos areno-argilosos;
- terceira letra A - tipo de relevo colinas amplas, P - tipo de relevo pequenas.
- algarismos 1, 8 - conjunto de características específicas das UBCs associadas às estruturas geológicas, perfil geotécnico de alteração, espessura de material inconsolidado, declividade

d) Compartimentação fisiográfica para o setor de embasamento cristalino, com exemplos da codificação estabelecida com base nos níveis hierárquicos de análise, onde:

- primeira letra C - domínio de embasamento cristalino;
- segunda letra G - litotipos granitóides indiferenciados, N - litotipos gnaisses bandados;
- terceira letra M - tipo de relevo morros, T - tipo de relevo morrotes;
- algarismos 1, 2 - conjunto de características específicas das UBCs associadas às estruturas geológicas, perfil geotécnico de alteração e espessura de material inconsolidado, declividade.

Figura 13. Exemplo de trechos da área estudada apresentando relações entre os aspectos da rede de drenagem e a compartimentação fisiográfica (modificado de BROLLO ET AL. 1998B).

- *Associações litológicas predominantemente pelíticas (lamitos, argilitos)*, incluindo siltitos, ritmitos e ocorrências de arenitos finos a muito finos, situam-se em setores aplainados ora com ausência de drenagem, ora com densidade muito baixa de drenagem.
- As áreas onde afloram *diabásios* apresentam na imagem de satélite alinhamento associado a quebras positivas de relevo com grande amplitude. Observou-se que nos locais onde a pedogênese atuou sobre essas rochas com maior intensidade, ocorrem formas de drenagem isotrópicas e de média densidade.
- As *rochas granitóides* são caracterizadas pela ocorrência de alinhamentos de relevo e drenagem que refletem lineamentos estruturais de direção NW e N-S. Essa estruturação da textura na imagem é mais evidente (grau de estruturação) nesses litotipos do que nos demais que ocorrem na área. Os litotipos granitóides apresentam formas de drenagem geométricas (treliça, retangular) e de alta densidade caracterizadas por anisotropia bidirecional.
- Os *ortognaisses e migmatitos* compreendem formas de drenagem do tipo dendrítico de muito alta densidade e tendência isotrópica predominante.
- Os *gnaisses bandados*, laminados e porfiroblásticos apresentam formas de drenagem do tipo dendrítico de densidade média, o que parece refletir um menor grau de estruturação com tendência isotrópica predominante.
- As *rochas miloníticas* associadas às zonas de cisalhamento são caracterizadas pelo alinhamento de cristas (quebras positivas) e de drenagens (quebras negativas) segundo a orientação NNE, com variações para N-S e NNW. Esse grupo de rochas apresenta um alto grau de estruturação com formas de drenagem em padrão geométrico (treliça, retangular, paralela) de alta densidade, caracterizadas por anisotropia unidirecional.

Em relação ao **3º nível hierárquico**, a identificação de compartimentos relativos aos diferentes tipos e formas de relevo, apresenta as seguintes relações com a textura na imagem:

- No *domínio da Bacia Sedimentar*, os principais compartimentos identificados foram colinas amplas a médias e colinas pequenas. Em setores onde ocorrem

colinas amplas a médias, os topos e as encostas convexas caracterizam-se pela ausência de drenagem, sendo diferenciados a partir de rupturas de declive (elemento textural de relevo). As encostas côncavas e vales, além de sua identificação pelas rupturas de declive, apresentam densidade de drenagem baixa e tropia predominantemente unidirecional, perpendicular ao canal principal. Já os setores de colinas pequenas apresentam média densidade de drenagem e formas arborescentes. Ocorrem variações de tropia (unidirecionais, bidirecionais e isotrópicas) e de grau de estruturação (médio a baixo), dependendo das diferentes unidades litológicas ocorrentes.

- No *domínio do Embasamento Cristalino*, os relevos mais representativos incluem morrotes, morros, montanhas e escarpas, por vezes em associações específicas. A diferenciação entre esses tipos de relevo foi dada principalmente pela frequência relativa de elementos texturais de relevo (quebras positivas e negativas). Dessa forma, as referidas frequências apresentam o seguinte comportamento: de média a alta nos morrotes; alta nos morros; alta a muito alta nas montanhas e muito alta nas escarpas. As densidades de drenagem associadas são: média para os morrotes, alta para os morros, e muito alta para as montanhas e escarpas.

A diferenciação de unidades no **4º nível hierárquico**, que reflete especificidades das unidades básicas de compartimentação fisiográfica, foi feita a partir da análise das propriedades da forma dos elementos texturais (densidade, grau de estruturação, ordem de estruturação, tipo de arranjo), conforme ilustrado na Tabela 28. Essas propriedades texturais relacionam-se às variações locais associadas a: litologias; estruturas geológicas (fraturamento, foliação); morfometria do relevo (declividade e amplitude); perfis de alteração de solos; espessura de material inconsolidado; profundidade do nível d'água.

Algumas relações entre fisiografia, níveis hierárquicos e textura são exemplificadas na Figura 13. Nesta figura são apresentados trechos da área estudada, onde se pode verificar a drenagem em setor de Bacia Sedimentar (*Figura 13a*) e em setor de Embasamento Cristalino (*Figura 13b*).

Tabela 28. Exemplo das características texturais de drenagem obtidas nas imagens e utilizadas para a diferenciação de Unidades de Compartimentação Fisiográfica inseridas na área de estudo.

UNIDADE DE COMPARTIMENTAÇÃO FIOGRÁFICA*	PROPRIEDADES DAS FORMAS DOS ELEMENTOS TEXTURAIS			
	Densidade	Arranjo	Grau de estruturação	Ordem de estruturação
BBP 8	Alta	Dendrítico	Alto	2
COR 2	Alta	Dendrítico	Médio	1
CSE 1	Muito alta	Retangular	Muito alto	2

* as quatro letras que denominam as unidades de compartimentação fisiográfica encontram-se discriminadas nas Tabelas 33 e 34.

Na *Figura 13a* é possível observar um trecho onde a maior densidade de drenagem corresponde a um local com associações de litologias predominantemente arenosas, dispostas em relevos do tipo colinas pequenas e com variações relativas ao tipo de material de alteração e ao controle da tectônica rúptil (trechos com anisotropia bidirecional e trechos isotrópicos). Na *Figura 13b* observa-se o predomínio de formas geométricas e alta densidade da drenagem características do compartimento C. As *Figuras 13c e 13d* ilustram a compartimentação da área em unidades de compartimentação fisiográfica para os trechos de drenagem encontrados nas *Figuras 13a e 13b*, respectivamente. Observa-se que a identificação das unidades de compartimentação fisiográfica considerou não apenas as propriedades dos elementos texturais de drenagem, como mostram as *Figuras 13a e 13b*, mas também os elementos texturais de relevo (rupturas de declive e quebras positivas e negativas).

O passo seguinte consistiu na digitalização dos limites das Unidades de Compartimentação Fisiográfica, tomando-se o mapa-base digital como apoio cartográfico. Esta operação foi realizada em mesa digitalizadora com o uso do *software Microstation*, gerando polígonos fechados associados a um novo *layer* de informações, compondo a base do que virá a ser o Mapa de Unidades de Compartimentação Fisiográfica. Ressalte-se que estão excluídas desta setorização as áreas associadas às categorias de uso e ocupação do solo denominadas “Áreas com usos urbano e industrial”.

2.5.4. Checagem de campo.

Esta etapa teve caráter expedito, assegurado por um adequado planejamento, de forma a ter abrangência necessária, sem ser demasiadamente custosa. Desta maneira, foram realizadas as seguintes atividades:

- a) Verificação de limites entre unidades.
- b) Confirmação da interpretação das imagens de satélite, relacionando as unidades de compartimentação com os padrões da imagem.
- c) Caracterização de locais representativos de cada Unidade de Compartimentação Fisiográfica. Foram priorizados os locais que apresentavam perfis de solo mais completos, tanto verticalmente (seqüência solo superficial – solo residual – saprolito – rocha), quanto lateralmente (seqüência topo – meia encosta – base).
- d) Registro fotográfico de feições particulares das unidades, bem como de aspectos gerais da paisagem.
- e) Alimentação do *“banco de dados de levantamentos de campo quanto a aspectos fisiográficos do meio físico”*.

A exemplo da etapa de campo anterior (para checagem de aspectos de uso e ocupação do solo), fez-se uso de aparelho de GPS, como apoio à localização dos pontos de campo observados.

3. GERAÇÃO DE PRODUTOS

3.1. Geração do Mapa de Aspectos de Uso e Ocupação do Solo

3.1.1. Sistematização de dados

Uma vez delimitados e identificados os compartimentos de uso do solo, bem como realizada a checagem de campo, foi possível obter a adequada caracterização das diferentes categorias de uso e ocupação do solo.

Desta forma, as categorias identificadas na área de estudo apresentam as características apresentadas nas Tabelas 29 e 30, as quais foram inseridas no “*banco de dados de características de uso e ocupação do solo*”, elaborado como o uso do *software Access*. Muitas das categorias identificadas encontram-se ilustradas nas Figuras 14 a 21.

Tabela 29. Caracterização das categorias de uso e ocupação do solo identificadas na área de estudo.

CATEGORIA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	CARACTERIZAÇÃO	REGISTRO FOTOGRÁFICO
<i>Áreas com usos urbano e industrial</i>	<p>Incluem-se áreas com uso urbano-industrial já instalado ou com possibilidade de expansão. Associam-se as seguintes características:</p> <ul style="list-style-type: none"> - alta densidade de edificações em estágio consolidado ou em estágio de consolidação; - baixa densidade de edificações e alto índice de arborização (área de expansão urbana); - áreas não edificadas, cujo entorno é ocupado por áreas urbanas ou por grandes equipamentos (vazios urbanos); - áreas com predomínio de grandes equipamentos de forma concentrada, tais como indústrias, galpões, armazéns, estufas, aeroportos (áreas industriais) 	Fotos 1 a 5
<i>Áreas de uso agro-industrial</i>	Ocorrem pequenas propriedades de uso agro-industrial, caracterizadas pela presença esparsa de galpões, armazéns, estufas.	Fotos 6 e 7
<i>Áreas de uso rural</i>	<p>Predomina o uso rural, sendo ocupadas por agricultura, pastagem, reflorestamento e campo antrópico.</p> <p>As edificações ocorrem de forma pontual e esparsa.</p> <p>Há possibilidade de reorganização do uso do solo.</p>	Foto 9
<i>Unidades de Conservação Ambiental</i>	<ul style="list-style-type: none"> - no município de Valinhos localizam-se a <i>Estação Ecológica Valinhos e o Parque Estadual de Assessoria da Reforma Agrária</i>; - no município de Campinas estão o <i>Parque Ecológico Monsenhor Emílio José Salim</i>, a <i>Área de Relevante Interesse Ecológico da Mata de Santa Genebra</i>, a <i>Área Natural Tombada Fazenda Mato Dentro</i>, a <i>Área Natural Tombada Fazenda Santa Genebra</i>, a <i>Área Natural Tombada Bosque dos Jequitibás</i>. - no município de Cosmópolis encontra-se a <i>Área de Relevante Interesse Ecológico Cosmópolis</i>. - a <i>Área de Proteção Ambiental Piracicaba-Juqueri-Mirim (área II)</i>, engloba parte dos municípios de Campinas, Jaguariúna, Pedreira, Santo Antonio da Posse, Holambra. 	Foto 8

Fonte: modificado de IG-SMA (1999).

Tabela 30. Características das Unidades de Conservação Ambiental identificadas na área de estudo.

UNIDADE DE CONSERVAÇÃO	CARACTERÍSTICAS E DEFINIÇÃO
<p>Estação Ecológica Valinhos</p>	<p>Localização: Município de Valinhos.</p> <p>Área: 16,94 hectares.</p> <p>Legislação associada: Decreto Estadual nº 26.890 (criação) e Decreto Estadual nº 45.967-D de 28/01/66 (especificação da área).</p> <p>Área representativa de ecossistemas brasileiros, onde pelo menos 90% da área é destinada à preservação integral. Na área restante podem ser desenvolvidas atividades de pesquisa e de educação ambiental, desde que exista um plano de zoneamento aprovado e que tais atividades não alterem o ambiente natural.</p> <p>Nas áreas do entorno da Estação Ecológica devem ser consideradas as Leis Federais nº 4.771/65 (Código Florestal) e nº 5.197/67 (Lei de Proteção à Fauna) e também a Resolução nº 13 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), a qual determina que, na faixa de 10 km ao redor da área, qualquer atividade está subordinada às normas do CONAMA.</p>
<p>Parque Ecológico Monsenhor Emílio José Salim</p>	<p>Localização: Município de Campinas.</p> <p>Área: 285 hectares.</p> <p>Legislação associada: Decreto Estadual nº 27.071 de 08/06/87.</p> <p>O Poder Público Estadual não define de forma exclusiva esta unidade de conservação, mas se refere a ela nos mesmos termos definidos aos Parques Estaduais. Desta forma, o Parque Ecológico pode ser considerado como área dotada de atributos naturais excepcionais e destinada à preservação permanente, sendo submetida à condição de inalienabilidade e indisponibilidade no seu todo. As atividades permitidas são as de fins científicos, culturais, educativos e recreativos. A coleta de frutos, sementes e outros produtos pode ser feita mediante autorização da administração do Parque e para fins científicos.</p> <p>Cada Parque Ecológico deve elaborar, por força de lei, seu Plano de Manejo, o qual definirá zonas categorizadas como: Intangível, Primitiva, de Uso Extensivo, de Uso Intensivo, Histórico-Cultural, de Recuperação e de Uso Especial. São vedadas obras de aterro, escavações, contenção de encostas e alteração do solo (correção, adubação ou recuperação), exceção feita quando tais atividades estiverem previstas no Plano de Manejo, e devendo estar localizada nas zonas de Uso Intensivo ou Uso Especial. A execução de obras, tais como teleféricos, ferrovias, rodovias, barragens, aquedutos, oleodutos, linhas de transmissão e correlatas, poderão ser executadas desde que comprovada a necessidade ou o interesse públicos, e que não comprometa a manutenção da área. Para isto é necessário autorização dos órgãos oficiais competentes, mediante Estudo de Impacto Ambiental. A exploração de recursos naturais da área é proibida pela Lei Federal nº 4.771/65 (Código Florestal). A área correspondente ao "Parque Ecológico Monsenhor Emílio José Salim" não possui ainda um Plano de Manejo e é também definida como "Área Natural Tombada Fazenda Mato Dentro".</p>

Fonte: modificado de IG-SMA (1999).

Tabela 30 (continuação). Características das Unidades de Conservação Ambiental identificadas na área de estudo.

UNIDADE DE CONSERVAÇÃO	CARACTERÍSTICAS E DEFINIÇÃO
<p>Área Natural Tombada Fazenda Mato Dentro</p>	<p>Localização: Município de Campinas.</p> <p>Área: 285 hectares.</p> <p>Legislação associada: Resolução Secretaria de Estado da Cultura nº 34 de 10/05/82</p> <p>Área sujeita a restrições de uso para que seja garantida a preservação de suas características.</p> <p>O tombamento de uma área não implica na sua expropriação, compatibilizando a presença de eventuais proprietários com a proteção do bem tombado, através da regulamentação de usos. O Decreto Estadual nº 13.426 de 16/03/79 determina que na faixa envoltória de 300 metros da Área Natural tombada, qualquer atividade que possa modificar o meio ambiente deverá ser submetida à aprovação prévia do Conselho de Defesa do Patrimônio Histórico, Arqueológico, Artístico e Turístico (CONDEPHAAT). A área correspondente a “Área Natural Tombada Fazenda Mato Dentro” é também definida como “Parque Ecológico Monsenhor Emílio José Salim”.</p>
<p>Área Natural Tombada Bosque dos Jequitibás</p>	<p>Localização: Município de Campinas.</p> <p>Área: 2,4 hectares.</p> <p>Legislação associada: Resolução Secretaria de Estado da Cultura, Esporte e Turismo de 09/04/70.</p> <p>Área sujeita a restrições de uso para que seja garantida a preservação de suas características.</p> <p>O tombamento de uma área não implica na sua expropriação, compatibilizando a presença de eventuais proprietários com a proteção do bem tombado, através da regulamentação de usos. O Decreto Estadual nº 13.426 de 16/03/79 determina que na faixa envoltória de 300 metros da Área Natural tombada, qualquer atividade que possa modificar o meio ambiente deverá ser submetida à aprovação prévia do Conselho de Defesa do Patrimônio Histórico, Arqueológico, Artístico e Turístico (CONDEPHAAT).</p>
<p>Área de Relevante Interesse Ecológico da Mata de Santa Genebra</p>	<p>Localização: Município de Campinas.</p> <p>Área: 251,77 hectares.</p> <p>Legislação associada: Decreto Federal nº 91.855 de 05/11/85.</p> <p>Área protegida com o objetivo de manter os ecossistemas naturais. Isto se dá através da regulamentação de uso, o que proíbe qualquer atividade que comprometa: a conservação dos ecossistemas, a proteção especial às espécies de biota localmente raras e a harmonia da paisagem. Algumas atividades definidas como não predatórias, como pastoreio equilibrado e coleta limitada de produtos naturais não lenhosos, podem ser desenvolvidas na área, desde que licenciados e controlados. A Resolução nº 13 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) determina que, na faixa de 10 km ao redor da área, qualquer atividade está subordinada às normas do CONAMA.</p> <p>A área correspondente à “Área de Relevante Interesse Ecológico da Mata de Sta. Genebra” é também definida como “Área Natural Tombada Santa Genebra”.</p>

Fonte: modificado de IG-SMA (1999).

Tabela 30 (continuação). Características das Unidades de Conservação Ambiental identificadas na área de estudo.

UNIDADE DE CONSERVAÇÃO	CARACTERÍSTICAS E DEFINIÇÃO
<p>Área Natural Tombada Fazenda Santa Genebra</p>	<p>Localização: Município de Campinas.</p> <p>Área: 251,77 hectares.</p> <p>Legislação associada: Resolução da Secretaria de Estado da Cultura nº 3 de 03/02/83.</p> <p>Área sujeita a restrições de uso para ser garantida a preservação de suas características.</p> <p>O tombamento de uma área não implica na sua expropriação, compatibilizando a presença de eventuais proprietários com a proteção do bem tombado, através da regulamentação de usos. O Decreto Estadual nº 13.426 de 16/03/79 determina que na faixa envoltória de 300 metros da Área Natural tombada, qualquer atividade que possa modificar o meio ambiente deverá ser submetida à aprovação prévia do Conselho de Defesa do Patrimônio Histórico, Arqueológico, Artístico e Turístico (CONDEPHAAT).</p> <p>A área correspondente a “Área Natural Tombada Fazenda Santa Genebra” é também definida como “Área de Relevante Interesse Ecológico da Mata Santa Genebra”.</p>
<p>Área de Relevante Interesse Ecológico Cosmópolis</p>	<p>Localização: Município de Cosmópolis.</p> <p>Área: 173,05 hectares.</p> <p>Legislação associada: Decreto nº 90.791 de 09/01/85.</p> <p>Área protegida com o objetivo de manter os ecossistemas naturais.</p> <p>Isto se dá através da regulamentação de uso, que proíbe qualquer atividade que comprometa: a conservação dos ecossistemas, a proteção especial às espécies de biota localmente raras e a harmonia da paisagem. Algumas atividades definidas como não predatórias, como pastoreio equilibrado e coleta limitada de produtos naturais não lenhosos, podem ser desenvolvidas na área, desde que licenciados e controlados. A Resolução nº 13 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) determina que, na faixa de 10 km ao redor da área, qualquer atividade está subordinada às normas do CONAMA.</p>
<p>Área de Proteção Ambiental Piracicaba-Juqueri-Mirim (área II)</p>	<p>Localização: Municípios de Campinas, Jaguariúna, Pedreira, Sto Antonio da Posse, Holambra.</p> <p>Área: 280.000 hectares (área I + área II = 387.000 hectares).</p> <p>Legislação associada: Decreto Estadual nº 26.882/87 (instituição) e Lei Estadual nº 7.438 de 14/07/91 (regulamentação).</p> <p>Área destinada a proteção e conservação da qualidade ambiental e dos sistemas naturais existentes, não implicando em desapropriação.</p> <p>Tem como objetivo promover a boa qualidade de vida da população local e à proteção dos ecossistemas regionais.</p> <p>As Áreas de Proteção Ambiental devem, por força de lei, ter um zoneamento ecológico-econômico que estabelecerá normas de uso e ocupação do solo específicas para cada zona. Não são permitidas atividades de terraplanagem, mineração, dragagem e escavação que venham a causar danos ao meio ambiente. Estas atividades, mais as atividades agrícolas, pecuárias, urbanísticas e industriais devem ser autorizadas e controladas pelos órgão competentes e pela entidade administradora da área. A Resolução nº 13 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) determina que, na faixa de 10 km ao redor da área, qualquer atividade está subordinada às normas do CONAMA. A “Área de Proteção Ambiental Piracicaba-Juqueri-Mirim” não possui ainda um zoneamento ecológico-econômico.</p>

Fonte: modificado de IG-SMA (1999).

Tabela 30 (continuação). Características das Unidades de Conservação Ambiental identificadas na área de estudo.

UNIDADE DE CONSERVAÇÃO	CARACTERÍSTICAS E DEFINIÇÃO
<p>Parque Estadual de Assessoria da Reforma Agrária</p>	<p>Localização: Município de Valinhos.</p> <p>Área: 64,30 hectares.</p> <p>Legislação associada: Decretos Estaduais nº 51.988 de 04/06/69 e nº 928 de 09/01/73.</p> <p>Área dotada de atributos naturais excepcionais e destinada à preservação permanente, sendo submetida à condição de inalienabilidade e indisponibilidade no seu todo.</p> <p>As atividades permitidas são as de fins científicos, culturais, educativos e recreativos. A coleta de frutos, sementes e outros produtos pode ser feita mediante autorização da administração do Parque e para fins científicos.</p> <p>Cada Parque Estadual deve, por força de lei, elaborar seu Plano de Manejo, o qual definirá zonas categorizadas como: Intangível, Primitiva, de Uso Extensivo, de Uso Intensivo, Histórico-Cultural, de Recuperação e de Uso Especial. São vedadas obras de aterro, escavações, contenção de encostas e alteração do solo (correção, adubação ou recuperação), exceção feita quando tais atividades estiverem previstas no Plano de Manejo, e devendo estar localizada nas zonas de Uso Intensivo ou Uso Especial. A execução de obras, tais como teleféricos, ferrovias, rodovias, barragens, aquedutos, oleodutos, linhas de transmissão e correlatas, poderão ser executadas desde que comprovada a necessidade ou o interesse públicos, e que não comprometa a manutenção da área. Para isto é necessário autorização dos órgãos oficiais competentes, mediante Estudo de Impacto Ambiental. A exploração de recursos naturais da área é proibida pela Lei Federal nº 4.771/65 (Código Florestal). A Resolução nº 13 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) determina que, na faixa de 10 km ao redor da área, qualquer atividade está subordinada às normas do CONAMA.</p> <p>O "Parque Estadual de Assessoria da Reforma Agrária" não possui ainda um Plano de Manejo.</p>

Fonte: modificado de IG-SMA (1999).

Figura 14. Feição da categoria *Áreas com usos urbano e industrial*, mostrando a alta densidade de edificações em estágio consolidado (município de Santo Antonio de Posse). *Fonte: acervo fotográfico do Instituto Geológico.*

Figura 15. Feição da categoria *Áreas com usos urbano e industrial*, mostrando alta densidade de edificações em estágio de consolidação (município de Campinas). *Fonte: acervo fotográfico do Instituto Geológico.*

Figura 16. Feição da categoria *Áreas com usos urbano e industrial*, mostrando a baixa densidade de edificações e grande arborização (município de Jaguariúna). *Fonte: acervo fotográfico do Instituto Geológico.*

Figura 17. Feição da categoria *Áreas com usos urbano e industrial*, mostrando, ao fundo, a alta densidade de edificações em estágio consolidado (município de Campinas). *Fonte: acervo fotográfico do Instituto Geológico.*

Figura 18. Feição da categoria *Áreas com usos urbano e industrial*, onde predominam grandes equipamentos de forma concentrada, mostrando em primeiro plano a REPLAN (município de Paulínia). *Fonte: acervo fotográfico do Instituto Geológico.*

Figura 19. Feição da categoria *Áreas de uso agro-industrial*, onde ocorrem galpões, armazéns, estufas, de forma esparsa (município de Holambra). *Fonte: acervo fotográfico do Instituto Geológico.*

Figura 20. Feição da categoria Áreas de Conservação Ambiental, mostrando ao fundo a Área de Relevante Interesse Ecológico Cosmópolis, também conhecida como Matão de Cosmópolis (município de Cosmópolis). *Fonte: acervo fotográfico do Instituto Geológico.*

Figura 21. Feição da categoria Área de uso rural, mostrando plantação de cana-de-açúcar (município de Paulínia). *Fonte: acervo fotográfico do Instituto Geológico.*

3.1.2. Geração do mapa temático

O arquivo resultante da digitalização dos limites das categorias de uso do solo (formato vetorial) foi importado pelo *software MapInfo versão 4.5*, gerando-se assim os arquivos com os elementos gráficos relativos ao tema uso e ocupação do solo, devidamente georeferenciados. Posteriormente, através das ferramentas de associação de tabelas (seleção por *SQL*¹¹), os elementos gráficos (ou seja, os polígonos com os limites das categorias de uso do solo) foram associados aos atributos alfa-numéricos (a tabela em Access correspondente ao “*banco de dados de características de uso e ocupação do solo*”).

Foram utilizadas ferramentas de manipulação de objetos para o refinamento do mapa, dentre elas: combinação de objetos, exclusão de partes de objetos em relação a um elemento de corte. Como resultado obteve-se a correta espacialização das categorias de uso e ocupação do solo, bem como a sua diferenciação por cores. Uma única cor identifica as Unidades de Conservação, cuja discriminação se dá na forma de toponímia. Exceção ocorre com a APA que, por ocorrer de forma sobreposta às categorias de uso e ocupação do solo, tem sua área identificada por hachura, o que permite visualizar as demais categorias ocorrentes no interior da mesma.

A apresentação dos resultados deu-se através da composição de janelas de *layout*, recurso existente no *software MapInfo versão 4,5*, que permite a “diagramação” dos elementos de importância na “saída” das informações (plotagem). O produto obtido, com qualidade cartográfica na escala 1:100.000, é mostrado no Anexo 1. A Figura 22 ilustra um trecho deste mapa, em escala menor (1:250.000), onde estão representadas todas as categorias de uso do solo consideradas.

¹¹ **SQL**: *Structured Query Language (Linguagem Estruturada de Consulta)*. Linguagem utilizada para a execução de consultas, atualização e gerenciamento de bancos de dados relacionais. Possibilita, dentre outras tarefas, a geração de mapas temáticos.

Figura 22. Trecho do Mapa de Aspectos de Uso e Ocupação do Solo.

3.2. Geração do Mapa de Unidades de Compartimentação Fisiográfica

3.2.1. Sistematização de dados

Já foram realizadas e descritas diversas etapas do processo de zoneamento geotécnico e de geração das informações sobre as características das Unidades de Compartimentação Fisiográfica. Existe, assim, uma considerável riqueza de dados sobre o meio físico, que assume enorme valia como base de dados e informações necessários às avaliações propostas. A análise de trabalhos científicos prévios, bem como de imagens de satélite da região, além dos trabalhos de campo já efetuados permitiram identificar grande diversidade de compartimentos fisiográficos. Estes já se encontram devidamente georeferenciados, tendo sido digitalizados em mesa digitalizadora com o uso do *software Microstation*.

Pode-se, neste momento fazer uma recapitulação do que já foi obtido:

- **Mapa Litológico.** Forneceu as características dos tipos litológicos presentes na área de estudo;

- **Mapa de Tipos de Relevo.** Forneceu as características dos tipos de relevo presentes na área de estudo, em especial os relativos a morfometria;

- **Banco de dados da análise das imagens de satélite quanto a aspectos fisiográficos do terreno.** Permitiu a obtenção indireta de alguns atributos, a partir da interpretação dos elementos e padrões da imagem, tal como exposto na proposta metodológica. Associando-se esta interpretação com os mapas anteriores e com os dados de campo foi possível realizar a extrapolação destes atributos a diversas Unidades de Compartimentação Fisiográfica;

- **Banco de dados de levantamentos de campo quanto a aspectos fisiográficos do terreno.** Permitiu a aquisição direta de diversos atributos, possibilitando a sua comparação com os dados obtidos da interpretação da imagem de satélite e a conseqüente extrapolação para as Unidades de Compartimentação Fisiográfica.

Foi possível, então, gerar o “*banco de dados de características e propriedades geotécnicas das UBCs*”, o qual contém todos os campos necessários à caracterização das Unidades de Compartimentação Fisiográfica. Ainda que muitas das características relacionadas não sejam utilizadas para a avaliação central do trabalho, ou seja, a geração do Mapa de Áreas Potenciais para Disposição de Resíduos Sólidos, pelo seu grande potencial para outros tipos de análise optou-se por não descartá-las.

Assim sendo, este banco de dados apresenta 45 campos, dos quais 9 são considerados fundamentais para a avaliação proposta (estes estão destacados em negrito na Tabela 31), tendo uma íntima relação com os demais. Por exemplo, o atributo TIPO DE SOLO consiste numa média ponderada entre atributos SOLO SUPERFICIAL-TEXTURA, SOLO RESIDUAL-TEXTURA e SAPROLITO-TEXTURA, cujo resultado pode contemplar 9 denominações (argiloso, arenoso, siltooso, argilo-arenoso, argilo-siltooso, areno-argiloso, areno-siltooso, silto-argiloso, silto-arenoso), as quais efetivamente serão utilizadas pelo Sistema Gerenciador de Informações para a realização das classificações finais. Com os atributos ESPESSURA DE SOLO e NÍVEL D'ÁGUA ocorre processo similar, o qual pode ser melhor avaliado nas Figuras 23 e 24.

Tabela 31. Lista de campos constantes no “banco de dados de características e propriedades geotécnicas das UBCs” (os atributos fundamentais estão realçados).

1) Unidades de Compartimentação Fisiográfica	16) MORFOMETRIA - DECLIVIDADE	31) Solo Residual - Cor
2) LITOTIPO	17) Dinâmica Superficial	32) Solo Residual - Estruturas
3) Litotipo - Cor/Tonalidade	18) Grau de dissecação	33) Solo Residual - Espessura
4) Litotipo - textura	19) TIPO DE SOLO	34) Solo Residual - Intercalações
5) Litotipo - Espessura dos níveis / camadas	20) ESPESSURA DE SOLO	35) Solo Residual - Consistência/ Compacidade
6) Litotipo - Mineralogia	21) Solo Superficial - Textura	36) Solo Residual - Contato Inferior
7) Litotipo - Estruturas	22) Solo Superficial - Variação Textural	37) Saprolito - Textura
8) Litotipo - Fraturas / juntas	23) Solo Superficial - Cor	38) Saprolito - Variação Textural
9) LITOTIPO - GRAU DE FRATURAMENTO	24) Solo Superficial - Estruturas	39) Saprolito - Cor
10) Litotipo - Grau de alteração	25) Solo Superficial - Espessura	40) Saprolito - Estruturas
11) Litotipo - Contatos	26) Solo Superficial - Intercalações	41) Saprolito - Espessura
12) Litotipo - Intercalações	27) Solo Superficial - Consistência/ Compacidade	42) Saprolito - Intercalações
13) Litotipo - Ângulo de foliação da rocha em relação ao plano da vertente	28) Solo Superficial - Contato Inferior	43) Saprolito - Consistência/ Compacidade
14) TIPO DE RELEVO	29) Solo Residual - Textura	44) Saprolito - Contato Inferior
15) Morfometria - Amplitude	30) Solo Residual - Variação Textural	45) NÍVEL D'ÁGUA

Figura 23. Exemplo de obtenção de atributo: ESPESSURA DE SOLO.

Figura 24. Exemplo de obtenção de atributo: NÍVEL D'ÁGUA.

3.2.2. Geração do mapa temático

Os procedimentos descritos permitiram a individualização de 107 Unidades de Compartimentação Fisiográfica, as quais passaram então pela etapa de denominação, tendo por base os níveis hierárquicos tratados anteriormente. Desta forma, as unidades foram identificadas segundo um código composto por três letras e um algarismo. As letras indicam as características do contexto fisiográfico dos três primeiros níveis hierárquicos onde cada unidade está inserida. Ou seja, a primeira letra indica o compartimento morfo-estrutural, a segunda letra associa o tipo litológico e a terceira letra refere-se ao tipo de relevo. O algarismo indica, por sua vez, as características específicas de cada unidade, em termos de associações locais de solos, estruturas geológicas, elementos de relevo, etc.

A Tabela 32 apresenta um exemplo com a caracterização simplificada de duas Unidades de Compartimentação Fisiográfica. As Tabelas 33 e 34 apresentam, por sua vez, uma síntese da compartimentação obtida, respectivamente, para o domínio de Embasamento Cristalino e para o domínio da Bacia Sedimentar. Algumas das unidades mapeadas estão ilustradas nas Figuras 25 a 33.

Tabela 32. Exemplo de caracterização das Unidades de Compartimentação Fisiográfica da área piloto.

Unidades de Compartimentação Fisiográfica	Contexto Hierárquico							
	1º nível - compartimento morfo-estrutural	2º nível - tipo litológico	3º nível - tipo de relevo	4º nível – características específicas				
				Perfil de solo	Espessura de solo (m)	Declividade	Grau de fraturamento da rocha*	Nível d'água (m)**
CNR ₁	Embasamento Cristalino (C)	Gnaisses bandados (N)	Morrotes (R)	areno siltoso (1)	0 a 2 m (1)	20 a 30% (1)	Muito fraturado (1)	-
BBP ₂	Bacia Sedimentar (B)	Ritmitos e argilitos (B)	Colinas Pequenas (P)	argilo-arenoso (2)	> 5 m (2)	0 a 10% (2)	-	30 m (2)

* atributo considerado somente para o Embasamento Cristalino

** atributo considerado apenas para aquíferos porosos existentes no domínio de Bacia Sedimentar

Tabela 33. Síntese das Unidades de Compartimentação Fisiográficas obtidas no domínio do Embasamento Cristalino para a área de estudo.

DOMÍNIO REGIONAL – EMBASAMENTO CRISTALINO (C)		
UNIDADES DE COMPARTIMENTAÇÃO FISIOGRAFICA	DOMÍNIO LITO-ESTRUTURAL	DOMÍNIO GEOMORFOLÓGICO
CLR 1 a 3	Gnaisses laminados (L)	Morros (R)
CLT 1 a 2		Morrotos (T)
CLC 1		Colinas e morrotos (C)
CKT 1	Xistos (K)	Morrotos (T)
COE 1	Biotita gnaisses equigranulares (O)	Escarpas (E)
COR 1 a 6		Morros (R)
COT 1 a 5		Morrotos (T)
COA 1		Colinas amplas (A)
COC 1 a 3		Colinas e morrotos (C)
CPR 1 a 2	Gnaisses porfiroblásticos ou bandados (P)	Morros (R)
CQH 1	Quartzitos (Q)	Montanhas (H)
CNC 1 a 4	Gnaisses bandados (N)	Colinas e morrotos (C)
CNR 1		Morros (R)
CNT 1 a 2		Morrotos (T)
CIA 1	Granitóides indiferenciados (I)	Colinas amplas (A)
CIT 1		Morrotos (T)
CIR 1 a 2		Morros (R)
CRC 1 a 2	Biotita – granitos porfíricos (R)	Colinas e morrotos (C)
CRR 1 A 6		Morros (R)
CRA 1		Colinas amplas (A)
CSE 1 a 3	Biotitas granitos e quartzo monzogranitos porfíricos (S)	Escarpas (E)
CSR 1 a 3		Morros (R)
CST 1 a 2		Morrotos (T)
CYE 1 a 2	biotita granitos maciços (Y)	Escarpas (E)
CYT 1 a 3		Morrotos (T)
CYC 1		Colinas amplas (A)
CXR 1	biotita granitos foliados (X)	Morros (R)
CXA 1		Colinas amplas (A)
CZE 1 a 2	Protomilonitos, milonitos e ultramilonitos (Z)	Escarpas (E)
CZR 1 a 2		Morros (M)

Tabela 34. Síntese das Unidades de Compartimentação Fisiográficas obtidas no domínio da Bacia Sedimentar do Paraná para a área de estudo.

DOMÍNIO REGIONAL - BACIA SEDIMENTAR DO PARANÁ (B)		
UNIDADES DE COMPARTIMENTAÇÃO FISIOGRAFICA	DOMÍNIO LITO-ESTRUTURAL	DOMÍNIO GEOMORFOLÓGICO
BAA 1 a 2	Arenitos médios a grossos do Subgrupo Itararé (A)	Colinas amplas (A)
BAP 1 a 2		Colinas pequenas (P)
BAC 1		Colinas e morrotes (C)
BBP 1 a 8	Ritmitos areno-silto argilosos, lamitos arenosos e arenitos lamíticos com grânulos do Subgrupo Itararé (B)	Colinas pequenas (P)
BBC 1		Colinas e morrotes (C)
BBM 1 a 4		Colinas médias (M)
BCP 1 a 4	Arenitos muito finos, silto-argilosos e laminados do Subgrupo Itararé (C)	Colinas pequenas (P)
BCA 1		Colinas amplas (A)
BCC 1 a 2		Colinas e morrotes (C)
BFA 1	Arenitos pelíticos, lamitos arenosos e arenitos finos de idade Cenozóica (F)	Colinas amplas (A)
BFM 1		Colinas médias (M)
BGA 1 a 4	Siltitos laminados ou areno-argilosos de idade Cenozóica (G)	Colinas amplas (A)
BGC 1 a 2		Colinas e morrotes (C)
BGF 1		Planícies fluviais (F)
BUF	Depósitos aluvionares (U)	Planícies fluviais (F)
BDA 1 a 3	Diabásio (D)	Colinas amplas (A)
BDR 1		Morros (R)

Figura 25. Vista geral da unidade **BGA1**, presente no domínio da Bacia Sedimentar do Paraná, onde ocorrem siltitos laminados, siltitos areno-argilosos de idade Cenozóica, associados a colinas amplas. Nesta unidade o perfil de materiais inconsolidados é do tipo areno-argiloso passando a areno-siltoso e argilo-arenoso em profundidade e as espessuras são superiores a 2 metros. *Fonte: acervo fotográfico do Instituto Geológico.*

Figura 26. Vista geral da unidade **BBP1**, presente no domínio da Bacia Sedimentar do Paraná, onde ocorrem ritmitos areno-silto argilosos, lamitos arenosos e arenitos lamíticos com grânulos, do Subgrupo Itararé, associados a colinas pequenas. O perfil de materiais inconsolidados tem solo residual arenoso e espessuras variando entre 5 e 10 metros. A morfometria apresenta como característica principal a alta densidade de drenagem. *Fonte: acervo fotográfico do Instituto Geológico.*

Figura 27. Vista geral da unidade **BCP2**, presente no domínio da Bacia Sedimentar do Paraná, onde ocorrem arenitos muito finos, silto-argilosos laminados do Subgrupo Itararé, associados a colinas pequenas. Nesta unidade o perfil de materiais inconsolidados é do tipo arenoso a areno-siltoso, com estrutura maciça e espessuras variando entre 5 e 10 metros. *Fonte: acervo fotográfico do Instituto Geológico.*

Figura 28. Vista geral da unidade **BFA1**, presente no domínio da Bacia Sedimentar do Paraná, onde ocorrem arenitos pelíticos, lamitos arenosos e arenitos finos mal selecionados de idade Cenozóica, associados a colinas amplas. O perfil de materiais inconsolidados é do tipo areno-argiloso, apresentando-se fofo a pouco compacto, com estrutura granular e espessura superior a 2 metros. *Fonte: acervo fotográfico do Instituto Geológico.*

Figura 29. Vista geral da unidade **BBP3**, presente no domínio da Bacia Sedimentar do Paraná, onde ocorrem ritmitos areno-silto argilosos, lamitos arenosos e arenitos lamíticos com grânulos, do Subgrupo Itararé, associados a colinas pequenas. O perfil de materiais inconsolidados apresenta solo superficial do tipo arenoso com espessura superior a 3,5 metros e solo residual do tipo argilo siltoso. Esta unidade ocupa principalmente cabeceiras de drenagem e anfiteatros. *Fonte: acervo fotográfico do Instituto Geológico.*

Figura 30. Detalhe da unidade **BBP3**, mostrando seu perfil de solo típico: solo superficial do tipo arenoso e solo residual do tipo argilo siltoso. *Fonte: acervo fotográfico do Instituto Geológico.*

Figura 31. Vista da unidade **BBM1**, presente no domínio da Bacia Sedimentar do Paraná, onde ocorrem ritmitos areno-silto argilosos, lamitos arenosos e arenitos lamíticos com grânulos do Subgrupo Itararé, associados a colinas médias. O perfil de material inconsolidado é do tipo argilo-arenoso, com estrutura em blocos e espessura variando entre 1 e 5 metros. *Fonte: acervo fotográfico do Instituto Geológico.*

Figura 32. Detalhe da unidade **BBM1**, mostrando seu perfil de solo típico. *Fonte: acervo fotográfico do Instituto Geológico.*

Figura 33. Vista da unidade **CKT1** no plano de frente, tendo ao fundo a unidade **CQH1**. Ambas ocorrem no domínio do Embasamento Cristalino. A unidade **CKT1** apresenta xistos associados a morrotes e perfil de materiais inconsolidados com solo superficial do tipo areno-argiloso, solo residual do tipo silto-argiloso a arenoso e solo saprolítico do tipo areno-siltoso, com espessuras variando entre 1 e 5 metros. A unidade **CQH1** apresenta, por sua vez, quartzitos associados a montanhas e perfil de materiais inconsolidados do tipo areno-argiloso, com espessuras variando entre 1 e 5 metros. *Fonte: acervo fotográfico do Instituto Geológico.*

A geração do Mapa de Unidades de Compartimentação Fisiográfica seguiu os mesmos procedimentos descritos para o mapa anterior, ou seja:

- **Geração de arquivos com os elementos gráficos, devidamente georeferenciados relativos ao tema unidades de compartimentação fisiográfica.** Procedimento dado pela importação pelo software MapInfo versão 4.5 do arquivo vetorial resultante da digitalização dos limites das Unidades de Compartimentação Fisiográfica;
- **Associação de atributos alfa-numéricos.** Através das ferramentas de associação de tabelas (seleção por SQL), os elementos gráficos (ou seja, os polígonos com os limites das unidades de compartimentação) foram associados à tabela em Access correspondente ao “banco de dados de características e propriedades geotécnicas das UBCs ”

Do mesmo modo que na geração do Mapa de Aspectos de Uso e Ocupação do Solo foram utilizadas ferramentas de manipulação de objetos para um refinamento do mapa, dentre elas: combinação de objetos, exclusão de partes de objetos relativos a determinado elemento de corte. Como resultado obteve-se a correta espacialização das unidades de compartimentação fisiográfica, cuja diferenciação é dada pelos rótulos associados aos polígonos. A apresentação dos resultados deu-se através da composição de janelas de layout, obtendo-se um produto com qualidade cartográfica em escala 1:100.000 (Anexo 2), tendo um trecho em escala 1:250.000 ilustrado na Figura 34.

Figura 34. Trecho do Mapa de Unidades de Compartimentação Fisiográfica.

3.3. Geração do Mapa de Áreas Potenciais para Disposição de Resíduos Sólidos

3.3.1. Geração do mapa temático

Este mapa é resultado da associação dos dois mapas descritos anteriormente (Mapa de Aspectos de Uso e Ocupação do Solo e Mapa de Unidades de Compartimentação Fisiográfica), através de ferramentas do *software MapInfo versão 4.5*. Para a sua elaboração procedeu-se à sobreposição dos *layers* correspondentes a eles e classificação dos polígonos resultantes, de acordo com a metodologia proposta. Antes de se proceder à classificação propriamente dita foi necessário organizar de forma lógica os inúmeros dados existentes, de modo a facilitar as operações internas ao sistema.

Num primeiro momento, os dados relativos às categorias de uso e ocupação do solo sofreram tratamento temático por SQL, resultando em três classes frente à avaliação de áreas para disposição de resíduos sólidos, diferenciadas por cores semafóricas: *eliminadas (vermelho)*, *pré-selecionadas com restrições (amarelo)*, *pré-selecionadas sem restrições (verde)*. A Tabela 35 mostra como estes dados foram sistematizados e como estão representados no mapa (cor + código). Deve-se ter em mente que esta ainda é uma classificação prévia, que poderá sofrer alterações nas categorias pré-selecionadas, a depender de sua classificação posterior frente às características das Unidades de Compartimentação Fisiográfica.

Posteriormente, os atributos alfa-numéricos vinculados aos polígonos relativos às unidades de compartimentação fisiográfica sofreram a aplicação das regras de classificação constantes na Tabela 35. De tal modo, de forma similar aos aspectos de uso e ocupação do solo, foram definidas três classes referentes à seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos: *eliminadas (vermelho)*, *pré-selecionadas com restrições (amarelo)*, *pré-selecionadas sem restrições (verde)*. A Tabela 36 mostra a forma de sistematização destes dados e de sua representação em mapa (cor + código).

Tabela 35. Classificação das categorias de uso e ocupação do solo frente à avaliação de áreas para disposição de resíduos sólidos.

CATEGORIA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO		CLASSIFICAÇÃO	CÓDIGO
<i>Áreas com usos urbano e industrial</i>		eliminada	Ua
<i>Áreas de uso agro-industrial</i>		pré-selecionada com restrições	Um
<i>Áreas de uso rural</i>		pré-selecionada sem restrições	Ub
<i>Unidades de Conservação Ambiental</i>	Estação Ecológica Valinhos	eliminada	Ua
	Parque Ecológico Monsenhor Emílio José Salim	eliminada	Ua
	Área Natural Tombada Fazenda Mato Dentro	eliminada	Ua
	Área Natural Tombada Bosque dos Jequitibás	pré-selecionada com restrições	Um
	ARIE da Mata de Santa Genebra	eliminada	Ua
	Área Natural Tombada Fazenda Santa Genebra	eliminada	Ua
	Área de Relevante Interesse Ecológico Cosmópolis	eliminada	Ua
	Parque Estadual de Assessoria da Reforma Agrária	eliminada	Ua
	A PA Piracicaba-Juqueri-Mirim (área II)	pré-selecionada com restrições	Um

Tabela 36. Classificação das unidades de compartimentação fisiográfica frente à avaliação de áreas para disposição de resíduos sólidos.

FRAGILIDADES DO MEIO FÍSICO		CLASSIFICAÇÃO	CÓDIGO	
VULNERABILIDADE NATURAL À CONTAMINAÇÃO DE AQUÍFEROS CLASSIFICADAS COMO:	Muito alta, Alta	eliminadas	Va	
	Média	pré-selecionadas com restrições	Vm	
	Baixa	pré-selecionadas sem restrições	Vb	
SUSCETIBILIDADE NATURAL A PROCESSOS GEODINÂMICOS CLASSIFICADAS COMO:	Erosão - Bacia Sedimentar	Alta	eliminadas	Sa
		Média	pré-selecionadas com restrições	Sm
		Baixa	Pré-Selecionadas Sem Restrições	Sb
	Erosão e escorregamentos - Embasamento Cristalino	Muito alta, Alta	eliminadas	Sa
		Média	pré-selecionadas com restrições	Sc
		Baixa	Pré-Selecionadas Sem Restrições	Sd
	Inundação -Planícies Aluvionares	Alta, Média, Baixa	eliminadas	Ia

Como forma de preservar a “memória técnica” de todo o trabalho, não foram realizados na elaboração deste mapa os procedimentos de refinamento, como combinação de objetos, por exemplo. Os limites entre as unidades de compartimentação fisiográfica foram mantidos e seus rótulos trocados pelos códigos apresentados nas Tabelas 35 e 36. Estes códigos constituem uma solução cartográfica para a rápida identificação das características da unidade, enquanto as cores, ditas semafóricas (vermelho, amarelo e verde), implicam numa rápida visualização da classificação final do mapa. Do mesmo modo que para os mapas anteriores, a apresentação impressa dos resultados deu-se através da composição de janelas de *layout*, obtendo-se um produto com qualidade cartográfica em escala 1:100.000 (Anexo 3). A Figura 35 ilustra um trecho deste mapa em escala 1:250.000.

3.3.2. Sistema Gerenciador de Informações voltado à seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos

Uma vez sistematizado e definido o modelo de inter-relações dos dados, os bancos de dados georeferenciados estão aptos a sofrer a devida manutenção, o que viria a enriquecer sobremaneira a base de dados. Diversos tipos de operações podem ser realizadas no ambiente computacional estruturado, com o auxílio do *software MapInfo*, de forma a se ter diferentes visualizações de consultas, análises e pesquisas específicas.

Com base nas informações apresentadas e disponíveis no Sistema Gerenciador de Informações, as Unidades de Compartimentação Fisiográfica com potencial para a disposição de resíduos sólidos podem ser selecionadas e priorizadas para estudos subseqüentes, visando a uma seleção final. Além disso, dadas as características dessas unidades com potencial para o uso considerado é possível se ter idéia da natureza das restrições. Conseqüentemente, é possível prever as possíveis relações custo-benefício da escolha final de uma área, considerando-se aspectos de uso e ocupação do solo, ambientais, geotécnicos e tecnológicos envolvidos.

Figura 35. Trecho do Mapa de Áreas Potenciais para Disposição de Resíduos Sólidos.

É importante ressaltar que a saída gráfica através de janelas de *layout* é uma das soluções existentes para a apresentação dos resultados, não sendo, nem de longe, a mais abrangente. É de fato uma “simplificação da realidade”, como costumam dizer os cartógrafos.

O Sistema como um todo é muito mais rico e isto é percebido quando se “*navega*” por ele. Assim, a cada mapa estão associados vários bancos de dados, seja de pontos de campo, sondagens, fotos, legislação, bem como informações relativas a cada unidade de mapeamento (unidades de compartimentação fisiográfica). Essas informações reúnem os atributos característicos das unidades, e podem ser visualizadas na forma de “*caixas*” ao se “*clicar*” aleatoriamente em áreas escolhidas pelo usuário. Nas “*caixas*” de informações que surgirem, há opções para seu detalhamento, através do acesso a descrições mais detalhadas, caso seja esta a necessidade do usuário. O acesso a informações de outras unidades pode ser retomado “*clicando-se*” sobre uma nova área desejada.

As Figuras 36 a 46 demonstram parte das possibilidades apresentadas pelo SGI, no que diz respeito às consultas referentes aos diferentes mapas.

Figura 36. Detalhe do Mapa de Aspectos de Uso e Ocupação do Solo da área-piloto da tese. Na porção superior da figura visualiza-se a “barra de ferramentas” do *software MapInfo*, utilizado para a aplicação do Sistema Gerenciador de Informações. O botão indicado pela seta é utilizado para destacar as informações associadas a cada elemento do mapa, conforme será visto nas figuras seguintes.

Figura 37. Detalhe do Mapa de Aspectos de Uso e Ocupação do Solo da área-piloto da tese, mostrando alguns tipos de consulta ao Sistema Gerenciador de Informações. A categoria “áreas com uso urbano e industrial” estão associadas informações, as quais indicam as características da categoria, que podem ser consultadas com maior ou menor detalhe, a depender do interesse do usuário do Sistema.

Figura 38. Detalhe do Mapa de Aspectos de Uso e Ocupação do Solo da área-piloto da tese, mostrando alguns tipos de consulta ao Sistema Gerenciador de Informações. A categoria “Unidade de Conservação Ambiental” estão associadas informações, as quais indicam as características da categoria, que podem ser consultadas com maior detalhe ou não, a depender do interesse do usuário do Sistema.

Figura 39. Detalhe do Mapa de Aspectos de Uso e Ocupação do Solo da área-piloto da tese, mostrando alguns tipos de consulta ao Sistema Gerenciador de Informações. O Ponto 12 indica a existência de registro fotográfico efetuado nos levantamentos de campo para mostrar a características do uso rural no local. Este exemplo indica mais uma das possibilidades de consulta presentes no Sistema.

Figura 40. Detalhe do Mapa de Unidades de Compartimentação Fisiográfica da área-piloto da tese. Na porção superior da figura visualiza-se a “barra de ferramentas” do *software MapInfo*, utilizado para a aplicação do Sistema Gerenciador de Informações. O botão indicado pela seta é utilizado para destacar as informações associadas a cada elemento do mapa, conforme será visto nas figuras seguintes. As regiões coloridas com cor vermelha constituem áreas eliminadas para a disposição de resíduos sólidos, devido às características de uso e ocupação do solo.

Figura 41. Detalhe do Mapa de Unidades de Compartimentação Fisiográfica da área-piloto da tese, mostrando alguns tipos de consulta ao Sistema Gerenciador de Informações. À UBC destacada pelo círculo (BAA1) estão associadas informações, as quais indicam as características da unidade, que podem ser consultadas com maior ou menor detalhe, a depender do interesse do usuário do Sistema.

Figura 42. Detalhe do Mapa de Unidades de Compartimentação Fisiográfica da área-piloto da tese, mostrando alguns tipos de consulta ao Sistema Gerenciador de Informações. O ponto destacado pelo círculo indica o registro fotográfico efetuado nos levantamentos de campo para mostrar a características da UBCs presentes no entorno do local. Este exemplo indica mais uma das possibilidades de consulta presentes no Sistema.

Figura 43. Detalhe do Mapa de Áreas Potenciais para Disposição de Resíduos Sólidos da área-piloto da tese. Na porção superior da figura visualiza-se a “barra de ferramentas” do *software MapInfo*, utilizado para a aplicação do Sistema Gerenciador de Informações. O botão indicado pela seta é utilizado para destacar as informações associadas a cada elemento do mapa, conforme será visto nas figuras seguintes. As regiões coloridas com cor vermelho escuro constituem áreas eliminadas para a disposição de resíduos sólidos, devido às características de uso e ocupação do solo, enquanto as demais indicam as “áreas eliminadas” (vermelho claro), “áreas selecionadas com restrições” (amarelo) e “áreas selecionadas sem restrições” (verde).

Figura 44. Detalhe do Mapa de Áreas Potenciais para Disposição de Resíduos Sólidos da área-piloto da tese, mostrando alguns tipos de consulta ao Sistema Gerenciador de Informações. A unidade destacada (BDA2) são associados uma cor (amarelo) e um código (U7VmSb). A cor indica a classificação “semafórica” (ou seja, “área selecionada com restrições”). O código representa as classificações do uso do solo e das fragilidades do terreno que levaram à classificação “semafórica”. As características da UBC que levaram às referidas classificações podem ser consultadas com maior ou menor detalhe, a depender do interesse do usuário do Sistema.

Figura 45. Detalhe do Mapa de Áreas Potenciais para Disposição de Resíduos Sólidos da área-piloto da tese, mostrando alguns tipos de consulta ao Sistema Gerenciador de Informações. À unidade destacada (BBP4) são associados uma cor (vermelho) e um código (UbVmSa). A cor indica a classificação “semafórica” (ou seja, “área eliminada”). O código representa as classificações do uso do solo e das fragilidades do terreno que levaram à classificação “semafórica”. As características da UBC que levaram às referidas classificações podem ser consultadas com maior ou menor detalhe, a depender do interesse do usuário do Sistema.

Figura 46. Detalhe do Mapa de Áreas Potenciais para Disposição de Resíduos Sólidos da área-piloto da tese, mostrando alguns tipos de consulta ao Sistema Gerenciador de Informações. À unidade destacada (BDA1) são associados uma cor (verde) e um código (UbVbSb). A cor indica a classificação “semafórica” (ou seja, “selecionada sem restrições”). O código representa as classificações do uso do solo e das fragilidades do terreno que levaram à classificação “semafórica”. As características da UBC que levaram às referidas classificações podem ser consultadas com maior ou menor detalhe, a depender do interesse do usuário do Sistema.

PARTE V – CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

1. GENERALIDADES

O tema resíduos sólidos vem sendo objeto de discussão há algumas décadas, o que é reflexo de uma preocupação universal. O gerenciamento de resíduos sólidos vem passando por um processo de reformulação com vistas à diminuição sistemática da produção dos resíduos na fonte, minimizando o consumo de energia, o desperdício de matéria prima e, conseqüentemente, causando menos impacto ambiental. Tanto assim, que na Agenda 21, importante documento produzido na Rio'92 - Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento -, o tema permeia diversos capítulos, dada sua interação e importância quando se trata de saúde, saneamento, educação, cidadania, legislação, desenvolvimento sustentável. Ao mesmo tempo, inúmeros profissionais vêm tratando da questão dos resíduos sólidos, discutindo os inúmeros aspectos que perpassam o tema, sob os pontos de vista técnico, legal, institucional, financeiro, etc. Daí a extensa bibliografia que trata do tema e que o mantém em evidência.

Um aspecto particular deste tema diz respeito à escolha de locais para a disposição de resíduos sólidos, um longo e complexo processo que envolve numerosas considerações sociais, econômicas, políticas e ambientais. Embora muitas vezes seja dada pouca importância a esta particularidade no processo de gestão de resíduos sólidos, uma adequada seleção de áreas para a disposição de resíduos sólidos pode constituir uma base segura para o correto gerenciamento do setor de resíduos, evitando a ocorrência de inúmeros problemas futuros.

Desta forma, foi apresentada nesta tese uma metodologia para a seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos, desenvolvida com vistas à prevenção da

degradação ambiental dada pela disposição inadequada de resíduos em locais com suscetibilidades diversas, tendo em conta as características do meio físico. Dentre as suscetibilidades mais marcantes associadas a este tipo de uso do solo estão a vulnerabilidade natural à contaminação de aquíferos e a suscetibilidade a processos geodinâmicos. Com o conhecimento de parâmetros específicos do terreno que tenham uma implicação direta nessas suscetibilidades pode-se ter maior segurança de que os projetos de instalações para disposição de resíduos sólidos sejam implantados, tanto sob o ponto de vista do projeto técnico, quanto no que diz respeito às suas interveniências ambientais e de saúde pública.

A aplicação desta metodologia em diferentes áreas geográficas fica otimizada através do Sistema Gerenciador de Informações (SGI), estruturado de forma a permitir o gerenciamento dos atributos diretamente relacionados à seleção de áreas para disposição de resíduos. Este Sistema computacional, executado em plataforma PC e ambiente MS Windows 95/98, pode ser aplicado inclusive à definição e implementação de ações voltadas não apenas à operacionalização do setor de resíduos sólidos, mas também à proteção dos recursos naturais e, quiçá, ao planejamento de uso territorial.

2. APRECIÇÃO SOBRE A ESTRUTURA METODOLÓGICA

IG-SMA (1999) define que o processo de seleção de áreas potenciais para disposição de resíduos sólidos deve se desenvolver em três níveis de aproximação principais: avaliação regional; avaliação semi-regional; avaliação local. A cada nível de observação está associada uma escala de observação, análise e representação, bem como fatores intervenientes, atributos e classificações.

Nesta tese, a estrutura metodológica foi articulada considerando-se uma abordagem relativa ao primeiro nível de aproximação apresentado, ou seja, a avaliação regional e seleção preliminar de áreas potenciais para disposição de resíduos sólidos. Este nível de aproximação é delimitado pela escala 1:100.000.

Assim, para a seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos numa

escala de abordagem regional, a proteção ao meio ambiente e à saúde pública, bem como as possíveis inter-relações entre o empreendimento de disposição de resíduos e o meio ambiente, estão condicionados à análise dos aspectos de uso e ocupação do solo e dos aspectos fisiográficos do terreno. Estes aspectos são representados através de alguns atributos, cuja avaliação integrada permite definir áreas com diferentes potenciais e com diferentes tipos de restrições à disposição de resíduos sólidos.

A diferenciação entre elementos de análise e critérios eliminatórios e classificatórios para o uso pretendido foi de grande importância para a otimização de tempo e recursos. A metodologia mostra que é possível estabelecer uma seqüência de levantamentos, a partir da hierarquização dos elementos classificatórios, o que permite direcionar ainda mais os levantamentos.

Um ponto considerado de suma importância na metodologia foi a inserção de procedimentos de obtenção indireta dos atributos, principalmente através de análise de imagens de satélite e inferências baseadas em empirismo e na literatura técnica. Estas inferências encontram sustentação tanto no conhecimento técnico-científico alcançado por estudos científicos sobre o tema, quanto na experiência obtida pela autora da tese na realização de projetos de pesquisa e artigos científicos (BROLLO *ET AL.* 1998A, 1998B, 1999 e 2000; IG-SMA 1995A, 1995B e 1999; SOUZA 2000; VEDOVELLO *ET AL.* 1998 e 1999; etc.).

Quanto aos aspectos de uso e ocupação do solo foi importante destacar atributos de uso do solo que apresentassem representatividade ou relação de contexto na escala 1:100.000. Assim, nesta escala de observação e análise é possível, por exemplo, assegurar a espacialização de áreas com ocupação rural, mas não é o caso de se verificar questões fundiárias. Estas devem ser levadas em conta posteriormente, quando áreas-alvo já estiverem definidas e quando o processo de licenciamento ambiental já estiver em andamento (nível de abordagem local, em escala superior a 1:10.000), o que não foi objeto de estudo nesta tese.

Os princípios da representatividade e da relação de contexto também foram utilizados para a definição dos atributos relativos aos aspectos fisiográficos do terreno. A abordagem utilizada para a compartimentação fisiográfica da área, através da interpretação textural de imagens de satélite, mostrou-se adequada por permitir a análise integrada de diversos elementos fisiográficos (geologia,

geomorfologia e materiais inconsolidados). Esta abordagem possibilita a redução de tempo dos levantamentos e elimina a necessidade de elaboração de mapas específicos (geológico, geomorfológico, pedológico, por exemplo) para posterior cruzamento de informações, sistemática tipicamente paramétrica. A determinação, identificação e caracterização de Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs) permitem identificar potencialidades e fragilidades do meio físico que condicionam ou interferem na seleção e hierarquização de áreas para disposição de resíduos sólidos. Desta forma, as UBCs constituem importantes unidades cartográficas que permitem representar as áreas selecionadas e a natureza de possíveis limitações associadas aos demais aspectos considerados.

No que diz respeito aos critérios específicos analisados (aspectos de uso e ocupação do solo, suscetibilidade a processos geodinâmicos, vulnerabilidade natural dos aquíferos à contaminação), foram determinadas classes de análise que determinam a eliminação de áreas para a disposição de resíduos, ou que implicam em restrições diferenciadas para essa finalidade, o que possibilita a hierarquização das áreas para estudos posteriores.

O Sistema Gerenciador de Informações (SGI) voltado à seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos permite que se proceda a esta classificação e hierarquização com certo grau de automatização. O Sistema também permite a preservação das informações sobre o tipo de elemento e as características presentes que possam oferecer algum tipo de limitação ao empreendimento ou à técnica construtiva, possibilitando o planejamento e a gerência adequados da definição e implantação do empreendimento. Assim, é possível definir ou selecionar locais tanto devido às potencialidades ou fragilidades do terreno, como devido à necessidade de recursos (financeiros, humanos, tecnológicos) para a implantação da obra e para estudos complementares, considerando-se, ainda, fatores como regularidade fundiária e distâncias entre agentes geradores de resíduos e áreas de disposição final.

Além disso, consiste em suporte a decisões técnicas o fato de as unidades selecionadas para a disposição de resíduos apresentarem uma codificação onde estão embutidas todas as informações e características nas UBCs. Assim, podem ser selecionadas ou priorizadas para estudos subseqüentes, visando a uma seleção final. Adicionalmente, dadas as características dessas UBCs com potencial

para o uso considerado, é possível se ter idéia da natureza das restrições. Conseqüentemente, pode-se prever as relações custo-benefício da escolha de uma determinada área, considerando-se aspectos sócio-políticos, ambientais e tecnológicos envolvidos.

O SGI apresentado na metodologia proposta é composto por três mapas temáticos que apresentam todas as informações necessárias para a análise pretendida: Mapa de Aspectos de Uso e Ocupação do Solo; Mapa de Unidades de Compartimentação Fisiográfica; Mapa de Áreas Potenciais à Disposição de Resíduos. Estes mapas devem estar apoiados em uma cartografia sistematizada e a eles estão associados bancos de dados, seja de pontos de campo, sondagens, fotos, legislação, bem como informações relativas a cada unidade de mapeamento (UBC). Assim, todos os dados e informações obtidos durante o processo de seleção de áreas ficam “armazenados” e sistematizados em bancos de dados georeferenciados e associados às unidades de mapeamento estabelecidas, propiciando uma grande gama de análises, consultas e visualizações. O sistema permite, também, consultas gerais aos produtos cartográficos, consultas dirigidas e associação de mapas e dados, a partir das funções disponíveis no *software MapInfo Professional*. Constitui-se assim num produto da cartografia geotécnica em formato útil e versátil aos usuários, o qual pode ainda ser exportado para outros softwares de SIG (como *Geomedia*, *ArcInfo*, etc.), versatilidade fundamental para a consolidação do produto.

No caso da utilização de produtos do TM-Landsat, a seleção do produto a ser utilizado deve levar em consideração as características das imagens e as particularidades das áreas de estudo. Devem ser observadas as características espectrais, espaciais e temporais das imagens de satélite, mais adequadas aos objetivos do estudo. Também devem ser analisadas as características específicas sobre as imagens, tais como ângulo de elevação solar, cobertura de nuvens, azimuth etc., que possam favorecer ou dificultar a interpretação das cenas. A seleção do melhor produto para a análise deve estar condicionada, portanto, às características fisiográficas da área e aos elementos de análise e critérios que serão utilizados pelo intérprete. Além disso, para auxiliar no processo de foto-interpretção, podem ser adotadas técnicas de tratamento das imagens, como realces, por exemplo.

3. CONCLUSÕES

Considera-se que os objetivos desta tese foram plenamente alcançados, o que foi demonstrado com a aplicação da metodologia proposta à área-piloto, otimizada pelo uso do Sistema Gerenciador de Informações. É importante destacar nesse contexto a importância da utilização de ações preventivas na avaliação de degradação ambiental, tais como se caracterizam as ações de planejamento territorial e a associada seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos. Trata-se de uma questão essencialmente ética, que requer reflexões sobre que meio ambiente restará às populações futuras. É importante que os poderes públicos apliquem um adequado planejamento e investimento em pesquisas e tecnologias, de modo a produzir resultados adequados à boa qualidade de vida e à saúde pública. Assim mostra-se a importância em se tratar e dispor adequadamente os resíduos sólidos oriundos das atividades humanas e industriais.

Obviamente, a busca e perpetuação de soluções para a questão ambiental (e mesmo, especificamente, no caso da gestão de resíduos sólidos), passam pela criação e implementação de políticas públicas e de governo, que serão mais eficazes, quanto maior for o grau de comprometimento dos atores envolvidos. Neste sentido, vê-se que a educação ambiental sempre terá um papel importantíssimo na mudança de hábitos e valores das atuais sociedades, nas quais predomina ainda a idéia do consumo imediato, do descartável e do inútil, em detrimento da saúde ambiental e de sua própria sobrevivência.

No Brasil é patente a existência inúmeras legislações e políticas já implantadas que tratam de alguma forma os problemas ambientais decorrentes dos resíduos sólidos. Apesar disso, é marcante a ausência de políticas públicas nacionais específicas, voltadas para o setor de resíduos. São conhecidas muitas experiências positivas, grande parte delas pontuais, sem uma integração entre planos, programas e ações, voltados a uma política maior de gestão ordenada dos resíduos e concatenada com outras políticas (de saúde, de saneamento, de recursos hídricos, de educação, de planejamento estratégico, etc.). Há uma enorme interrogação sobre as razões de não haverem sido ainda instituídas as Políticas Nacional e Estadual de Resíduos Sólidos. Através destas políticas haveria finalmente uma diretriz comum para a implantação de modelos de gestão, sejam

eles nacional, estaduais ou municipais. Ao mesmo tempo, os instrumentos econômicos e financeiros adotados têm-se mostrado ineficientes, pois faltam recursos até mesmo para a resolução de problemas pontuais, quanto mais para programas preventivos, inclusive aqueles que dizem respeito a estudos voltados à prevenção, ao diagnóstico e à solução da degradação ambiental relativa a disposição de resíduos em áreas inadequadas.

A aplicação desta metodologia em dezoito municípios da Região de Campinas traz importantes subsídios para a gestão ambientalmente sustentável dos resíduos sólidos da região. Além disso, pode subsidiar processos de decisão para a implantação de parques industriais, para a elaboração de Planos de Manejo de Unidades de Conservação, etc.

Observa-se na área-piloto escolhida para a aplicação da metodologia que, apesar de muitas áreas haverem sido eliminadas segundo os critérios definidos anteriormente, restam cerca de 40% da área estudada com potencialidade para disposição de resíduos. Estas áreas apresentam ampla distribuição, ocorrendo inclusive nas proximidades de grandes núcleos urbano-industriais, onde é grande a produção de resíduos e, conseqüentemente, é grande a demanda por locais para a instalação de empreendimentos para tratamento e disposição final de resíduos. Estas áreas com o potencial previsto devem passar por nova avaliação, agora numa escala de abordagem maior, de cunho semi-regional (1:25.000), quando novos atributos e critérios devem ser definidos, implicando num refinamento dos fatores intervenientes tratados no presente trabalho.

Uma avaliação da metodologia por meio da aplicação dada em dezoito municípios da Região de Campinas permite tecer considerações específicas sobre alguns aspectos que podem ser mais bem investigados e aplicados em novos estudos. Desta forma, poderá haver uma investigação continuada, cujos resultados estarão sendo revertidos para planos, programas e projetos de pesquisa futuros, sendo considerados efetivamente para as áreas de aplicação, ou mesmo para políticas públicas e normas e legislações concernentes.

Isto posto, entende-se como necessário o desenvolvimento e aprimoramento de técnicas e métodos de análise de imagens de satélite para a definição de: características geotécnicas, como tipo textural, espessura de solo, grau de saturação, colapsibilidade, entre outras; profundidade do nível d'água;

densidade e intersecção de lineamentos estruturais, visando a correlações com o grau de fraturamento das rochas. Também parece ser importante o desenvolvimento de pesquisas específicas que levem em consideração a análise de neotectônica e de aspectos estruturais que venham a subsidiar os estudos de vulnerabilidade à contaminação do solo e das águas, bem como de suscetibilidade ao desenvolvimento de processos geodinâmicos, em especial em terrenos do Embasamento Cristalino.

Outro aspecto, que não foi considerado nesta tese, diz respeito a estudos climáticos que possam ter interferência no processo de decisão da escolha de áreas para disposição de resíduos. Também seria interessante o desenvolvimento de pesquisas futuras que investigassem os aspectos de micro-clima inerentes à região de um empreendimento de disposição de resíduos e como pode estar modificando o entorno e afetando as populações vizinhas.

Quanto ao desenvolvimento do Sistema Gerenciador de Informações, sugere-se que projetos futuros busquem enriquecer o conteúdo e as formas de consulta oferecidas pelo produto considerado. Além disso, a experimentação e incorporação de outros *softwares* aos já utilizados (*MS Access* e *MapInfo*) devem com certeza resultar em melhoria do sistema como um todo, principalmente se for considerado o contínuo avanço tecnológico em curso neste setor das ciências.

Observa-se, finalmente, que a continuidade dos estudos com a linha de pesquisa apresentada permitirá a sistematização do método e sua utilização em estudos voltados à seleção de áreas para disposição de resíduos, levando em conta as peculiaridades em diferentes escalas de abordagem, bem como em diferentes regiões geográficas. Desta forma, considera-se importante o desenvolvimento de outras etapas de investigação, onde se faça uma aproximação na escala de abordagem, visando as especificidades da mesma, no que diz respeito às características e propriedades do terreno importantes nas avaliações, tendo como premissas a otimização de custos, tempo e a preservação da saúde ambiental.

A metodologia apresentada nesta tese, embora leve em conta o final da cadeia de produção de resíduos, ou seja, a disposição final, incorpora aspectos relativos à saúde, quando aborda a questão da prevenção à contaminação ambiental por meio dos estudos relativos à vulnerabilidade à contaminação de

aqüíferos. Acredita-se que o cuidado na integração das ciências deve estar em primeiro plano quando se trata de meio ambiente e de saúde. Só assim é possível a obtenção de resultados válidos, consistentes e aplicáveis não apenas a processos tecnológicos, como a políticas públicas, oferecendo importante suporte a decisões.

PARTE VI - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACURIO G, ROSSIN A, TEIXEIRA PF, ZEPEDA F. ***Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe.*** [publicação on-line] 1998. Lima, Peru. Organización Panamericana de la Salud/ Organización Mundial de la Salud. Serie Ambiental nº 18. Disponível em <<http://www.cepis.org.pe>>

AGUIAR RL. ***Zoneamento geotécnico geral do Distrito Federal: procedimentos metodológicos e sua inserção na gestão ambiental.*** São Carlos (SP); 1997. [Tese de Doutorado - Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos da USP].

AMARAL G. Princípios de sensoriamento remoto. In: ***Anais do 1º Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento***; 1990; São Paulo (SP). São Paulo: Poli-USP; 1990. p. 27-36.

ANDRADE AC. ***Sistemas de avaliação de prioridades para recuperação de áreas contaminadas por resíduos perigosos.*** São Paulo (SP); 1996. [Dissertação de Mestrado - Departamento de Saúde Ambiental da Faculdade de Saúde Pública da USP].

[ABNT] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ***NBR 10.004. Resíduos Sólidos – Classificação.*** Rio de Janeiro (RJ); 1987. Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ANDRADE FS. Uso de sistemas de informação geográfica na identificação de áreas potenciais para a instalação de aterros sanitários no Distrito Federal. In: ***Anais do GISBRASIL 2000***; 2000; Salvador (BA). Salvador: Fatorgis; 2000. CD-ROM.

BARBOSA MC, ALMEIDA MSS, ERLICH M. Migração de íons inorgânicos em uma argila organo-salina da Baía de Guanabara, R.J. In: ***Anais do 3º Simpósio sobre Barragens de Rejeitos e Disposição de Resíduos***; 1995 agosto; Ouro Preto (MG). Ouro Preto: ABMS/ABGE; 1995. v 2, p. 379-393.

- BARCIOTTE, ML. ***Coleta seletiva e minimização de resíduos sólidos urbanos: uma abordagem integradora***. São Paulo (SP); 1994. [Tese de Doutorado - Departamento de Saúde Ambiental da Faculdade de Saúde Pública da USP].
- BARISON MR. ***Mapeamento geotécnico regional da quadrícula de Amparo – SP, escala 1:50.000: com base na análise dos “landforms” e de perfis típicos de alteração***. São Carlos (SP); 1995. [Dissertação de Mestrado - Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos da USP].
- BASEI MAS, CAMPOS NETO MCC, BERGMANN M, FIGUEIREDO MCH. ***Geologia da Folha Amparo. 1:50.000***. São Paulo (SP): Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia; 1986.109p.
- BERG RC & WEHRMANN HA. ***Geological and hydrological factors for siting hazardous or low-level radioactive waste disposal facilities***. Illinois State Geological Survey (USA), Dep. of Energy and Natural Resources. [Circular 546, 61p.]; 1989.
- BITAR OY. ***Instrumentos de gerenciamento ambiental***. São Paulo (SP); 1996A [Apostila do curso “O meio físico em instrumentos de gerenciamento ambiental sob a ótica da ISO 14.000”, Instituto de Pesquisas Tecnológicas]. p. 13-16.
- BITAR OY. ***Os estudos de processos do meio físico***. São Paulo (SP); 1996B [Apostila do curso “O meio físico em instrumentos de gerenciamento ambiental sob a ótica da ISO 14.000”, Instituto de Pesquisas Tecnológicas]. p. 25-26.
- BITAR OY & BRAGA TO. O meio físico na recuperação de áreas degradadas. In: BITAR OY. [coord.] ***Curso de Geologia aplicada ao meio ambiente***. São Paulo (SP): ABGE/IPT; 1995. p.165-179.
- BITAR OY & ORTEGA RD. Gestão Ambiental. In: OLIVEIRA MAS, BRITO SNA [COORD]. ***Geologia de Engenharia***. São Paulo (SP): ABGE; 1998. Cap. 32, p. 499-508.
- BITAR OY, AUGUSTO FILHO O, IWASA OY, CUNHA MA, FORNASARI Fº N. Indicadores geológico-geotécnicos na recuperação ambiental de áreas degradadas em regiões urbanas. In: ***Anais do 7º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia***, 1993 set 12-16; Poços de Caldas (MG). Poços de Caldas: ABGE; 1993. v 2, p.177-183. .

- BONHAM-CARTER GF. ***Geographic Information Systems for Geoscientist: modelling with GIS***. 1thed., Ontario (Canada): Pergamon/Elsevier, 1994. 398p.
- BORMA LS, EHRLICH M, BARBOSA MC, CASTRO FJCO. Estudo da mobilidade de metais pesados em solos argilosos. In: ***Anais do 8º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia***, 1996; Rio de Janeiro (RJ). São Paulo: ABGE; 1996. v 2, p.611-622.
- BOSCOV MEG, OLIVEIRA E, GHILARD MP, SILVA MMP. Difusão de metais através de uma argila laterítica compactada. In: ***Anais do 4º Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental, REGEO'99***, 1999 dez 1-4; São José dos Campos (SP). São José dos Campos: ITA/ABMS; 1999. p.323-330.
- BRITO ER. Balneabilidade. Praias próprias ou impróprias... Acredita-se ou não? ***Bio - Revista Brasileira de Saneamento e meio Ambiente***. 1999; Ano X, nº 10.
- BRITO MS, MENEZES PML. A simbologia dos programas dedicados ao mapeamento temático. In: ***Anais do 5º GISBRASIL'99 Congresso e Feira para Usuários de Geoprocessamento da América Latina***; 1999; Curitiba (PR). Curitiba: FATORGIS; 1999. CD-ROM.
- BROLLO MJ, VEDOVELLO R, HOLL MC. O estudo de áreas degradadas em cartografia geotécnica voltada ao planejamento territorial. In: ***Anais do 3º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica***; 1998 out 7-9; Florianópolis (SC). Florianópolis: ABGE; 1998a. CD-ROM.
- BROLLO MJ, VEDOVELLO R, ODA GH. Avaliação da vulnerabilidade natural de aquíferos à contaminação através de um Sistema Gerenciador de Informações Geoambientais. Um instrumento de gestão ambiental. In: ***Anais do 27º Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental***, 2000 dez 3-8; Porto Alegre (RS). Porto Alegre: ABES; 2000. CD-ROM.
- BROLLO MJ, VEDOVELLO R, SILVA PCF, HOLL MC, GUTJHAR MR, IRITANI MA, HASSUDA S. Seleção preliminar de áreas para disposição de resíduos na Região Metropolitana de Campinas, SP. In: ***Anais do 3º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica***, 1998 out 7-9; Florianópolis (SC). Florianópolis: ABGE; 1998b. CD-ROM.

- BROLLO MJ, SILVA PCF, MAFFRA CQT, ODA GH, IRITANI MA, HOLL MC, GUTJHAR MR, VEDOVELLO R, HASSUDA S. Seleção de áreas para tratamento e disposição final de resíduos industriais e domésticos na Região Metropolitana de Campinas. In: **Boletim de Resumos da 2ª Reunião sobre Pesquisa Ambiental na Secretaria do Meio Ambiente**, 1999 ago; São Paulo (SP). São Paulo: CINP; 1999. p.199-204.
- BUENO LS, LAPOLLI EM, FRANZONI AMB, BASTOS LC. O uso do geoprocessamento na determinação de áreas urbanas com fatores de risco. In: **Anais do GISBRASIL'2000**, 2000; Salvador (BA). Salvador: Fatorgis; 2000. CD-ROM.
- BURROUGH PA. **Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment**. Oxford: Clarendon Press; 1987. 193p.
- CARVALHO ACMG, CAMPOS TMP, VARGAS JR EA. Difusão de solutos orgânicos e inorgânicos em meios não saturados: aspectos técnicos e experimentais. In: **Anais do 4º Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental REGEO'99**, 1999 dez 1-4; São José dos Campos (SP). São José dos Campos: ITA/ABMS; 1999. p.339-351.
- CERCEAU R, STRAUSS E, CARVALHO MS. Sistema de Informação Geográfico aplicado ao planejamento de ações de saúde In: **Anais do 5º GISBRASIL'99 Congresso e Feira para Usuários de Geoprocessamento da América Latina**; 1999; Curitiba (PR). Curitiba: Fatorgis; 1999. CD-ROM.
- CETEC. **Situação dos Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí - UGRHI 5**. Lins, SP. Relatório técnico final. Centro Tecnológico da Fundação Paulista de Tecnologia e Educação / Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. 1999.
- CETESB. **Avaliação hidrogeológica de locais de disposição de resíduos industriais**. São Paulo, SP. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, Relatório Técnico [Projeto PROCOP nº 312.800]. 1993.
- CETESB. **Consolidação do inventário de fontes (incluindo municipais) e de locais de tratamento e disposição final de resíduos sólidos**. São Paulo, SP. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, Relatório Técnico, 1997.

CETESB. ***Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares. Relatório Síntese.*** Resolução SMA 13, de 27 de fevereiro de 1998. São Paulo (SP): Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, Diretoria de Controle de Poluição Ambiental [DOESP, vol. 108, nº 44, 06.03.98]; 1998.

CETESB. ***Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares. Relatório Síntese.*** São Paulo (SP): Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, Diretoria de Controle de Poluição Ambiental [DOESP, vol. 109, nº 73, 20.04.99]; 1999A.

CETESB. ***Manual de gerenciamento de áreas contaminadas.*** São Paulo, SP. Relatório Técnico. 1999. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental / Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), Projeto de Cooperação Técnica Brasil-Alemanha. 1999B.

CLEARY RW. Águas subterrâneas. In: RAMOS F, OCCHIPINTI AG, VILLA NOVA NA, REICHARDT K, MAGALHÃES PC, CLEARY RW. ***Engenharia Hidrológica.*** Rio de Janeiro (RJ): ABRH; Ed. da UFRJ; 1989. Coleção ABRH de Recursos Hídricos, Vol 2, p 293-404.

COSTA SMF, CINTRA JP. Atualização cartográfica de mapas com imagens de satélite visando o reconhecimento de áreas urbanas. In: ***Anais da 2º Conferência Latino-Americana sobre Sistemas de Informação Geográfica 4º Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento***, 1993 jul 7-9; São Paulo (SP). São Paulo: EPUSP/SIBSIG; 1993. p.271-283.

CONSUMERS INTERNATIONAL. ***Consumo sustentável.*** São Paulo (SP): Consumers International - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento - Secretaria do Meio Ambiente - Instituto de Defesa do Consumidor; 1998.

DAVIS C & CÂMARA G. Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica. In: CÂMARA G, DAVIS C, MONTEIRO AMV, PAIVA JÁ, D'ALGE JCL [ED./ORG.]. ***Geoprocessamento: Teoria e Aplicações.*** [publicação on-line] 2000. São José dos Campos, SP. Instituto de Pesquisas Espaciais. Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/>>, em 14/09/2000.

DEMAJOROVIC J. A evolução dos modelos de gestão de resíduos sólidos e seus instrumentos. ***Cadernos FUNDAP***; 1996; 20:47-58.

- DINIZ NC, CINTRA JP, ALMEIDA MCJ, SALLES ER, COSTA MO. Mapeamento geoambiental em base de dados georeferenciados como suporte de análise de riscos e avaliação ambiental regionais. In: **Anais do 4º Congresso Brasileiro de Geotecnologia Ambiental REGEO'99**, 1999 dez 1-4; São José dos Campos (SP). São José dos Campos: ITA/ABMS; 1999. p.49-62.
- DONAIRE D. **Gestão ambiental na empresa**. São Paulo, SP. Ed. Atlas, 1995.
- DURAN DE LA FUENTE H. [compilador] **Gestión ambientalmente adecuada de residuos sólidos. Un enfoque de política integral**. Santiago de Chile: CEPAL/ GTZ; 1997.
- EMPLASA. **Cenário Regional. Região de Campinas - Área de Metropolização. Aspectos Físico-Ambientais e Sociais**. São Paulo (SP): Empresa Metropolitana de Planejamento S/A; 1993.
- ESCALANTE MIRM. Estudios de seleccion de regiones y areas para confinar residuos, aplicando Sistemas de Informacion Geografica, caso practico en México. In: **Anais del XXVI Congresso Interamericano de Ingenieria Sanitaria y Ambiental**; 01 a 05.11.1998; Lima - Peru. Lima: ABES/ALHSUD. 1998. CD-ROM.
- FARIAS IC [COORD]. **Guía para la elaboración de estudios del medio físico: contenido y metodologia**. 2ª ed. Min. Obras Publ. y Urb. Centro de Estudios de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente. Madrid, Espanha (Serie Manuales, 3): 1994.
- FATORGIS. Definições técnicas. **Fator GIS** [periódico on-line] 1998. [2p.]. Disponível em <http://fatorgis.com.br/geoproc/define_tecn.htm>
- FERNANDES AJ. **Tectônica Cenozóica na Porção Média da Bacia do Rio Piracicaba e sua aplicação à hidrogeologia**. São Paulo (SP); 1997. [Tese de Doutorado - Instituto de Geociências da USP].
- FERNANDES AJ, HIRATA RCA, EZAKI S. **The influence of late brittle tectonics on the natural vulnerability mapping in fractured media**. 2000. (Em preparação).
- FERRANTE JET. **Mapeamento geotécnico regional da bacia do alto Jacaré-**

- Guaçu – SP, com base nas aplicações de técnicas de sensoriamento remoto e sistema geográfico de informação. Proposta metodológica.** São Carlos (SP); 1990. [Dissertação de Mestrado – Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos da USP].
- FIGUEIREDO PJM. **A sociedade do lixo: os resíduos, a questão energética e a crise ambiental.** 2ª ed.; Piracicaba (SP): Editora UNIMEP; 1995.
- FORATINI OP. **Ecologia, epidemiologia e sociedade.** São Paulo (SP): Artes Médicas – EDUSP; 1992.
- FORNASARI Fº N & BRAGA TO. **Auditoria e contribuições do meio físico ao sistema de gerenciamento ambiental.** São Paulo (SP); 1996 [Apostila do curso “O meio físico em instrumentos de gerenciamento ambiental sob a ótica da ISO 14.000”, Instituto de Pesquisas Tecnológicas]. p. 25-26.
- FOSTER SSD & HIRATA RCA. **Groundwater Polution Risk Evaluation: The Metodology using Available Data.** Lima: CEPIS/PAHO/WHO, 1988.
- FOSTER SSD & HIRATA RCA. **Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas. Una metodologia basada en datos existentes.** CEPIS/OPAS, Lima, Peru. 2ª ed. 1991.
- FREITAS MA. Determinação do potencial hidrogeológico de rochas cristalinas através de técnicas de geoprocessamento In: **Anais do I Congresso Mundial Integrado de Águas Subterrâneas;** 31.07 a 04.08.2000; Fortaleza (CE). Fortaleza: ABAS/ALHSUD. 2000. CD-ROM.
- GIAIMO S. El ordenamiento territorial como instrumento de la gestión ambiental. In: DURAN DE LA FUENTE H [comp]. **Gestión ambientalmente adecuada de residuos sólidos. Un enfoque de poliíica integral.** Santiago de Chile. Capítulo V. CEPAL/GTZ, 1997.
- GOMES IA. **Access 7.0 para Windows 95. Criando e usando Bancos de Dados Relacionais.** In: Apostila de curso. CETESB. São Paulo, SP. 1997.
- GONÇALVES LL & CAMPANA NA. Quantificação multitemporal da concentração de clorofila nos lagos do Distrito Federal a partir de sensoriamento remoto. In: **Anais do 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental,**

- 10 a 14.maio.1999; Rio de Janeiro (RJ). Rio de Janeiro: ABES. 1999. CD-ROM.
- GRANT K. ***The PUCE Programme for terrain evaluation for engineering purposes: I - Principles; II - Procedures for terrain classification.*** Melbourne, Austrália: CSIRO - Division of Applied Geomechanics, Technical Papers, nº 15, 32p.; nº19. 1975.
- GRECCHI RC & PEJON OJ. Estudos geoambientais da região de Piracicaba (SP), focalizando o problema de erosão linear, com auxílio do Sistema de Informação Geográfica IDRISI. In: ***Anais do VI Simpósio Nacional de Controle de Erosão***; 1998, Presidente Prudente (SP). Presidente Prudente: ABGE;1998. CD-ROM.
- GUERRA SMS & ZUQUETTE LV. Técnicas de geoprocessamento aplicadas à pesquisa hidrogeológica da área de Suape-PE, nordeste do Brasil. In: ***Anais do I Congresso Mundial Integrado de Águas Subterrâneas***; 31.07 a 04.08.2000; Fortaleza (CE). Fortaleza: ABAS/ALHSUD. 2000. CD-ROM.
- GUIDICINI G & NIEBLE CM. ***Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação.*** São Paulo: 2ª ed. Edgard Blucher; 1984.
- GÜNTHER WMR. Área contaminada por disposição inadequada de resíduos industriais de galvanoplastia. In: ***Anais do 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental***, 10 a 14.maio.1999; Rio de Janeiro (RJ). Rio de Janeiro: ABES. 1999A. CD-ROM.
- GÜNTHER WMR. Saúde ambiental comprometida pelos resíduos sólidos. In: ***Anais do RESID'99 - Seminário sobre Resíduos Sólidos***; 30.set.1999; São Paulo, SP. São Paulo : ABGE. 1999B. p. 83-89.
- GUSMÃO AD. Projeto de barreiras reativas. In: ***Anais do REGEO'99 - 4º Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental***; 01 a 04.12.1999; São José dos Campos, SP. São José dos Campos: Instituto Tecnológico de Aeronáutica/ABMS. 1999. p. 486-500.
- HASSUDA S. ***Modelo de Gestão de Áreas Contaminadas Elaborado para a Região Metropolitana de São Paulo.*** São Paulo (SP); 1997. [Tese de Doutorado - Instituto de Geociências da USP].

HEITZMANN JR JF. ***Alterações na composição do solo nas proximidades de depósitos de resíduos domésticos na Bacia do Rio Piracicaba, São Paulo, Brasil.*** São Paulo: ABGE, 1999. (Série Síntese de Tese, nº 9).

HIRATA RCA. O comportamento geoquímico dos principais poluentes. In: Apostila do curso de formação e especialização ***“Poluição em águas subterrâneas”***. DAEE. Ribeirão Preto, SP. 1992.

HIRATA RCA. ***Fundamentos e estratégias de proteção e controle da qualidade das águas subterrâneas. Estudo de casos no Estado de São Paulo.*** São Paulo (SP); 1994. [Tese de Doutorado - Instituto de Geociências da USP].

HOLL MC. A análise da ação antrópica na elaboração de cartas geotécnicas. In: ***Anais do III Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, III***; 07 a 09.out.1998, Florianópolis (SC). Florianópolis: ABGE; 1998. CD-ROM.

[IG-SMA] INSTITUTO GEOLÓGICO – SMA/SP. ***Subsídios do Meio Físico-Geológico ao Planejamento do Município de Campinas (SP). Relatório Técnico.*** São Paulo (SP): Instituto Geológico; 1993. 3 vol.

[IG-SMA] INSTITUTO GEOLÓGICO – SMA/SP. ***Subsídios para o planejamento regional e urbano do meio físico na porção média da Bacia do Rio Piracicaba, SP. Relatório Técnico.*** São Paulo (SP): Instituto Geológico; 1995a. 4 vol.

[IG-SMA] INSTITUTO GEOLÓGICO – SMA/SP. ***Seleção de Áreas para Implantação de Aterro Sanitário no Município de Sumaré. Relatório Técnico.*** São Paulo (SP): Instituto Geológico; 1995b.

[IG-SMA] INSTITUTO GEOLÓGICO – SMA/SP. ***Carta de risco a movimentos de massa e inundações do município de São Sebastião – SP. Relatório Técnico.*** São Paulo (SP): Instituto Geológico - Prefeitura Municipal de São Sebastião; 1996. 2 vol.

[IG-SMA] INSTITUTO GEOLÓGICO – SMA/SP. ***Metodologia para Seleção de Áreas para Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos. Relatório Técnico.*** São Paulo (SP): Instituto Geológico; 1999. 98p.

[IG-SMA; CETESB; DAEE] INSTITUTO GEOLÓGICO – SMA/SP; COMPANHIA DE

- TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL; DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. **Mapeamento da vulnerabilidade e risco de poluição das águas subterrâneas no Estado de São Paulo**. São Paulo (SP): Instituto Geológico - CETESB - DAEE - Secretaria de Estado do Meio Ambiente [Série Documentos]; 1997. 2 vol.
- [IPT] INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Mapa geomorfológico de Estado de São Paulo**. São Paulo (SP): Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT); 1981. 2 vol.
- IRITANI MA. **Modelação matemática tridimensional para a proteção das captações de água subterrânea**. São Paulo (SP); 1998. [Tese de Doutorado – Instituto de Geociências da USP].
- JAAKKO PÖYRY. **Diagnóstico de Resíduos Sólidos Industriais nas Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. Sumário Executivo**. São Paulo (SP): Jaakko Pöyry Engenharia Ltda. – CETESB - Consórcio Intermunicipal das Bacias dos Rios Piracicaba e Capivari - Agência de Meio Ambiente da França; 1996.
- JACQUES PD, DURINGER P, CASTRO EMO, SHINZATO E, CEDDIA MB, CARVALHO CN. Utilização de técnicas de sensoriamento remoto na confecção dos mapas de uso e cobertura do solo do Estado do Rio de Janeiro - escala 1:250.000 - primeira fase. In: **Anais do GISBRASIL'99 - V Congresso e Feira para Usuários de Geoprocessamento da América Latina**; 1999; Curitiba (PR). Curitiba: Fatorgis; 1999. CD-ROM.
- JARDIM DE SÁ EF. Fraturamento no embasamento cristalino do nordeste do Brasil: cronologia da deformação frágil, reativação neotectônica e implicações hidrogeológicas. In: **Anais do I Congresso Mundial Integrado de Águas Subterrâneas**; 31.07 a 04.08.2000; Fortaleza (CE). Fortaleza: ABAS/ALHSUD. 2000. CD-ROM.
- JARDIM NS & WELLS C [COORD]. **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. São Paulo, SP. Instituto de Pesquisas Tecnológicas: CEMPRE, Publicação IPT 2163. 1995.
- JOSÉ C. Metodologias geofísicas para mapeamento e monitoramento de áreas de

- rejeitos urbanos e industriais. In: MAIA NB & MARTOS HL [COORD]. **Indicadores ambientais**. Sorocaba (SP); 1997. p. 223-232.
- KLAMT E. Cartografia de solo e a contaminação do sub-solo. In: **Anais do III Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica**; 07 a 09.out.1998, Florianópolis (SC). Florianópolis: ABGE; 1998. CD-ROM.
- KLEIN MA, LAHM RA, NAIME R. Mapeamento geológico-estrutural na região de Unistalda/RS com a utilização de técnicas de sensoriamento remoto. In: **Anais do GISBRASIL'99 – V Congresso e Feira para Usuários de Geoprocessamento da América Latina**; 1999;Curitiba (PR). Curitiba: Fatorgis; 1999. CD-ROM.
- KOVALICK W. Reclaiming of degraded areas. In: **1º Seminário Internacional de Gestão de Tecnologias de Tratamento de Resíduos, Document nº 2**; 1991; São Paulo (SP): Min. Rel. Exteriores/SEMA/Min. Ação Social/Pref. Mun. São Paulo/PNUD/SMA. 1991.
- LANGER M. Engineering Geology and Waste Disposal: Scientific report and recommendations of the IAEG Commission N° 14. Paris. **IAEG, Bulletin N°51**, 1995. p 5-30
- LEITE CES. Definição de áreas potenciais do ponto de vista hidrogeológico em região de cristalino através de imagens do LANDSAT-5 E SIG. In: **Anais do X Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**; 9 a 11.setembro.1998; São Paulo (SP). São Paulo: ABAS. 1998. CD-ROM.
- LEITE AL & PARAGUASSU AB. A difusão do K⁺ em solos tropicais compactados: uma nova modelagem. In: **Anais do 9º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia**; 07 a 10.nov.1999; Águas de São Pedro (SP). Águas de São Pedro: ABGE – UNESP – USP; 1999.CD-ROM.
- LIMA MIC. Introdução à interpretação radargeológica. Rio de Janeiro, RJ. IBGE (**Manuais Técnicos em Geociências, 3**), 1995.
- LIMA ET & LEITE LG **Consórcio intermunicipal para o tratamento de resíduos sólidos**. São Paulo, SP. CEPAM – Fundação Prefeito Faria Lima (Série Manuais, 3). 1993.

- LOLLO JA. **O uso da técnica de avaliação do terreno no processo de elaboração do mapeamento geotécnico: sistematização e aplicação na Quadrícula de Campinas.** São Carlos (SP); 1996. [Tese de Doutorado - Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos da USP].
- LOMBARDO MA & MACHADO RPP. Aplicação das técnicas de sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas nos estudos urbanos. São Paulo, SP. **Revista do Departamento de Geografia/ Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas/ USP.** 1996. 10:5-11.
- MABBUT JA. review of concepts of land classification. In: STEWART, G.A. [ED.] **Land Evaluation.** Melbourne, Austrália, 1968. Macmillan. P. 11-28.
- MACIEL Fº CL. Metodologias da cartografia geotécnica. In: **Anais do III Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica;** 07 a 09.out.1998, Florianópolis (SC). Florianópolis: ABGE; 1998. CD-ROM.
- MACHADO PHB & BATTAGLIN CP. Geoprocessamento em Saúde. In: **Anais do GISBRASIL'99 - V Congresso e Feira para Usuários de Geoprocessamento da América Latina;** 1999; Curitiba (PR). Curitiba: FATORGIS; 1999. CD-ROM.
- MACHADO AV & PRATA Fº DA. Gestão de resíduos sólidos urbanos em Niterói. Rio de Janeiro, RJ. In: **Anais do 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental;** 1999. ABES/AIDIS. 1999. CD-ROM.
- MORAES JAP & MARRA AJL. Resíduos Industriais e seu Impacto Ambiental - Uma Avaliação Hidrogeológica. Ouro Preto, MG. In: **Anais do III Simpósio sobre Barragens de Rejeitos e Disposição de Resíduos;** 1995. v. 2, p. 425-439.
- OGATA MG. **Os resíduos sólidos na organização do espaço e na qualidade do ambiente urbano: uma contribuição geográfica ao estudo do problema na cidade de São Paulo.** Rio de Janeiro (RJ): IBGE [Série Recursos Naturais e Meio Ambiente, nº 8]; 1983.
- OHNUMA CS, SILVA FLM, MAGRO SO. Riscos Geológicos no Brasil. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 38º, Balneário Camboriú (SC), 1994. **Apostila de curso.** São Paulo, IG-SMA, 1994.

- OKIDA R. ***Técnicas de sensoriamento remoto como subsídio ao zoneamento de áreas sujeitas a movimentos gravitacionais de massa e a inundações.*** São José dos Campos (SP); 1996. [Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais].
- OLIVEIRA FA. Elaboração e avaliação de produtos cartográficos aplicados ao planejamento de área de expansão urbana. In: ***Anais do GISBRASIL'99 – V Congresso e Feira para Usuários de Geoprocessamento da América Latina***; 1999; Curitiba (PR). Curitiba: FATORGIS; 1999. CD-ROM.
- ORTH MHA. Planos Diretores de Resíduos Sólidos no Estado de São Paulo. São Paulo, SP. In: ***Anais do RESID'99 - Seminário sobre Resíduos Sólidos***; ABGE, 1999. p. 27-33.
- PANTAZIS DN. Implementing GIS in Organization: Tem User Friendly Short Lessons. ***FATORGIS***, 1998 [periódico on line].
- PETROBRÁS. ***Geologia de Semidetalhe do Centro-leste de São Paulo. Relatório Técnico.*** Rio de Janeiro (RJ): PETROBRÁS; 1971.
- PHILIPPI JR A. ***Sistema de resíduos sólidos: coleta e transporte no meio urbano.*** São Paulo (SP); 1979. [Dissertação de Mestrado – Departamento de Saúde Ambiental da Faculdade de Saúde Pública da USP].
- PHILIPPI JR A. Agenda 21 e resíduos sólidos. São Paulo, SP. In: ***Anais do RESID'99 - Seminário sobre Resíduos Sólidos***; ABGE, 1999. p. 15-25.
- PIRES NETO AG. ***As abordagens sintético-histórica e analítico-dinâmica: uma proposição metodológica para a geomorfologia.*** São Paulo (SP); 1991. [Tese de Doutorado – Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da USP].
- PIRES NETO AG. Planejamento territorial. A abordagem geológico-geotécnica e o conceito de terreno ou a abordagem da paisagem. São Paulo, SP. ***Revista do Departamento de Geografia/ Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas/ USP***; 1994. (7) 8:51-62.
- PIRES NETO AG. ***Estudo morfotectônico das bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari, Jundiaí e áreas adjacentes no Planalto Atlântico e***

- Depressão Periférica.** Relatório de projeto de Pós-Doutoramento, Instituto de Geociências e Ciências Exatas – UNESP, Rio Claro, SP. 1996. 76 p.
- POJASEK RB. **Toxic and hazardous waste disposal.** Michigan, Ann Arbor Science Publishers. 1982.
- POMPÉIA SL. Áreas degradadas por poluição. Procedimentos técnicos para a recuperação. **Revista Saneamento Ambiental** 1996; 37: 14-18.
- RIEDEL OS, RODRIGUES JE, MATTOS JT, MAGALHÃES FS. A influência das estruturas geológicas em instabilidades de taludes em saprolitos – uma abordagem regional. São Paulo, SP. In: **Solos e Rochas, 18 (3):139-147.** 1995.
- RITER E, EHRLICH M, BARBOSA MC. A difusão molecular no transporte de contaminantes através dos solos. Ouro Preto, MG. In: **Anais do III Simpósio sobre Barragens de Rejeitos e Disposição de Resíduos.** v. 2, 1995. p. 409-424.
- RITER E, EHRLICH M, BARBOSA MC. Difusão e sorção de soluções múltiplas e monossoluções em solos argilosos salinos e não salinos. In: **Anais do REGEO'99 - 4º Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental;** 01 a 04.12.1999; São José dos Campos, SP. São José dos Campos: ITA/ABMS. 1999. p.331-338.
- ROSS JLS. Análises e sínteses na abordagem geográfica da pesquisa para o planejamento ambiental. **Revista do Departamento de Geografia da FFLCH-USP;** 1995; 9: 65-75.
- ROSS JLS & MOROZ IC. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. Escala 1: 500.000.** São Paulo, SP. Depto. de Geografia – FFLCH – USP / IPT / FAPESP. 2 vol. 1997.
- SALAZAR JR O. O uso dos Sistemas de Informações Geográficas na cartografia geotécnica. In: **Anais do III Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica;** 07 a 09.out.1998, Florianópolis (SC). Florianópolis: ABGE; 1998. CD-ROM.
- SANEAMENTO AMBIENTAL. Poluição industrial. São Paulo tem mais de 2 mil áreas potencialmente contaminadas. **Revista Saneamento Ambiental;** 1996; 37: 12-13.

SANTOS MCSR. **Manual de fundamentos cartográficos e diretrizes gerais para elaboração de mapas geológicos, geomorfológicos e geotécnicos**. São Paulo, SP. Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1989. (Publicação IPT nº 1773).

[SMA] SÃO PAULO (ESTADO). SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE. **Agenda 21. Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento**. São Paulo, SP. Secretaria de Estado do Meio Ambiente (Documentos Ambientais). 1992.

[SMA] SÃO PAULO (ESTADO). SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE. **Do Rio às Ruas: a inserção da agenda 21 no cotidiano paulista**. São Paulo, SP. Secretaria de Estado de Meio Ambiente; 1997.

[SMA] SÃO PAULO (ESTADO). SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE. **A cidade e o lixo**. São Paulo (SP): Secretaria de Estado de Meio Ambiente - CETESB; 1998A.

[SMA] SÃO PAULO (ESTADO). SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE. **Proposta de Política Estadual de Resíduos Sólidos**. São Paulo (SP): Secretaria de Estado de Meio Ambiente [Série Documentos Ambientais]; 1998B.

[SMA] SÃO PAULO (ESTADO). SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE. **Atlas das unidades de conservação do Estado de São Paulo, parte II: interior**. São Paulo (SP): Metalivros; 1998C.

[SMA] SÃO PAULO (ESTADO). SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE. **Perfil ambiental do Estado de São Paulo**. São Paulo (SP): 1999. CD-ROM.

SILVA WS & FORNASARI Fº N. **Unidades de Conservação Ambiental e Áreas Correlatas no Estado de São Paulo**. São Paulo, SP. Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1992.

SILVA JR AF, LINGNA C, ANTUNES AF. Combinação de imagens Radarsat e Landsat-5 tm para fins de mapeamento geo-ambiental. In: **Anais do GISBRASIL'99 - V Congresso e Feira para Usuários de Geoprocessamento da América Latina**; 1999;Curitiba (PR). Curitiba: FATORGIS; 1999. CD-ROM.

SILVA NETO AF & BARBOSA MP. O sensoriamento remoto orbital aplicado ao estudo

- dos recursos hídricos subterrâneos, em municípios do Cariri ocidental (PB) e sertão do Pajeú (PE) – BR. In: **Anais do I Congresso Mundial Integrado de Águas Subterrâneas**; 31.07 a 04.08.2000; Fortaleza (CE). Fortaleza: ABAS/ALHSUD. 2000. CD-ROM.
- SOARES PC & FIORI AP. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. **Notícia Geomorfológica**; 1976; 6(32): 71-104.
- SOUZA CRG. **Sistema Integrador de informações geoambientais para o litoral do Estado de São Paulo, aplicado ao gerenciamento costeiro – SIIGAL: Fase I. Relatório Científico**. São Paulo (SP): Instituto Geológico – CETESB – CPLA – USP – UNESP [FAPESP – 1998/14277-2]; 2000. 41p.
- SOUZA NCDC. **Mapeamento geotécnico regional da Folha de Aguaí: com base na compartimentação por formas de relevo e perfis típicos de alteração**. São Carlos (SP); 1992. [Dissertação de Mestrado - Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos da USP]. 2 vol.
- SOUZA NM. Uso de lógica difusa em cartografia geotécnica. In: **Anais do III Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica**; 07 a 09.out.1998, Florianópolis (SC). Florianópolis: ABGE; 1998. CD-ROM.
- SOUZA Fº EE. **Mapeamento Faciológico do Subgrupo Itararé na Quadrícula Campinas (SP)**. São Paulo (SP); 1986. [Dissertação de Mestrado – Instituto de Geociências da USP].
- THEODOROVICZ A. (COORD). **Projeto Curitiba. Cartas de fotoleitura - subsídios à caracterização do meio físico para fins de planejamento territorial: Folha Curitiba - 1:100.000**. Curitiba, PR. CPRM, 1994.
- TRESSOLDI M. A influência de alguns parâmetros hidrogeológicos no desenvolvimento de plumas de contaminação. Ouro Preto, MG. In: **Anais do III Simpósio sobre Barragens de Rejeitos e Disposição de Resíduos**, v. 2, 1995. p. 353-364.
- UNESP. **Mapa Geológico da Quadrícula de Jundiaí, em 1:50.000**. Rio Claro (SP): Convênio Pró-Minério - Universidade Estadual Paulista; 1986.
- [USEPA] U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **A review of methods for**

- assessing aquifer sensitivity and ground water vulnerability to pesticide contamination***. USEPA, Office of Water, 813-R-93-002. 1993.
- VALÉRIO Fº M. Técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicadas ao planejamento regional. In: ***Anais do VI Simpósio Nacional de Controle de Erosão***; 1998. Presidente Prudente (SP). Presidente Prudente: ABGE; 1998. CD-ROM.
- VALENTE ALS, STRIEDER AJ, QUADROS TFP. Considerações sobre procedimentos para a integração de dados por meio de sistemas de informações geográficas (SIG) visando a análise de meio físico e estudos geotécnicos. In: ***Anais do III Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica***; 07 a 09.out.1998, Florianópolis (SC). Florianópolis: ABGE; 1998. CD-ROM.
- VEDOVELLO R. ***Zoneamento geotécnico, por sensoriamento remoto, para estudos de planejamento do meio físico: aplicação em expansão urbana***. São José dos Campos (SP); 1993. [Dissertação de Mestrado - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais].
- VEDOVELLO R. ***Zoneamentos geotécnicos aplicados à gestão ambiental a partir de unidades básicas de compartimentação – UBCs***. Rio Claro (SP); 2000. [Tese de Doutorado – Instituto de Geociências e Ciências Exatas da UNESP]. 154p.
- VEDOVELLO R & MATTOS JT. A Utilização de Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs) como base para a Definição de Unidades Geotécnicas. Uma Abordagem a partir de Sensoriamento Remoto. In: ***Anais do III Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica***; 07 a 09.out.1998, Florianópolis (SC). Florianópolis: ABGE; 1998. CD-ROM.
- VEDOVELLO R, BROLLO MJ, SILVA PCF. Avaliação da erosão como fator condicionante na seleção de áreas para disposição de resíduos. Uma abordagem a partir de compartimentação fisiográfica obtida em imagem de satélite. In: ***Anais do VI Simpósio Nacional de Controle de Erosão***; Presidente Prudente (SP). Presidente Prudente: ABGE – FINEP; 1998. CD-ROM.
- VEDOVELLO R, BROLLO MJ, HOLL MC, MAFFRA CQT. Sistemas Gerenciadores de

- Informações Geoambientais como um produto da cartografia geotécnica. Exemplo voltado à disposição de resíduos. In: **Anais do 9º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia**; 07 a 10.nov.1999; Águas de São Pedro (SP). Águas de São Pedro: ABGE – UNESP – USP; 1999.CD-ROM.
- VENEZIANI P & ANJOS CE. **Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em geologia**. São José dos Campos, SP. INPE, 1982. (INPE – 2227 – MD041)
- VLACH SRF. **Geologia, petrografia e geocronologia das regiões meridional e oriental do Complexo de Morungaba, SP**. São Paulo (SP); 1985. [Dissertação de Mestrado –Instituto de Geociências da USP].
- VRBA J & ZAPOROZEC A (ED.) **Guidebook on mapping groundwater vulnerability**. Internacional Association of Hidrogeologists, Hannover. International Contributions to Hydrogeology, vol. 16. 1994.
- WERNICK E. **A Geologia da Região de Amparo (Leste do Estado de São Paulo)**. Rio Claro (SP); 1967. [Tese de Doutorado – UNESP].
- WOOD EF, FERRARA RA, GRAY WG, PINDER GF. **Groundwater contamination from hazardous wastes**. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ, 1984.
- YOSHINAGA-PEREIRA S. **Proposta de Representação Cartográfica na Avaliação Hidrogeológica para Estudo de Planejamento e Meio Ambiente, exemplo da Região Metropolitana de Campinas - SP**. São Paulo (SP); 1996. [Tese de Doutorado - Instituto de Geociências da USP].
- YOSHINAGA-PEREIRA S & VALENTE JCP. A aplicação do sistema de informações geográficas nos estudos de proteção de aquíferos e fontes de água mineral. In: **Anais do I Congresso Mundial Integrado de Águas Subterrâneas**; 31.07 a 04.08.2000; Fortaleza (CE). Fortaleza: ABAS/ALHSUD. 2000. CD-ROM.
- ZUQUETTE LV. **Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para as condições brasileiras**. São Carlos (SP); 1987. [Tese de Doutorado - Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos da USP]. 3 vol.
- ZUQUETTE LV. **Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do**

meio físico: fundamentos e guia para exploração. São Carlos (SP); 1993.
[Tese de Livre Docência - Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos da USP].

ZUQUETTE LV [Coord]. ***Relatório final sobre o diagnóstico da sub-área de Geologia de Engenharia.*** São Paulo (SP): ABGE – CNPq; 1996.