

# USF

## Campus de São Carlos

SELEÇÃO PRELIMINAR DE LOCAIS POTENCIAIS À  
INSTALAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS NA SUB-BACIA DA  
REPRESA DE ITUPARARANGA (BACIA DOS RIOS  
SOROCABA E MÉDIO TIETÊ)

**EDSON MITSUhide TSUHAKO**

Orientadora: Profa. Dra. Maria Lúcia Calijuri

### UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO



### ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

Edson Mitsuhide Tsuhako

SELEÇÃO PRELIMINAR DE LOCAIS POTENCIAIS À  
IMPLANTAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO NA SUB-BACIA DA  
REPRESA ITUPARARANGA (BACIA DOS RIOS SOROCABA  
E MÉDIO TIETÊ)

Serviço de Pós-Graduação EESC/USP  
**EXEMPLAR REVISADO**  
Data de entrada no Serviço: 28 / 04 / 04  
Ass.: *Leandro Conioli*

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

DEDALUS - Acervo - EESC



31100047272

Orientadora: Profa. Dra. Maria Lúcia Calijuri



São Carlos

2004

Class.	TESE EESC
Cott.	6303
Tombo	T/20/04
Sysno	1375746

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

T882s      Tsuhako, Edson Mitsuhide  
Seleção preliminar de locais potenciais à implantação  
de aterros sanitários na sub-bacia de Itupararanga  
(Bacia do Rio Sorocaba e médio Tietê) / Edson Mitsuhide  
Tsuhako. - São Carlos, 2004.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de São  
Carlos-Universidade de São Paulo, 2004.

Área: Hidráulica e Saneamento.


Orientadora: Profa. Dra. Maria Lúcia Calijuri.

1. Sistema de informação geográfica (SIG).  
2. Resíduos sólidos. 3. Avaliação multicritério. 4.  
Lógica fuzzy. 5. Aterro sanitário. I. Título.

**FOLHA DE JULGAMENTO**

Candidato: Engenheiro **EDSON MITSUhide TSUHAko**

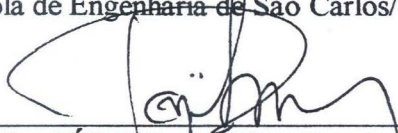
Dissertação defendida e julgada em 18-02-2004 perante a Comissão Julgadora:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Tit. **MARIA LÚCIA CALJURI** (Orientadora)  
(Universidade Federal de Viçosa/UFV)


Aprovado

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Assoc. **RODRIGO DE MELO PORTO**  
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

Aprovado

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. **SÉRGIO ANTONIO ROHM**  
(Universidade Federal de São Carlos/UFSCar)

Aprovado

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Associada **MARIA DO CARMO CALJURI**  
Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia (Hidráulica e Saneamento) e  
Presidente da Comissão de Pós-Graduação

Dedico este trabalho a Deus e aos meus pais, Mitsuhiko e Eneida, pelo apoio e incentivo constante e pelos ensinamentos que jamais serão esquecidos.

## AGRADECIMENTOS

A minha orientadora, professora Maria Lucia Calijuri, pela excelente orientação, amizade, apoio, confiança, incentivo e paciência durante a realização deste trabalho.

A professora Maria do Carmo Calijuri por toda amizade, apoio e paciência durante o decorrer do curso.

A Juliana, Pedro, e Wilson do LabSigeo da Universidade Federal de Viçosa (UFV) pela amizade, companheirismo e auxílio na elaboração dos mapas.

A Rosângela e a Jussara, do CBH-SMT, primeiramente, por toda amizade, apoio e confiança e por terem cedido os mapas para a realização do trabalho.

Aos meus pais por sempre estarem do meu lado, me apoiando e incentivando, acreditando em mim, aplaudindo sucessos e que, mesmo nos momentos mais difíceis, nunca deixaram de estender uma mão amiga.

As minhas irmãs, Meire e Hellen, pelo apoio e compreensão nos momentos mais difíceis de nossas vidas.

A toda minha família, em especial as tias Eliana, Miriam e Sonoe, pelo incentivo constante na vida estudantil.

A todos amigos e colegas da pós-graduação pela amizade e companheirismo.

Ao Wellington (in memoriam) pela amizade sincera que nem mesmo a distância e o tempo não foram capazes de apagar.

A todos meus professores da graduação, UNESP/Bauru, em especial ao professor Jorge Hamada, e da pós-graduação, EESC/USP, em especial ao professor Valdir Schalch, pela amizade e pelos ensinamentos que jamais serão esquecidos.

A Sá, Pavi, Rose e Fábio, do Departamento de Hidráulica e Saneamento, e a Claudete, do CRHEA, pelo bom humor e disposição em sempre atender bem a todos.

Ao CNPq pela bolsa de estudos.

A todas pessoas que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

*“A vitalidade aparece não somente na capacidade de persistir, mas na de recomeçar”.*

*Ella Wheeler Wilcox*

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABM – Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais  
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas  
APA – Área de Proteção Ambiental  
ARIE – Área de Relevante Interesse Ecológico  
ARIP – Aterro de Resíduos Industriais Perigosos  
ASA – Áreas de Segurança Aeroportuária  
AT – Amostra de treinamento  
CBH/SMT – Comitê de Bacias Hidrográficas/Sorocaba e Médio Tietê  
CEMA – Consultoria em Meio Ambiente  
CEN – Comitê Europeu de Normalização  
CETESB – Companhia Estadual de Tecnologia de Saneamento Ambiental  
CMN – Comitê Mercosul de Normalização  
CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear  
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente  
CONSEMA – Conselho Estadual do Meio Ambiente  
COPANT – Comitê Pan-Americano de Normas Técnicas  
DAEE – Departamento de Água e Energia Elétrica  
DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem  
EIA/RIMA – Estudo de Impacto Ambiental/Relatório de Impacto Ambiental  
EPA – Environmental Protect Agency (Agência de Proteção Ambiental dos EUA)  
ESRI – Environmental System Research Institute Incorporation  
ETA – Estação de Tratamento de Água  
ETE – Estação de Tratamento de Esgoto  
IAC – Instituto Agrônomo de Campinas  
IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
IF – Instituto Florestal  
IGC – Instituto de Geociências  
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas  
ISO – International Organization for Standardization  
LabSigeo – Laboratório de Sistemas de Informação Geográfica

LI – Licença de Instalação  
LO – Licença de Operação  
LP – Licença Prévia  
MCE – Multi-Criteria Evaluation (Avaliação Multi-Critério)  
NBR – Normas Brasileiras Registradas  
NIMBY – Not In My Back Yard (Não em meu quintal)  
OCA – Órgão de Controle Ambiental  
ONU – Organização das Nações Unidas  
OWA – Ordered Weight Average  
PC – Personal Computer (Computador Pessoal)  
PCB – Bifenila Policlorada  
pH – Potencial Hidrogeniônico  
PET – Polietileno Tereftalato  
PNMA – Política Nacional do Meio Ambiente  
PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos  
PNSB – Pesquisa Nacional de Saneamento Básico  
PRONAR – Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar  
PVC – Cloreto de Polivinila  
RAP – Relatório Ambiental Preliminar  
RCC – Resíduos de Construção Civil  
RCD – Resíduos de Construção e Demolição  
RSS – Resíduos de Serviço de Saúde  
RSU – Resíduos Sólidos Urbanos  
SEMA – Secretária Estadual do Meio Ambiente  
SIG – Sistema de Informação Geográfica  
SISNAMA - Sistema Nacional de Meio Ambiente  
SMA – Secretária Estadual do Meio Ambiente  
TR – Termo de Referência  
UFV – Universidade Federal de Viçosa  
UGRHI – Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos  
UNICEF – United Nations Children's Fund (Fundo das Nações Unidas para a Infância)  
UTM – Unidade Transversa de Mercator  
WLC – Weighted Linear Combination

**LISTA DE FIGURAS**

<b>Figura 01 :</b>	Lixão de Maceió, AL, no qual trezentos catadores vivem do lixo	1
<b>Figura 02:</b>	Contêineres de resíduos de serviço de saúde	17
<b>Figura 03:</b>	Incinerador de São Carlos (desativado em 2003)	17
<b>Figura 04:</b>	Lixão de Ibiúna/SP – presença de catadores e proximidade com núcleos urbanos	19
<b>Figura 05:</b>	Aterro sanitário de São Carlos/SP	20
<b>Figura 06:</b>	Aterro sanitário de Guarulhos/SP	21
<b>Figura 07:</b>	Esquema de funcionamento ideal de um aterro sanitário	21
<b>Figura 08:</b>	Método da vala	23
<b>Figura 09:</b>	Método da rampa	24
<b>Figura 10:</b>	Método da área	24
<b>Figura 11:</b>	Sistemas de proteção de um aterro sanitário	25
<b>Figura 12:</b>	Impermeabilização de base e laterais (aterro de São Carlos/SP)	27
<b>Figura 13:</b>	Impermeabilização lateral (aterro de São Carlos/SP)	27
<b>Figura 14:</b>	Sistema de drenagem (executado com brita) de líquidos percolados (aterro de São Carlos)	28
<b>Figura 15:</b>	Lagoa de estabilização para tratamento de líquidos percolados (aterro de São Carlos/SP)	28
<b>Figura 16:</b>	Coleta e tratamento de líquidos percolados	29
<b>Figura 17:</b>	Instalação de drenos no aterro	30
<b>Figura 18:</b>	Sistema de queimas de gases (aterro de São Carlos/SP)	31
<b>Figura 19:</b>	Dreno de gases executado em tela e brita (aterro de Guarulhos/SP)	31
<b>Figura 20:</b>	Arborização em torno do aterro como forma de reduzir a poluição em suas mais diversas formas	32
<b>Figura 21:</b>	Instalação de piezômetros em um aterro sanitário	33
<b>Figura 22:</b>	Esquema simplificado de processo de compostagem	37
<b>Figura 23:</b>	Esquema simplificado de funcionamento de uma unidade de incineração	39
<b>Figura 24:</b>	Representação esquemática de alguns dos vários caminhos do fluxo de contaminantes de uma área de disposição de resíduos sólidos	43
<b>Figura 25:</b>	Catadores, inclusive crianças, no lixão de Ibiúna/SP	49

<b>Figura 26:</b>	Lixão, meio de sobrevivência para mais de 45.000 brasileiros	49
<b>Figura 27:</b>	Fluxograma para obtenção do licenciamento ambiental	58
<b>Figura 28:</b>	Componentes de um SIG	67
<b>Figura 29:</b>	Principais componentes de um SIG	69
<b>Figura 30:</b>	Amostragem e representação de dados reais em SIG	70
<b>Figura 31:</b>	Feições cartográficas (pontos, linhas e áreas) representadas pelos formatos vetoriais (vector) e matricial (raster)	71
<b>Figura 32:</b>	Função sigmoidal	78
<b>Figura 33:</b>	Função J-Shaped	78
<b>Figura 34:</b>	Função linear	79
<b>Figura 35:</b>	Função definida pelo usuário	79
<b>Figura 36:</b>	Espaço estratégico de decisão (OWA)	83
<b>Figura 37:</b>	Estrutura de análise por nível e grupo de critérios	84
<b>Figura 38:</b>	Vista panorâmica da represa de Itupararanga	93
<b>Figura 39:</b>	Sub-bacias do Rio Tietê	94
<b>Figura 40:</b>	Vista aérea do início da represa de Itupararanga e núcleo urbano do município de Ibiúna	97
<b>Figura 41:</b>	Esquema de conversão dos diferentes formatos de arquivos	112
<b>Figura 42:</b>	Tela de entrada das importâncias relativas entre os fatores no módulo WEIGHT do programa Idrisi	114
<b>Figura 43:</b>	Tela de entrada dos fatores e restrições no módulo MCE-WLC do programa Idrisi	115
<b>Figura 44:</b>	Tela de entrada dos fatores e restrições no módulo MCE-OWA do programa Idrisi	115
<b>Figura 45:</b>	Fluxograma do processo de agregação de fatores e restrições	138

**LISTA DE GRÁFICOS**

<b>Gráfico 01:</b> Aumento da taxa de geração de resíduos sólidos urbanos nos EUA e declínio no número de áreas disponíveis para disposição	2
<b>Gráfico 02:</b> Variação da geração per capita (kg/hab/dia) versus a população (em mil hab)	8
<b>Gráfico 03:</b> Composição dos resíduos sólidos urbanos (em % relativo ao peso) em alguns países do mundo	17
<b>Gráfico 04:</b> Produção diária de resíduos sólidos por região (em % de peso)	47
<b>Gráfico 05:</b> Destino final dos resíduos sólidos (em % de peso)	48
<b>Gráfico 06:</b> Gráfico representativo da padronização do fator distância dos cursos d'água	119
<b>Gráfico 07:</b> Gráfico representativo da padronização do fator distância da represa	122
<b>Gráfico 08:</b> Gráfico representativo da padronização do fator distância dos núcleos urbanos	123
<b>Gráfico 09:</b> Gráfico representativo da padronização do fator distância da rodovia	128
<b>Gráfico 10:</b> Posição dos cenários no espaço estratégico de decisão	140

**LISTA DE MAPAS**

<b>Mapa 01:</b> Localização da bacia no Estado de São Paulo	95
<b>Mapa 02:</b> Municípios constituintes da bacia	96
<b>Mapa 03:</b> Divisão política	98
<b>Mapa 04:</b> Uso e ocupação do solo	99
<b>Mapa 05:</b> Modelo de elevação digital	102
<b>Mapa 06:</b> Classes de declividade	103
<b>Mapa 07:</b> Hidrografia	104
<b>Mapa 08:</b> Geomorfologia	106
<b>Mapa 09:</b> Pedologia	108
<b>Mapa 10:</b> Sistema viário	110
<b>Mapa 11:</b> Fator hidrografia	120
<b>Mapa 12:</b> Fator represa	121
<b>Mapa 13:</b> Fator uso e ocupação do solo	124
<b>Mapa 14:</b> Fator núcleos urbanos	125
<b>Mapa 15:</b> Fator classes de declividade	127
<b>Mapa 16:</b> Fator sistema viário	129
<b>Mapa 17:</b> Fator geomorfologia	131
<b>Mapa 18:</b> Fator pedologia	133
<b>Mapa 19:</b> Carta geotécnica	134
<b>Mapa 20:</b> Fator carta geotécnica	136
<b>Mapa 21:</b> Cenário 01	142
<b>Mapa 22:</b> Cenário 02	143
<b>Mapa 23:</b> Cenário 03	144
<b>Mapa 24:</b> Cenário 04	145
<b>Mapa 25:</b> Cenário 05	146
<b>Mapa 26:</b> Cenário 06	147
<b>Mapa 27:</b> Cenário 07	148
<b>Mapa 28:</b> Cenário 08	149
<b>Mapa 29:</b> Cenário 09	150
<b>Mapa 30:</b> Seleção preliminar final	157

**LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 01:</b>	Faixas mais utilizadas da geração de lixo per capita	9
<b>Tabela 02:</b>	Composição dos resíduos sólidos urbanos (em % relativo ao peso) em alguns países do mundo	13
<b>Tabela 03:</b>	Classificação dos resíduos de serviço de saúde	18
<b>Tabela 04:</b>	Resumo das vantagens e desvantagens da incineração como meio de tratamento	41
<b>Tabela 05:</b>	Problemas provocados pela instalação não criteriosa de aterros	46
<b>Tabela 06:</b>	Municípios que formam a bacia da represa de Itupararanga	97
<b>Tabela 07:</b>	Levantamento demográfico dos municípios que constituem a bacia	100
<b>Tabela 08:</b>	Adequabilidade atribuída aos índices de fragilidade física	130
<b>Tabela 09:</b>	Adequabilidade atribuída ao fator pedológico	130
<b>Tabela 10:</b>	Importâncias relativas entre os fatores técnicos	137
<b>Tabela 11:</b>	Pesos ordenados obtidos pelo processo de agregação	137
<b>Tabela 12:</b>	Cenários finais propostos	139

## RESUMO

TSUHAKO, E. M. Seleção preliminar de locais potenciais à implantação de aterros sanitários na sub-bacia da Represa de Itupararanga (bacia do rio Sorocaba e Médio Tietê). São Carlos, 2002. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Através de metodologias atuais, baseadas no uso de sistemas de informação geográfica (SIG), o presente trabalho visa selecionar áreas aptas à disposição de resíduos sólidos urbanos na sub-bacia hidrográfica da Represa de Itupararanga (bacia dos Rios Sorocaba e Médio Tietê) que abriga um excelente manancial utilizado para o abastecimento público de cinco municípios, perfazendo o total de um milhão de habitantes, porém, com capacidade para abastecer cerca de dois milhões de habitantes. Dos oito municípios (Ibiúna, Piedade, Cotia, Vargem Grande Paulista, Mairinque, São Roque, Alumínio e Votorantim) que possuem área dentro da bacia, apenas um utiliza-se de aterro sanitário satisfazendo todas as exigências de proteção ambiental. Dos restantes, um atende parcialmente as exigências e os outros dispõem seus resíduos em lixões, o que contribui à degradação da qualidade e quantidade de água disponível. A abordagem sobre os resíduos sólidos, as formas de disposição, os meios de tratamento e a legislação e normas pertinentes servirão de auxílio para um maior entendimento da problemática e da busca por soluções com o uso de sistemas de informação geográfica. Por meio dos mapas de divisão geopolítica, topográfico, geomorfológico, pedológico, hidrográfico, rodoviário e uso e ocupação do solo, todos na forma digital e fornecido pelo comitê de bacia hidrográfica local, e da carta geotécnica elaborada pelo IPT, foram produzidos diversos cenários de locais ideais à disposição de resíduos sólidos urbanos. Para a obtenção dos cenários adotou-se critérios técnicos, ambientais e sócio-econômicos, estes seguindo rigorosamente a legislação ambiental brasileira e as normas técnicas da ABNT. A seleção de áreas com o auxílio de sistemas informações geográficas baseiam-se, atualmente, na análise estratégica de decisão, também conhecida como análise multicritério ou análise multiobjetivo. Essas análises centram-se na lógica booleana ou na lógica fuzzy. A primeira é atribuída aos critérios por restrição, ou seja, são consideradas para limitações absolutas, as quais definem áreas aptas ou não aptas. A

segunda, por sua vez, atribui-se aos critérios por fatores, isto é, são consideradas para limitações relativas que definem algum grau de aptidão (ou adequabilidade) às regiões geográficas. O grau de adequabilidade é variável de acordo com os pesos atribuídos, pelo decisor (ou profissionais envolvidos), aos diferentes fatores adotados na seleção. Estudos recentes apontam falhas de 35,6% na seleção final de áreas adequadas à disposição de resíduos sólidos urbanos quando utilizada a lógica booleana em comparação com a lógica fuzzy. Partindo desse princípio obteve-se diferentes cenários, sendo que se escolheu o cenário com maior número de áreas de alta adequabilidade. De posse desse cenário, impôs-se, como requisito básico para a seleção preliminar, locais de adequabilidade maior do que 220 (numa escala variando de 0 a 255) e áreas com mais de 20 hectares. O resultado obtido foi diversas áreas, dentro da região de estudo, que atendam aos critérios impostos para a seleção preliminar de locais ideais à implantação de aterros sanitários.

**Palavras-chave:** sistemas de informação geográfica, avaliação multicritério, lógica fuzzy, resíduos sólidos urbanos, aterros sanitários

## ABSTRACT

TSUHAKO, E. M. Preliminary selection of potential site to the implantation of sanitary landfill in the Itupararanga Watershed (basin of the Sorocaba and Medium Tietê River). São Carlos, 2002. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Through current methodologies, based on the use of geographic information systems (GIS), the present work seeks to select propitious areas to the disposition of municipal solid waste in the Itupararanga Watershed (Basin of the Sorocaba and Medium Tietê River) that shelters an excellent fountainhead used for the public supplying of five municipal districts, performing a million inhabitants' total, however, with capacity to supply about two million inhabitants. Of the eight municipal districts (Ibiúna, Piedade, Cotia, Vargem Grande Paulista, Mairinque, São Roque, Alumínio and Votorantin) that have area inside of the basin, in just one is used of sanitary landfill satisfying all of the requirement of environmental protection. Of the remaining ones, one attends partially the requirement and others dispose their residues in inappropriate site, what contributes to the degradation of the quality and amount of available water. The approach on the solid waste, the disposition forms, the treatment means and the legislation and pertinent norms will serve as aid for a larger understanding of the problem and of the search for solutions with the use of geographic information systems. Through the maps of geopolitic division, topographical, geomorphologic, pedologic, hydrographic, highway and land use, all in the digital form and supplied by the committee of local watershed, and of the geotechnic chart elaborated by IPT, several sceneries of ideal site were produced to the disposition of municipal solid waste. For the obtaining of the sceneries it was adopted technical, environmental and social economic criteria, these following the brazilian environmental legislation and the technical norms of ABNT strictly. The selection of areas with the aid of geographic information systems is based, now, in the strategic analysis of decision, also known as multicriteria analysis or multiobjective analysis. Those analyses are centered in the boolean logic or in the fuzzy logic. The first is attributed to the criteria by restriction, in other words, they are considered for absolute limitations, which define propitious areas or not. For second is attributed to the criteria by factors, that is, they are considered for

relative limitations that define some aptness degree (or adequability) to the geographical areas. The aptness degree is variable according with the attributed weights, for the decisor (or involved professionals), to the different factors adopted in the selection. Recent studies point errors of 35,6% in the final selection of appropriate areas to the disposition of municipal solid waste when used the boolean logic in comparison with the fuzzy logic. Leaving of that beginning was obtained different sceneries, and it was chosen the scenery with larger number of areas of high aptness. Of ownership of that scenery, it was imposed, as basic requirement for the preliminary selection, places of larger adequability than 220 (in a scale varying from 0 to 255) and areas with more than 20 hectares. The obtained result was several areas, inside of the study area, that you/they assist to the criteria imposed for the preliminary selection of ideal site to the implantation of sanitary landfill.

**Key-word:** geographic information system, multicriteria evaluation, fuzzy logic, municipal solid waste, sanitary landfill

**SUMÁRIO**

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	i
LISTA DE FIGURAS	iii
LISTA DE GRÁFICOS	v
LISTA DE MAPAS	vi
LISTA DE TABELAS	vii
RESUMO	viii
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivos	3
1.2. Justificativas	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. Resíduos sólidos	4
2.1.1. Definição	4
2.1.2. Classificação dos resíduos sólidos	4
2.1.3. Características dos resíduos sólidos	8
2.1.4. Composição e destinação final dos resíduos sólidos	12
a) Resíduos sólidos urbanos	12
b) Resíduos sólidos industriais	15
c) Resíduos sólidos de serviços de saúde	15
2.2. Principais formas de disposição final e tratamento dos resíduos sólidos	19
2.2.1. Lixão	19
2.2.2. Aterro controlado	19
2.2.3. Aterro sanitário	20

2.2.3.1. Vantagens e desvantagens de aterros sanitários	21
2.2.3.2. Métodos de operação de aterros sanitários	23
a) Método da trincheira	23
b) Método da rampa	23
c) Método da área	23
2.2.3.3. Elementos de proteção ambiental de um aterro sanitário	25
a) Sistema de drenagem de águas pluviais	25
b) Sistema de impermeabilização de base e laterais	26
c) Sistema de cobertura	27
d) Sistema de drenagem, coleta e tratamento de líquidos percolados	28
e) Drenagem, coleta e tratamento de gases	29
f) Sistema de detecção de vazamentos através das camadas de impermeabilização	31
g) Sistema de monitoramento	32
2.2.3.4. Aspectos técnicos e ambientais considerados na seleção de áreas para aterro sanitário	34
2.2.4. Aterro industrial	35
2.2.5. Reciclagem	36
2.2.6. Usinas de compostagem	37
2.2.7. Unidades de incineração	39
2.2.8. Outras formas de tratamento ou disposição de resíduos sólidos	
a) Pirólise	40
b) Landfarming ou Tratamento no Solo	40
c) Biorremediação	40
2.3. Impactos ambientais provocados por disposição inadequada dos resíduos sólidos	42
2.4. Panorama atual sobre os resíduos sólidos no Brasil	47
2.5. Agenda 21 e os resíduos sólidos	49
2.6. Legislação ambiental brasileira correlata	50
2.6.1. Constituição Federal	51
2.6.2. Leis e Resoluções	52
2.6.2.1. Órgãos	53
2.6.2.2. Avaliação de impacto ambiental	54

2.6.2.3. Licenciamento ambiental	56
2.6.2.4. Relatório preliminar (RAP) e termo de referência (TR)	57
2.6.2.5. Resoluções CONAMA pertinentes aos resíduos sólidos	58
2.7. Normas técnicas brasileiras correlatas	62
2.7. Sistema de informação geográfica	65
2.7.1. Definição	65
2.7.2. Elementos de um SIG	66
2.7.3. Principais módulos de um SIG	67
2.7.4. Amostragem do mundo real	69
2.7.5. Representação de dados de mapas	70
2.8. Análise estratégica de decisão	71
2.8.1. Definição	71
2.8.2. Teoria da decisão	71
2.8.3. Regra da decisão	72
2.8.4. Decisor	73
2.8.5. Tomada de decisão	73
2.9. Análise multicritério em ambiente SIG	74
2.9.1. Análise booleana	75
2.9.2. Análise em termos de adequabilidade	76
2.9.2.1. Padronização dos critérios	77
a) Sigmoidal	77
b) J-Shaped	78
c) Linear	78
d) Definida pelo usuário	79
2.9.2.2. Avaliação de pesos para os critérios	80
2.9.2.3. Agregação de critérios	80
a) Combinação linear ponderada	80
b) Média ponderada ordenada	81
2.9.3. Estrutura do modelo de análise multicritério	83
2.10. Metodologias para avaliação e seleção de áreas para aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos	84
a) Andrade (1999)	84
b) Bagchi (1994)	85

c) Consoni et al. (2000b)	86
d) Kataoka (2000)	87
e) McBean et al. (1995)	87
f) Melo (2001)	89
g) Outras metodologias	89
3. MATERIAIS E MÉTODOS	91
3.1. Descrição dos materiais	91
3.1.1. Materiais cartográficos analógicos e digitais	91
3.1.2. Equipamentos	92
3.1.3. Programas	93
3.2. Área de estudo	93
3.2.1. Histórico e localização	93
3.2.2. Divisão política e aspectos sócio-econômicos	97
3.2.3. Topografia	100
3.2.4. Hidrografia	101
3.2.5. Geologia	101
3.2.6. Geomorfologia	105
3.2.7. Pedologia	107
3.2.8. Vegetação	109
3.2.9. Sistema viário	109
3.2.10. A situação dos resíduos sólidos urbanos nos municípios da bacia de Itupararanga	111
3.3. Descrição da metodologia	111
3.2.1. 1ª ETAPA: Coleta de dados	111
3.2.2. 2ª ETAPA: Conversão digital das informações	112
3.2.3. 3ª ETAPA: Análises espaciais baseadas em critérios múltiplos	113
3.2.3.1. Descrição das restrições consideradas	115
a) Restrição hidrografia	116
b) Restrição represa	116
c) Restrição áreas de preservação ambiental	116
d) Restrição nos entornos das matas	116
e) Restrição áreas fortemente e fracamente urbanizadas	117

f) Restrição uso e ocupação do solo	117
g) Restrição declividade	117
h) Restrição sistema viário	117
i) Restrição geomorfologia	117
j) Restrição carta geotécnica	118
k) Restrição distância máxima de 15.000 metros dos núcleos populacionais	118
3.2.3.2.Descrição dos fatores considerados	118
a) Distância dos corpos d'água	118
b) Distância da represa	119
c) Uso e ocupação do solo	122
d) Distância dos núcleos urbanos	123
e) Classes de declividade	123
f) Distância do sistema viário	126
g) Mapa geomorfológico	128
h) Mapa pedológico do Estado de São Paulo	130
i) Carta geotécnica do Estado de São Paulo	132
3.2.3.3.Agregação dos critérios	135
3.2.3.4.Mapas finais das áreas selecionadas	139
3.2.4. 4ª ETAPA: Avaliação e proposição das soluções possíveis	141
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	151
5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES	158
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	161

---

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo pesquisa do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) realizada no ano de 2000, os brasileiros produzem diariamente cerca de 125.281 toneladas de lixo. Outros dados relevantes são que 68,5% dos resíduos das grandes cidades são simplesmente jogados em lixões (vide **figura 01**) e alagados e apenas 451 cidades realizam coleta seletiva de detritos.

De um modo geral, no Brasil, 21,16% dos resíduos sólidos domiciliares, em peso, têm, como destino final, os aterros a céu aberto (lixões), 37,03% os aterros controlados, 36,18% os aterros sanitários e apenas 5,63% vão para as estações de compostagem, centros de triagem ou usinas de incineração.



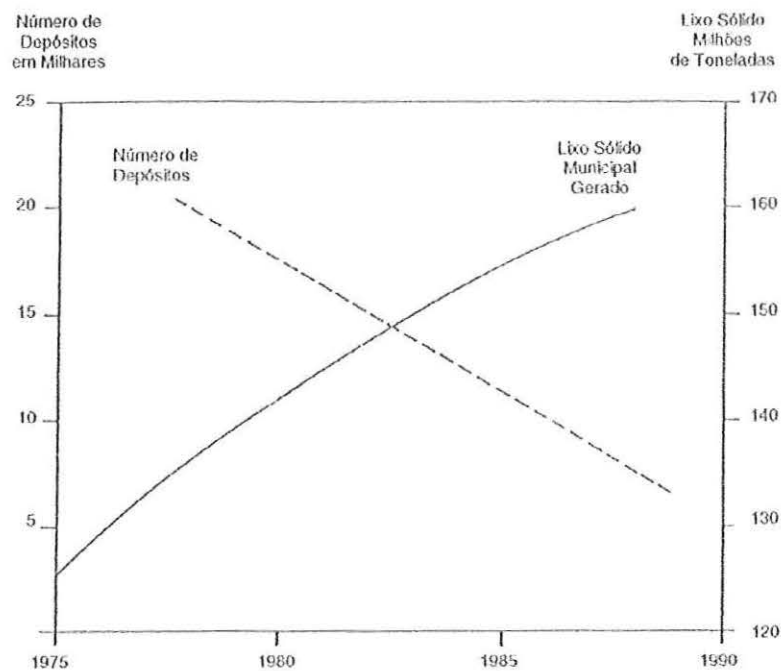
**Figura 01:** Lixão de Maceió, AL, no qual trezentos catadores vivem do lixo (fonte: Jucá, 2002)

Em metrópoles como São Paulo e Rio de Janeiro, a produção de lixo é, em média, de um quilo por habitante o que resulta em uma montanha de mais de doze mil

toneladas diárias, quantidade esta que deve aumentar, caso as autoridades não incentivem a política dos 3R's, ou seja, reduzir, reaproveitar e reciclar.

A disposição final do lixo em áreas impróprias e executadas sem um estudo detalhado do local provoca sérios problemas ambientais e sociais, portanto, a escolha de uma área apropriada para a implantação de um aterro sanitário deve reunir condições técnicas, econômicas e ambientais, através de criterioso estudo com o objetivo de evitar ou minimizar impactos.

A crescente urbanização, aliada ao recrudescimento da legislação ambiental, tornou a disponibilidade de áreas aptas à disposição de resíduos sólidos urbanos cada vez mais escassa, fato este agravado pelo fluxo crescente de lixo. O **gráfico 01** ilustra bem essa condição que, apesar de retratar a situação dos Estados Unidos da América, maior gerador de lixo do mundo, não difere dos problemas enfrentados pelos brasileiros, principalmente nas regiões mais povoadas e desenvolvidas, como o Estado de São Paulo.



**Gráfico 01:** Aumento da taxa de geração de resíduos sólidos urbanos nos EUA e declínio no número de áreas disponíveis para disposição.  
(fonte: EPA, 1990 apud Corson, 1990)

Com o desenvolvimento tecnológico, principalmente na área da informática, aliada as potencialidades de análises dos sistemas de informação geográfica, foi possível obter resultados expressivos nas complexas avaliações em grandes extensões territoriais,

diminuir o tempo dispendido e aumentar a qualidade nos resultados para seleção de áreas ideais à disposição dos resíduos sólidos.

### *1.1. Objetivos*

Como meta principal, tem-se a busca de áreas ideais para a disposição de resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários nos municípios que possuem área na bacia hidrográfica da Represa de Itupararanga. Para isso, serão utilizadas as metodologias convencionais de seleção aliadas ao uso de sistemas de informações geográficas visando, inclusive, colaborar na preservação da qualidade do manancial existente na região de estudo.

### *1.2. Justificativas*

Entre as justificativas, cita-se:

- Avaliar áreas adequadas para aterros sanitários é de extrema importância para minimizar os impactos provocados por esse tipo de empreendimento;
- A Agenda 21 estabeleceu o ano de 2025 como a data limite para que todos os resíduos produzidos sejam dispostos de acordo com diretrizes de qualidade ambiental;
- A disponibilidade das áreas para disposição de lixo torna-se cada vez mais escassa a medida em que cresce a urbanização e a taxa de geração de resíduos sólidos, obrigando uma abordagem mais precisa e criteriosa na seleção dos locais adequados;
- Dos oito municípios da região de estudo, apenas um, Votorantin, possui aterro sanitário que atende a todas as exigências de proteção ambiental. São Roque, por sua vez, atende parcialmente e o restante dos municípios utilizam-se de lixões;
- Os planos de bacias, atualmente, exigem a correta disposição dos resíduos sólidos como forma de evitar a contaminação dos mananciais.

---

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Resíduos sólidos

#### 2.1.1. Definição

Segundo a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), através da **NBR 10.004/1987 – Resíduos Sólidos – Classificação** – resíduos sólidos são “*todos aqueles resíduos nos estados sólido e semi-sólido resultante das atividades da comunidade de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Incluem-se lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível*”.

No Brasil, o termo lixo é a denominação mais popular para resíduos sólidos. De acordo com **Bidone e Povinelli (1999)**, a palavra resíduo origina-se do latim *residuu* que significa sobra de determinadas substâncias, e sólido é incorporado para diferenciá-lo de líquidos e gases. Lixo, por sua vez, do latim *lix*, é o mesmo que cinzas ou lixívia.

*Basura*, nos países de língua espanhola, e *garbage, refuse* ou *solid waste*, nos países de língua inglesa, são os mesmos termos empregados para lixo ou resíduos sólidos.

#### 2.1.2. Classificação dos resíduos sólidos

De acordo com os critérios que se adotam, os resíduos sólidos podem ser classificados de diversas formas.

As classificações mais representativas consideram a origem, o grau de degradabilidade ou a periculosidade do lixo frente a determinados padrões de qualidade ambiental e de saúde pública.

Consoni et al. (2000a), quanto a origem, consideram que os resíduos sólidos podem ser classificados em:

- a) **Doméstico ou residencial:** são aqueles provenientes de residências e constituídos por restos de alimentos, embalagens em geral, papéis diversos, garrafas e vários outros itens que fazem parte do cotidiano. Alguns desses resíduos são considerados tóxicos como, por exemplo, pilhas, baterias, lâmpadas fluorescentes e compostos químicos de solventes e tintas.
- b) **Comercial:** são os descartes originados de supermercados, estabelecimentos bancários, lojas, bares, restaurantes e outros estabelecimentos comerciais ou de serviços. Em geral, a maior parte dos resíduos é constituída de papel, plástico, embalagens diversas e materiais de higiene dos funcionários, como papel toalha e papel higiênico.
- c) **Público:** podem ser resultantes da limpeza pública urbana (podas de árvores, corpos de animais, resíduos de varrição, de limpeza de córregos, galerias e terrenos) ou de limpeza de feiras livres, estes constituídos em sua maior parte por restos de vegetais.
- d) **Serviços de saúde e hospitalar:** são oriundos de hospitais, clínicas médicas e veterinárias, consultórios odontológicos, laboratórios, farmácias, postos de saúde e outros estabelecimentos que gerem resíduos com potencial patogênico como, por exemplo, agulhas, seringas, órgãos e tecidos removidos, luvas descartáveis, cobaias, remédios vencidos, etc.
- e) **Portos, aeroportos, terminais rodoviários e ferroviários:** constituem os resíduos sépticos, ou seja, aqueles que contêm germes patogênicos. Geralmente são materiais de higiene pessoal e restos de alimentos capazes de veicularem doenças provenientes de outras cidades, Estados ou países.
- f) **Industrial:** tem sua origem nas diversas atividades industriais como metalúrgica, química, petroquímica, celulose, alimentícia e outras. A composição dos resíduos industriais é bastante variada e podem ser compostos por cinzas, lodos, óleos, escórias, metais, cerâmicas, plásticos, resíduos ácidos ou alcalinos, etc. A grande maioria dos resíduos Classe I, considerado tóxico, inclui-se nesta categoria.
- g) **Agrícola:** são os resíduos resultantes das atividades agrícolas e da pecuária. As embalagens de fertilizantes e de defensivos agrícolas, rações, restos de

colheita e esterco dos animais fazem parte desta categoria. Atualmente há uma crescente preocupação com o descarte das embalagens de agroquímicos, extremamente tóxicos e, neste caso, são considerados resíduos Classe I.

- h) *Entulho*: provenientes da construção civil, estes resíduos geralmente são considerados inertes e compostos, em sua maioria, por materiais de demolição, madeiras, sobras de materiais de construção, bota-fora, etc. Há, porém, uma vasta gama de materiais considerados tóxicos se não dispostos corretamente como, por exemplo, restos de tintas e solventes, peças de amiantos e metais diversos. Também denominados resíduos de construção civil.

**Bidone e Povinelli (1999)** agrupam os resíduos de origem domiciliar, comercial e público em uma única categoria, como sendo de origem *urbana*.

De uma forma geral, os resíduos domiciliares são os de origem doméstica (ou residencial) e comercial. Os resíduos sólidos urbanos, por sua vez, englobam os resíduos domiciliares, públicos e entulhos, mas, podendo até incluir os resíduos de serviços de saúde assépticos.

**Zveibil (2001)** agrupam e classificam os resíduos sólidos de origem industrial, radioativo, agrícola, serviços de saúde e portos, aeroportos e terminais rododiferroviários em uma única categoria como sendo *resíduos de fontes especiais*.

Uma outra categoria é mencionada por **Bidone e Povinelli (1999)**, os *resíduos radioativos*, estes de competência da CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear).

Em relação ao grau de degradabilidade, os resíduos podem ser classificados em (**Schalch et al., 2000**):

- a) *Facilmente degradáveis (F.D.)*: matéria orgânica em geral, como sobras de alimentos, folhas, animais mortos e outros;
- b) *Moderadamente degradáveis (M.D.)*: papéis, papelão e material celulósico;
- c) *Difícilmente degradáveis (D.D.)*: pedaços de pano, retalhos, aparas e serragens de couro, borracha e madeira;
- d) *Não-degradáveis (N.D.)*: vidros, metais não-ferrosos, plásticos, pedras, terras, entre outros.

Como essas classificações não remetem a um consenso em relação a característica mais importante de um resíduo, ou seja, a periculosidade, a ABNT, por

meio da **NBR 10004**, vinculou a esta norma a **NBR 10005 – Lixiviação de resíduos – Procedimento**, a **NBR 10006 – Solubilização de resíduos – Procedimentos** e a **NBR 10007 – Amostragem de resíduos – Procedimentos**, todas de 1987, e classificou os resíduos em três classes.

A **NBR 10004/1987** considera um resíduo perigoso quando suas propriedades físicas, químicas e infecto-contagiosas representarem:

- Risco à saúde pública: caracterizado pelo aumento de mortalidade ou incidência de doenças;
- Risco ao meio ambiente: quando manuseados de forma inadequada.

A periculosidade de um resíduo, de acordo com a mesma norma, é em função de características como inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade (exceto resíduos sólidos urbanos e aqueles gerados em ETE).

Com base nesses cinco critérios, os resíduos sólidos foram classificados em:

- a) **Classe I – perigosos** são aqueles que apresentam umas das características de periculosidade, ou seja, inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxidade ou patogenicidade. Inclui-se nesta classe a maioria dos resíduos industriais.
- b) **Classe II – não-inertes** são aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos Classe I (perigosos) ou de Classe III (inertes), podendo ter propriedades como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água. Papéis, papelão e matérias vegetais são alguns exemplos de resíduos Classe II;
- c) **Classe III – inertes** são quaisquer resíduos cujas amostragens, quando submetidos a um contato estático ou dinâmico com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, não apresentarem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, com exceção aos padrões de aspecto, cor, turbidez e sabor. São exemplos: fragmentos de rochas, tijolos, vidros e certos plásticos e borrachas de difícil decomposição.

Os resíduos radioativos não se enquadram nesta classificação, pois, como mencionado anteriormente, o gerenciamento, controle e disposição final desses materiais estão sob tutela da CNEN.

Em função desta classificação, cada tipo de resíduo gerado terá seu destino final em aterros especificamente projetados ou em unidades de tratamento, entre as mais comuns estão as usinas de compostagem e os incineradores.

### 2.1.3. Características dos resíduos sólidos

O gerenciamento dos resíduos sólidos deve começar pelo estudo de suas características físicas, químicas e biológicas, o qual permitirá o correto dimensionamento dos veículos de coleta, dos meios de tratamento e de disposição final.

Entre as características físicas, temos (Consoni et al., 2000a; Zveibil, 2001):

- *Geração per capita*

É a quantidade de lixo gerado por habitantes em um determinado período de tempo. Geralmente é expressa em kg/hab/dia. No Brasil a taxa é de 0,5kg/hab/dia a 0,8kg/hab/dia para cidades até 200.000 habitantes e de 0,8kg/hab/dia a 1,2kg/hab/dia para cidades com mais de 200.000 habitantes.

Zveibil (2001) sugere, na falta de dados mais precisos de geração per capita, o uso do gráfico 02 e da tabela 01, abaixo.

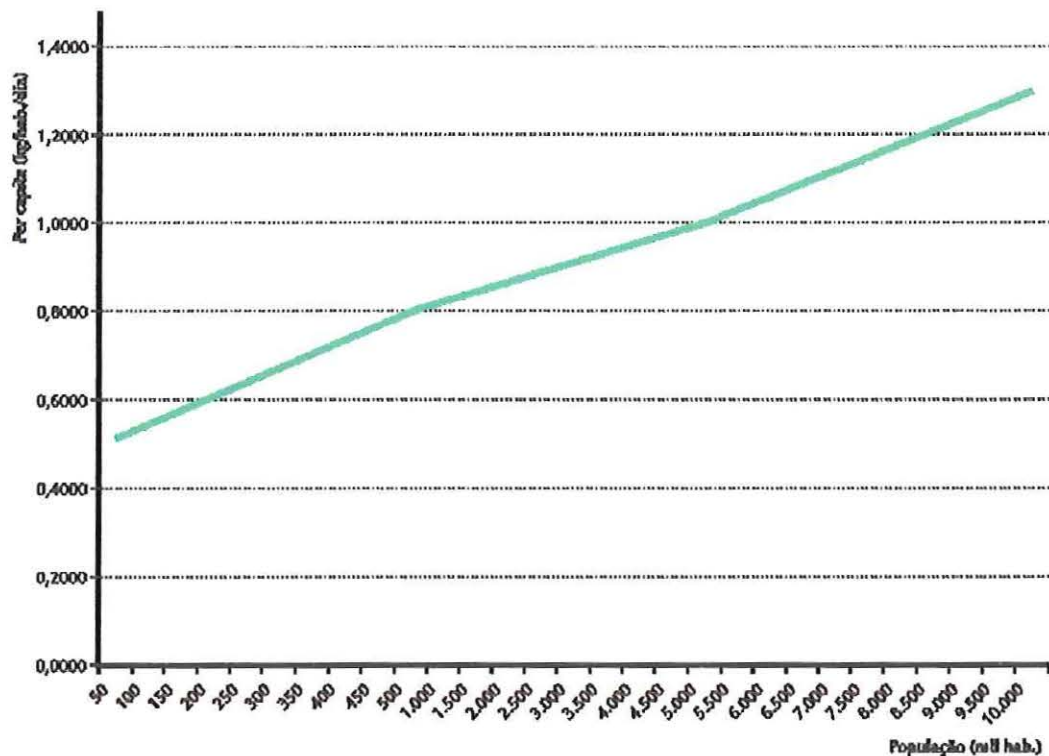


Gráfico 02: Variação da geração per capita (kg/hab/dia) versus a população (em mil hab.)  
(fonte: Zveibil, 2001)

**Tabela 01:** Faixas mais utilizadas da geração de lixo per capita (fonte: adaptado de Zveibil, 2001)

Tamanho da cidade	População urbana (habitantes)	Geração per capita (kg/hab/dia)
Pequena	Até 30 mil	0,50
Média	De 30 mil a 500 mil	De 0,50 a 0,80
Grande	De 500 mil a 5 milhões	De 0,80 a 1,00
Megalópole	Acima de 5 milhões	Acima de 1,00

O conhecimento da geração per capita de uma determinada comunidade é importante para o planejamento de todo sistema de gerenciamento do lixo, principalmente no dimensionamento de instalações e equipamentos.

- *Composição gravimétrica (ou física)*

A composição gravimétrica representa o percentual de cada componente (entre os mais comuns, temos: matéria orgânica, papel, papelão, plástico rígido, plástico maleável, PET, metal ferroso, metal não-ferroso, alumínio, vidro claro, vidro escuro, madeira, borracha, couro, trapos, ossos, cerâmica e agregado fino) em relação ao peso total de uma determinada amostra analisada.

É importante para os estudos de aproveitamento dos diversos componentes e para o dimensionamento de usinas de compostagem, além de outras unidades de um sistema de limpeza urbana.

- *Densidade aparente*

É a relação entre a massa e o volume do lixo, sendo calculada para as diversas fases do gerenciamento do lixo. Usualmente é expressa em  $\text{kg/m}^3$ .

Sua importância está relacionada no dimensionamento da capacidade volumétrica dos equipamentos e instalações. No Brasil, na ausência de estudos, considera-se razoável os valores de  $230\text{kg/m}^3$  para os resíduos domiciliares,  $280\text{kg/m}^3$  para os resíduos de serviço de saúde e de  $1300\text{kg/m}^3$  para os entulhos de obras.

- *Teor de umidade*

É a quantidade de água presente na massa de lixo, medida em percentual do seu peso. Este parâmetro varia em função da estação do ano e da incidência de chuvas, podendo-se estimar um teor de umidade variando em torno de 40% a 60%.

O teor de umidade tem influência direta sobre o poder calorífico, densidade e velocidade de decomposição biológica da massa de lixo.

A escolha da tecnologia de tratamento e equipamentos está diretamente ligada a este parâmetro.

- ***Compressividade (ou grau de compactação)***

Compressividade é o grau de compactação, ou redução, do volume que uma massa de lixo pode sofrer quando compactada.

Dependendo da composição gravimétrica, quando submetido a uma pressão de 4kg/cm<sup>2</sup>, o volume do lixo pode ser reduzido de um terço a um quarto do seu volume original.

Analogamente a compressão, a massa de lixo tende a se expandir quando é cessada a pressão que a compacta sem, no entanto, voltar ao volume original. A esse fenômeno denomina-se empolamento e deve ser considerado nas operações de aterro com lixo.

Através da determinação da compressividade é possível definir a capacidade volumétrica dos equipamentos e instalações.

As características químicas, por sua vez, estão relacionadas com os componentes orgânicos dos resíduos sólidos. São elas (Consoni et al., 2000a; Zveibil, 2001):

- ***Poder calorífico***

Indica a capacidade potencial de um material desprender determinada quantidade de calor quando submetido à queima, ou ainda, é a quantidade de calor gerada pela combustão de 1kg de lixo misto e não somente dos materiais facilmente degradáveis.

O poder calorífico médio do lixo domiciliar situa-se em torno de 5.000kcal/kg e seu estudo é útil na avaliação para instalações de tratamento térmico (incineração, pirólise e outros).

- ***pH***

O potencial hidrogeniônico representa a concentração de íons de hidrogênio que permite avaliar o grau de acidez ou alcalinidade do resíduo. Geralmente situa-se na faixa de 5 a 7.

A determinação do pH é importante na avaliação do tipo de proteção contra a corrosão a ser utilizado nos equipamentos que tenham contato direto com a massa de resíduos.

- *Composição química*

Consiste na análise dos teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), enxofre (S), carbono (C), cálcio (Ca), cinzas, matéria orgânica, resíduo mineral total, resíduo mineral solúvel e gorduras.

A análise da composição química auxilia na escolha da melhor forma de tratamento dos resíduos, inclusive compostagem, e disposição final.

- *Relação Carbono/Nitrogênio (C:N)*

A relação carbono/nitrogênio indica o grau de decomposição da matéria orgânica do lixo nos processos de tratamento ou disposição final dos resíduos.

Em geral, encontra-se na faixa de 35:1 a 20:1 e o estudo da relação C/N é fundamental para se estabelecer a qualidade do composto produzido, onde a relação ideal é em torno de 18:1.

As características biológicas estão diretamente relacionadas com a matéria orgânica presente no lixo a qual favorece a proliferação de uma grande diversidade de microrganismos composta por bactérias, vírus, fungos, helmintos e protozoários todos responsáveis pelo processo de decomposição da fração orgânica.

A decomposição da matéria orgânica pode ser, basicamente, caracterizada por dois tipos de processo: aeróbio e anaeróbio. O processo aeróbio, geralmente rápido, ocorre somente na presença de oxigênio e gera subprodutos como gás carbônico, sais minerais de nitrogênio, fósforo, potássio e outros macros ou micronutrientes solúveis em água e alguns compostos orgânicos de biodegradabilidade mais lenta. A decomposição anaeróbia, processo mais lento que o aeróbio, gera subprodutos como a amônia, ácidos orgânicos (nocivos e contaminantes) e gases, como o sulfídrico, tóxico e de cheiro desagradável.

O estudo das características biológicas tem auxiliado no desenvolvimento de inibidores de cheiro e de retardadores e aceleradores da decomposição da matéria orgânica os quais são aplicados nos veículos coletores para minimizar os incômodos a população durante a coleta.

Os métodos de tratamento, disposição final e recuperação de áreas degradadas mais adequados são selecionados a partir do conhecimento das características biológicas conjuntamente com as características químicas.

#### 2.1.4. Composição e destinação final dos resíduos sólidos

##### a) Resíduos sólidos urbanos

A Norma NBR 8419/1992 – Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos – define resíduos sólidos urbanos como sendo “*aqueles gerados num aglomerado urbano, com exceção dos resíduos industriais perigosos, hospitalares sépticos e de aeroportos e portos*”.

A composição dos resíduos sólidos urbanos é muito variável de comunidade para comunidade, mas, basicamente, os constituintes são os mesmos, tais como, matéria orgânica (frutas, legumes e sobras de alimentos), ossos, plásticos em geral (PET, PVC, etc.), borracha, vidros, madeira, papéis diversos (principalmente jornais, revistas e papelão), panos, couro, embalagens variadas, podas (folhas, galhos e capinação), metais ferrosos, metais não-ferrosos, entulhos (pedras, tijolos, restos de cerâmica, entre outros) e muitos outros materiais descartados pela sociedade moderna.

Geralmente, nos países em desenvolvimento, o percentual em peso, de matéria orgânica representa a maior parte da composição do lixo seguida, em ordem decrescente, por papel/papelão, plásticos, metais, vidros, têxteis e outros tipos de materiais. No Brasil a matéria orgânica é responsável por 52,5% da composição em peso e na Índia esse percentual responde por 75%. Em países desenvolvidos como, por exemplo, os EUA o percentual é de 26% ou de praticamente zero em países como Suécia e Japão (Brollo e Silva, 2002), isso ocorre, provavelmente, devido a grande incidência de alimentos semipreparados disponíveis no mercado consumidor desses países.

Um quadro comparativo da composição dos resíduos sólidos urbanos (em % relativo ao peso) em alguns países do mundo é mostrado na **tabela 02** e ilustrado no **gráfico 03**.

Zveibil (2001) agrupam os entulhos de obra, pilhas e baterias, lâmpadas fluorescentes e pneus em uma categoria à parte e classifica-os como *resíduos sólidos domiciliares especiais*.

A indústria da construção civil é a que mais explora os recursos naturais e a que mais gera resíduos, sendo responsável por algo em torno de 50% da quantidade em peso de resíduos sólidos urbanos coletados em cidades com mais de 500.000 mil habitantes.

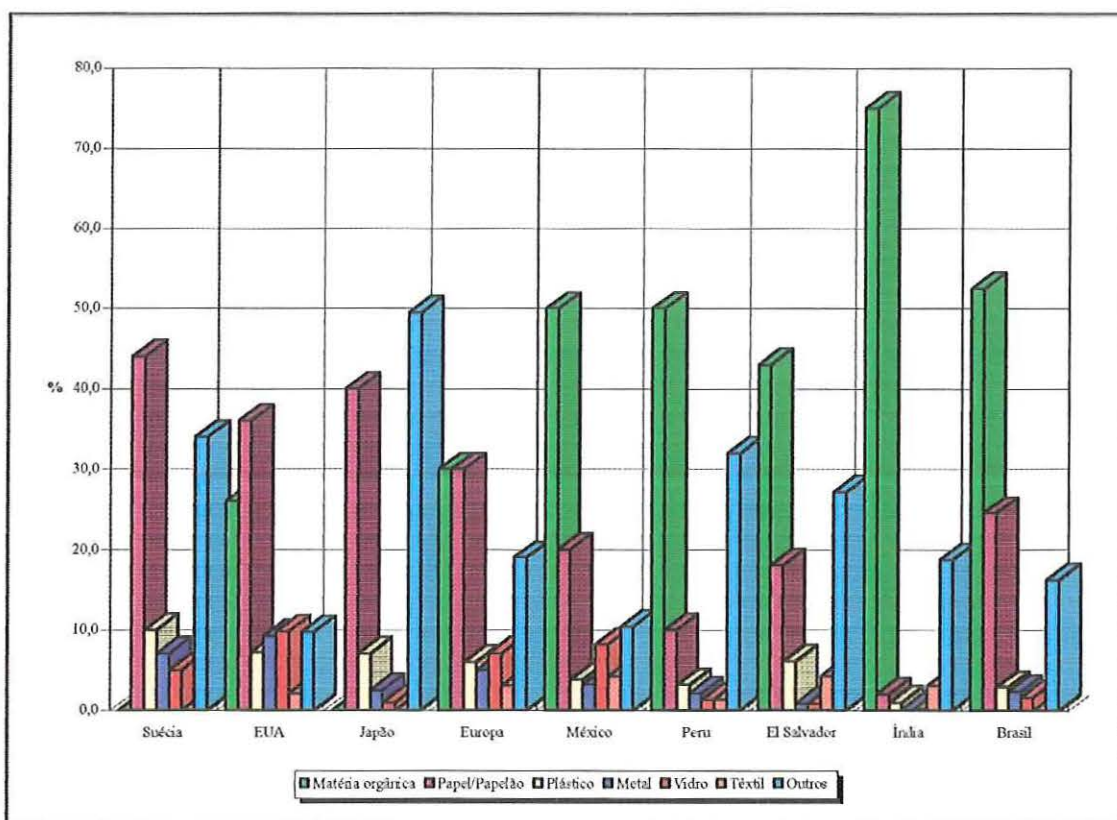
As pilhas e baterias contêm substâncias com metais como chumbo (Pb), cádmio (Cd), mercúrio (Hg), níquel (Ni), prata (Ag), lítio (Li), zinco (Zn) e manganês (Mn) as quais apresentam características de corrosividade, reatividade e toxicidade e são

classificadas como resíduos *Classe I* pela **NBR 10004/1997**, provocando impactos negativos sobre o meio ambiente, inclusive no próprio ser humano.

O mercúrio, por sua vez, é considerado resíduo *Classe I* devido a sua toxicidade e está presente nas lâmpadas fluorescentes. Ao serem quebradas, queimadas ou enterradas, liberam um pó que contém mercúrio (Hg) e, quando lançados no meio ambiente, acabam, bioacumulando nos organismos vivos.

**Tabela 02:** Composição dos resíduos sólidos urbanos (em % relativo ao peso) em alguns países do mundo (adaptado de **Phillip Jr, 1999** apud **Brollo e Silva, 2002**).

País	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
Europa	30,0	30,0	6,0	5,0	7,0	3,0	19,0
México	50,0	20,0	3,8	3,2	8,2	4,2	10,4
Peru	50,0	10,0	3,2	2,1	1,3	1,4	32,0
El Salvador	43,0	18,0	6,1	0,8	0,8	4,2	27,1
Índia	75,0	2,0	1,0	0,1	0,2	3,0	18,7
Brasil	52,5	24,5	2,9	2,3	1,6	-	16,2



**Gráfico 03:** composição dos resíduos sólidos urbanos (em % relativo ao peso) em alguns países do mundo

A presença de pneus é um outro fator preocupante, pois formam ocos na massa de resíduos aterrados provocando instabilidade nos aterros e, quando deixados em ambiente aberto, favorecem a proliferação de mosquitos vetores de doenças. A queima a céu aberto, inclusive em incineradores, resulta na geração de materiais particulados e gases tóxicos.

Vários fatores contribuem para a diversificação da composição dos resíduos sólidos urbanos. Entre esses fatores, os principais são (Sartori, 1995; Bidone e Povinelli, 1999; Pereira Neto, 1999; Consoni et al., 2000a):

- **características da cidade:** industrial, turística ou comercial, por exemplo, apresentam composições diferentes de lixo coletado;
- **números de habitantes do município:** geralmente, quanto maior o número de habitantes, maior será a quantidade de lixo gerada e, conseqüentemente, maior será a diversidade em sua composição;
- **hábitos e costumes da sociedade:** hábitos alimentares, por exemplo, contribuem na diversidade da parcela orgânica do lixo. Datas comemorativas, como Natal e Ano Novo, ocasionam aumento no teor de embalagens (latas, vidros, plástico, papel);
- **poder aquisitivo da população:** o aumento do poder aquisitivo implica na redução da matéria orgânica e um aumento na quantidade de plásticos, papéis e metais presentes no lixo;
- **fatores climáticos e estação do ano:** no outono, por exemplo, há um aumento do teor de folhas e no verão o teor de embalagens de bebidas (latas de alumínio, vidros e plásticos) aumentam;
- **nível educacional e cultural:** sociedades com um maior nível educacional e cultural e, geralmente, mais conscientes dos problemas provocados pelo aumento da geração de resíduos sólidos, tendem a reduzir a quantidade de lixo, seja pela reciclagem ou reaproveitamento;
- **eficiência dos serviços de coleta:** uma menor eficiência nos serviços de coleta induz a comunidade a queimar ou descartar seu lixo em terrenos baldios.

Ambientalmente, a melhor solução em relação ao destino final dos resíduos sólidos urbanos é a reciclagem e compostagem dos materiais passíveis desses

tratamentos, porém, a solução mais econômica tem recaído sobre a construção de aterros sanitários ou, na pior das hipóteses, na disposição a céu aberto.

#### *b) Resíduos sólidos industriais*

Os **resíduos industriais comuns**, de acordo com as **NBR 8418/1984**, são: “*resíduos sólidos e semi-sólidos industriais que admitem destinação similar à dos resíduos sólidos urbanos*”. A mesma norma define **resíduos industriais perigosos** como sendo: “*todos os resíduos sólidos, semi-sólidos e líquidos não passíveis de tratamento convencional, resultantes da atividade industrial e do tratamento de seus afluentes que, por suas características, apresentam periculosidade efetiva ou potencial à saúde humana ou ao meio ambiente, requerendo cuidados especiais quanto ao acondicionamento, coleta, transporte, armazenamento, tratamento e disposição*”.

Os resíduos sólidos industriais são muitos variados e apresentam composição e características diversificadas, pois dependem do tipo de produto manufaturado e, portanto, devem ser estudados caso a caso.

A classificação desses resíduos deve seguir rigorosamente a **NBR 10.004/1987**, pois a maior parte é considerada *Classe I – perigoso*. Porém, nem todas as indústrias produzem resíduos que se enquadrem com as características de periculosidade.

Posteriormente aos procedimentos que levam a classificação, adquire fundamental importância a caracterização física e química dos resíduos sólidos industriais (**Bidone e Povinelli, 1999**). Sua finalidade é nortear a elaboração de programas de minimização, acondicionamento seguro, coleta, transporte, tratamento e disposição final dos resíduos.

Os programas de minimização envolvem a redução nas fontes geradoras e reciclagem de resíduos, mas também está diretamente relacionada ao custo final do produto recuperado, isto é, se este for uma alternativa economicamente mais viável do que transportar, tratar ou dispor adequadamente os resíduos.

#### *c) Resíduos sólidos de serviços de saúde*

A **NBR 8419/1992** define dois tipos de resíduos hospitalares: assépticos e sépticos. Os resíduos hospitalares assépticos, de acordo com a referida norma, são aqueles *que admitem destinação similar a dos resíduos sólidos urbanos*. Os resíduos hospitalares sépticos, por sua vez, são aqueles *que requerem condições especiais quanto*

*ao acondicionamento, coleta, transporte e disposição final por apresentarem periculosidade real ou potencial à saúde humana.*

Uma norma mais específica, a **NBR 12.808/1993 – Resíduos de Serviço de Saúde – Classificação**, conceitua resíduos de serviço de saúde como *resíduos resultantes das atividades exercidas por estabelecimento gerador*. Complementarmente foi estabelecido serviço de saúde como *estabelecimento gerador destinado à prestação de assistência sanitária à população*.

A denominação mais aceita é resíduos de serviço de saúde, pois engloba todos resíduos produzidos nesses estabelecimentos, inclusive os hospitalares sépticos e assépticos, evitando uma generalização e interpretação errônea do termo resíduos hospitalares.

A comunidade científica, atualmente, aceita que os resíduos sólidos de serviço de saúde representam risco potencial em três níveis (**Bidone e Povinelli, 1999**):

- *À saúde de quem manipula esses resíduos*: ferimentos com dispositivos perfurantes ou cortantes (por exemplo, agulhas e bisturis) após uso e mau condicionamento, contato com sangue contaminado, aspiração de aerodispersóides;
- *Aumentando a taxa de infecções hospitalares*: em pesquisa realizada no Estado de São Paulo, 10% dos casos de infecção hospitalares são resultantes do mau gerenciamento dos resíduos;
- *Impactando o meio ambiente*: a disposição inadvertida a céu aberto ou em locais inadequados provoca a proliferação de vetores e, conseqüentemente, a disseminação de doenças com agravos à saúde pública, contaminação de águas superficiais e subterrâneas.

Um fator preocupante é a separação dos resíduos de serviço de saúde durante sua geração. Esses resíduos serão, obrigatoriamente, acondicionados separadamente dos resíduos comuns evitando, com essa medida, a contaminação da mistura e aumento da massa potencialmente infectante.

Pelos critérios da **NBR 10.004/1987**, os resíduos sólidos de serviço de saúde são classificados como resíduos *Classe I – perigosos*, pois possuem propriedades infecto-contagiosas que representam risco à saúde humana e ao meio ambiente, além de

apresentarem uma das cinco características que definem a periculosidade de um resíduo sólido: a patogenicidade.

A ABNT, com a finalidade de auxiliar a classificação dos resíduos de serviço de saúde, elaborou a **NBR 12.808/1993** e dividiu os resíduos em três classes distintas: *Classe A – Resíduos infectantes* (com seis subdivisões), *Classe B – Resíduos especiais* (com três subdivisões) e *Classe C – Resíduos comuns*, como representado na **tabela 03**.

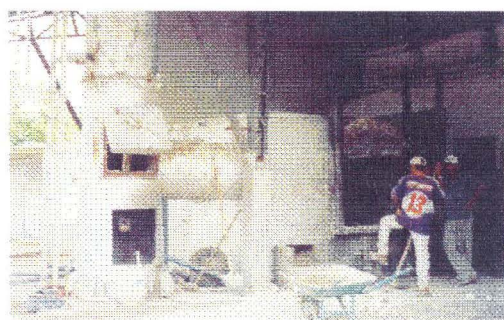
Os resíduos de serviço de saúde *Classe C*, ou resíduos hospitalares assépticos, recebem a mesma destinação dos resíduos sólidos urbanos.

Os resíduos *classe B.1*, rejeitos radioativos, deverão seguir a resolução **CNEN nº 6/73** para seu correto acondicionamento, coleta, transporte, tratamento e disposição final.

Os demais resíduos, em relação ao tratamento e disposição final, seguirão a resolução **CONAMA nº 005** que proíbe a disposição *in natura* e recomenda um dos seguintes métodos de tratamento: esterilização a vapor ou incineração (vide **figuras 02 e 03**).



**Figura 02:** contêineres de resíduos de serviço de saúde



**Figura 03:** incinerador de São Carlos (desativado em 2003)

Tabela 03: Classificação dos resíduos de serviço de saúde

NBR 12.808/1993 – Resíduos de serviço de saúde – Classificação		
<i>Tipo</i>	<i>Nome</i>	<i>Características</i>
<b>Classe A – Resíduos infectantes</b>		
<i>A.1</i>	Biológicos	Cultura, inóculo, mistura de microrganismos e meio de cultura inoculado proveniente de laboratório clínico ou de pesquisa, vacina vencida ou inutilizada, filtro de gases aspirados de áreas contaminadas por agentes infectantes e qualquer resíduo contaminado por estes materiais.
<i>A.2</i>	Sangue e hemoderivados	Sangue e hemoderivados com prazo de validade vencido ou sorologia positiva, bolsa de sangue para análise, soro, plasma e outros subprodutos.
<i>A.3</i>	Cirúrgicos, anatomopatológicos e exsudato	Tecido, órgão, feto, peça anatômica, sangue e outros líquidos orgânicos resultantes de cirurgia, necropsia e resíduos contaminados por estes materiais.
<i>A.4</i>	Perfurantes e cortantes	Agulha, ampola, pipeta, lâmina de bisturi e vidro.
<i>A.5</i>	Animais contaminados	Carcaça ou parte de animal inoculado, exposto a microrganismos patogênicos, ou portador de doenças infecto-contagiosas, bem como resíduos que tenham estado em contato com estes.
<i>A.6</i>	Assistência a pacientes	Secreções e demais líquidos orgânicos procedentes de pacientes, bem como os resíduos contaminados por estes materiais, inclusive restos de refeições.
<b>Classe B – Resíduos especiais</b>		
<i>B.1</i>	Rejeitos radioativos	Material radioativo ou contaminado com radionuclídeos, proveniente de laboratório de análises clínicas, serviços de medicina nuclear e radioterapia.
<i>B.2</i>	Resíduos farmacêuticos	Medicamento vencido, contaminado, interdito ou não utilizado.
<i>B.3</i>	Resíduos químicos perigosos	Resíduo tóxico, corrosivo, inflamável, explosivo, reativo, genotóxico ou mutagênico.
<b>Classe C – Resíduos comuns</b>		
<i>C</i>	Resíduos comuns	São todos aqueles que não se enquadram nas classificações Classe A e B e que, por sua semelhança com os resíduos domésticos, não oferecem risco à saúde pública.

Fonte: adaptado de Zveibil, 2001

## **2.2. Principais formas de disposição final e tratamento dos resíduos sólidos**

### **2.2.1. Lixão**

É uma forma inadequada de disposição final dos resíduos sólidos urbanos os quais são simplesmente descarregados sobre o solo, sem nenhuma medida de proteção ambiental ou a saúde pública. Também é denominado de lançamento a céu aberto, aterro comum ou vazadouro.

Este meio de disposição polui os solos, contamina as águas superficiais e subterrâneas através dos líquidos percolados (mistura de chorume – líquido resultante da decomposição da matéria orgânica presente no lixo – com as águas pluviais), provoca um aumento de vetores (moscas, mosquitos, baratas e ratos) e gera maus odores.

Além dos problemas ambientais e sanitários, os lixões também se constituem em um sério problema social, pois atraem catadores, indivíduos que fazem do lixo um meio de sobrevivência, muitas vezes permanecendo na área e formando, inclusive, pequenas comunidades (vide **figura 04**).

Infelizmente essa forma de disposição no solo é predominante nos países em desenvolvimento, inclusive no Brasil, mas este quadro tende a mudar com a crescente preocupação ambiental.



**Figura 04:** Lixão de Ibiúna/SP – presença de catadores e proximidade com núcleos urbanos

### **2.2.2. Aterro controlado**

A NBR 8849/1985 – **Apresentação de projetos de aterros controlados de resíduos sólidos urbanos**, define aterro controlado como sendo uma “*técnica de*

*disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos ou riscos a saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos, cobrindo-os com uma camada de material inerte na conclusão de cada jornada de trabalho”.*

É uma solução compatível, porém, ainda inadequada, adotada para os pequenos municípios no que se refere, principalmente, ao aspecto econômico, pois, nesta forma de disposição são dispensados equipamentos compactadores e algumas técnicas de proteção ambiental, como impermeabilização de base e sistemas de tratamento de percolados que oneram o custo da obra.

Os aterros controlados causam poluição, porém, localizada e contaminam, principalmente, as águas subterrâneas, apesar disso é uma técnica preferível ao lixão.

### **2.2.3. Aterro sanitário**

A definição da ABNT (NBR8419/1992 – **Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos**) para aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos é: *“técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos/industriais no solo, sem causar danos ou riscos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos a menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho ou a intervalos menores, se for necessário”.*



**Figura 05:** Aterro sanitário de São Carlos/SP

Impermeabilização de base e laterais, cobertura diária dos resíduos, sistemas de coleta e tratamento dos líquidos percolados, queima dos gases produzidos e drenagem e afastamento das águas precipitadas sobre a área do aterro são as principais técnicas utilizadas que caracterizam um aterro sanitário e os diferenciam dos aterros controlados.

Nas últimas duas décadas, o uso de aterros sanitários (**figura 05 e 06**), como forma de disposição dos resíduos sólidos urbanos, tem sido a principal solução adotada pelos municípios brasileiros e, principalmente, pelos países em desenvolvimento.



Figura 06: Aterro sanitário de Guarulhos/SP

A **figura 07** ilustra o esquema de funcionamento de um aterro sanitário ambientalmente seguro.



Figura 07: Esquema de funcionamento ideal de um aterro sanitário  
(fonte: <http://www.quercus.pt>)

### 2.2.3.1. Vantagens e desvantagens de aterros sanitários

Como qualquer outra atividade ou tecnologia, o uso de aterros sanitários apresenta vantagens e desvantagens. Segundo **Schalch et al. (2000)**, as vantagens são:

- os equipamentos utilizados são os mesmos de serviços de terraplanagem, diminuindo os custos e simplificando as operações no aterro;

- possibilitam a recuperação de áreas topograficamente inutilizadas como as áreas exploradas pela indústria de mineração;
- controlam a proliferação de vetores, tais como ratos e artrópodes, através da cobertura diária dos resíduos;
- simplicidade operacional, dispensando mão-de-obra especializada e, conseqüentemente, menor gasto;
- possibilitam a disposição de lodos provenientes de ETAs e ETEs, desde que previamente secos para não aumentarem a taxa de produção de percolado;
- os custos de implantação, geralmente, são inferiores aos das usinas de compostagem e das instalações de incineração.

Entre as desvantagens, os mesmos autores citam:

- possível necessidade de transporte a longa distância, quando não houver áreas adequadas à disposição dos resíduos próximas do centro gerador;
- requer áreas cada vez maiores em conseqüência do maior consumo de bens industrializados e do crescimento da população que ocasionam aumento na geração de resíduos;
- desvalorização imobiliária das áreas próximas ao aterro, ocasionada pelos possíveis efeitos adversos à saúde humana;
- produção de águas residuárias (líquidos percolados), o qual é um potencial poluidor do solo e dos recursos hídricos;
- quando planejado ou operado de forma inadequada, podem provocar impactos negativos à saúde humana e ao meio ambiente;
- a operação sofre interferência das condições climáticas, principalmente em épocas de chuvas intensas;
- necessidade de jazidas abundantes de solo, nas imediações do aterro, ideal para material de cobertura;
- requer longo período para estabilização do solo e da massa dos resíduos, pois, mesmo após o fechamento do aterro, as atividades de decomposição dos resíduos persistem por várias décadas;
- produção de ruídos e poeiras durante a fase de execução e operação, trazendo incômodos as comunidades próximas ao aterro.

### 2.2.3.2. Métodos de operação de aterros sanitários

O aterramento dos resíduos sólidos urbanos é executado por umas das três formas tradicionalmente empregadas: método da trincheira, método da rampa ou método da área. A opção por um método ou outro é em função das características físicas e geográficas da área e da quantidade de lixo a dispor.

#### a) Método da trincheira

O método da trincheira, também conhecido como método da vala (**figura 08**), consiste na abertura de valas nas quais são depositados os resíduos e, posteriormente, são recobertos diariamente com o material resultante da escavação.

É indicado, preferencialmente, para locais planos ou levemente inclinado e quando a produção diária de lixo não ultrapassa 10 toneladas, ou seja, é um método recomendado para pequenas comunidades que não ultrapassem os 20.000 habitantes e que não possuem recursos suficientes para arcar com equipamentos apropriados para um aterro convencional.

Em função da morfologia do local do aterro e da forma de operação que se deseja dispensar ao mesmo, pode também ser uma solução às grandes comunidades geradoras de lixo.

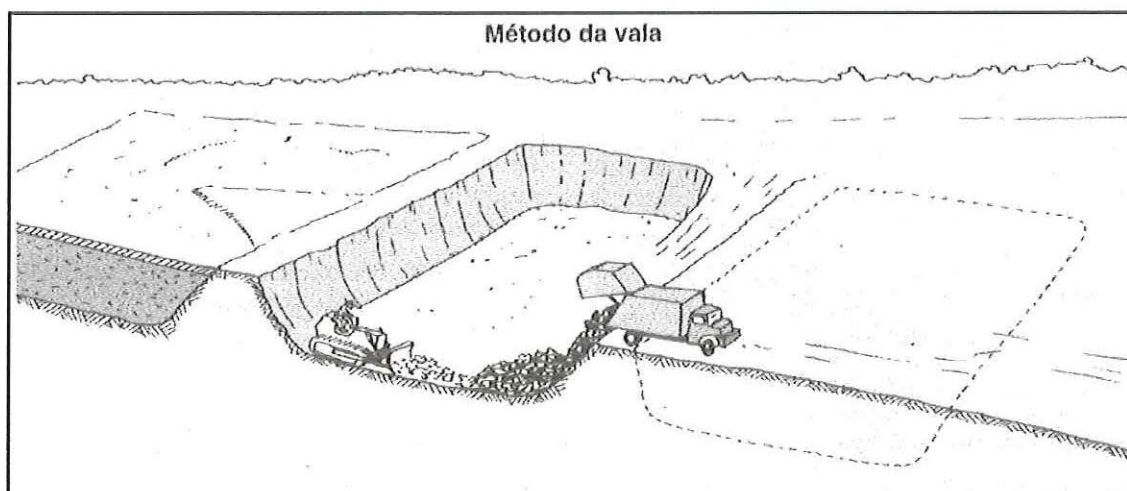
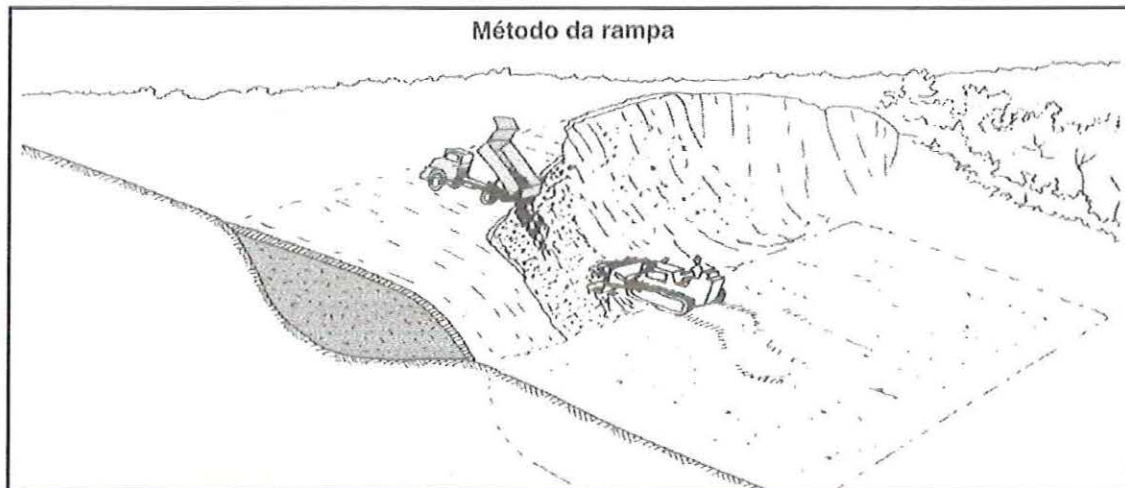


Figura 08: método da vala (fonte: Consoni et. al, 2000b)

#### b) Método da rampa

Este método, também denominado método da escavação progressiva ou da meia encosta, é ideal para locais bem drenados e de encostas, onde o solo ofereça boas condições para ser escavado e utilizado como material de cobertura.

A operação fundamenta-se na disposição e compactação, em várias camadas, dos resíduos contra uma rampa, ou encosta, e recobrimento com solo local ao final de cada dia de operação, formando as células de aterro (**figura 09**).

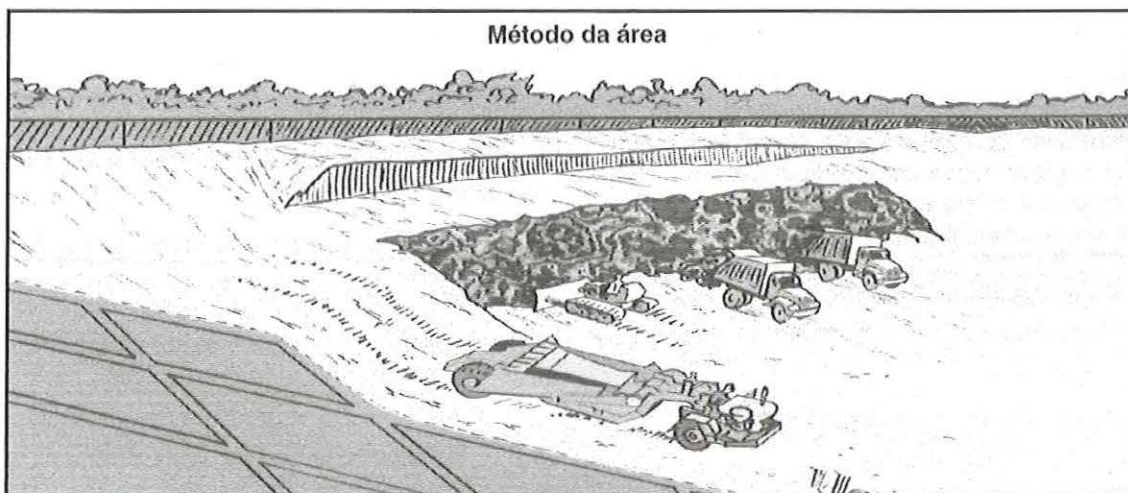


**Figura 09:** método da rampa (fonte: Consoni et. al, 2000b)

### *c) Método da área*

Recebe também o nome de aterro tipo superficial e é utilizado, geralmente, em locais de lençol freático raso e topografia plana, onde os resíduos possam ser confinados sem a alteração da configuração original do terreno.

O método da área consiste em dispor e compactar os resíduos de modo que formem uma elevação tronco-piramidal. Essas elevações recebem recobrimento com solo ao final de cada dia de operação (**figura 10**).



**Figura 10:** método da área (fonte: Consoni et. al, 2000b)

### 2.2.3.3. Elementos de proteção ambiental de um aterro sanitário

Nos projetos de aterros sanitários (figura 11), deverão ser previstos os seguintes elementos de proteção ambiental (Consoni et al., 2000b; Melo, 2001; Schalch et al., 2000; Zveibil, 2001):

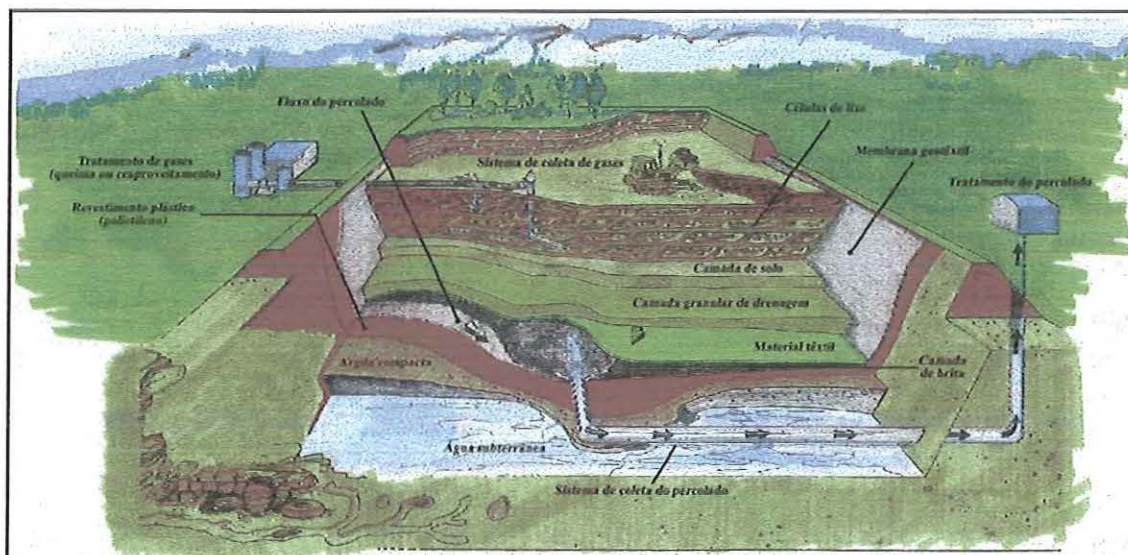


Figura 11: Sistemas de proteção de um aterro sanitário (fonte: [www.oclanfill.com](http://www.oclanfill.com))

#### a) Sistema de drenagem de águas pluviais

Esse sistema tem por finalidade minimizar o escoamento superficial das águas pluviais precipitadas sobre o aterro, principal responsável pelo aumento no volume dos líquidos percolados, durante e após sua vida útil, evitando, desse modo, sua infiltração pela massa dos resíduos.

As águas pluviais são captadas por estruturas drenantes de meias canas de concreto (canaletas) associadas a escadas d'água e tubos de concreto.

As estruturas de drenagem deverão captar:

- as águas precipitadas a montante da área do aterro, evitando o seu escoamento através desta área;
- as águas que precipitam sobre a área do aterro, durante sua fase de operação, evitando que elas percolem através dos resíduos e
- as águas que precipitam sobre o aterro concluído evitando, assim, sua infiltração na massa dos resíduos.

Toda água captada será, obrigatoriamente, desviada para fora da área do aterro e jamais deverá ser misturada ao sistema de coleta, drenagem e tratamento dos líquidos percolados.

**b) Sistema de impermeabilização de base e laterais**

O sistema de impermeabilização de bases e laterais tem a finalidade de proteger a fundação do aterro, evitando a contaminação do solo e dos aquíferos pelos líquidos percolados e biogás.

Um sistema de impermeabilização deve apresentar as seguintes características (Consoni et al, 2000b):

- *estanqueidade* para que o líquido percolado não entre em contato com o solo natural;
- *durabilidade*, isto é, a impermeabilização deverá manter suas características originais mesmo após o encerramento do aterro;
- *resistência mecânica*, em outras palavras, deverá suportar as tensões devido as atividades de instalação e operação do aterro;
- *resistência as intempéries*, no caso de aterros, a umidade e as variações de temperatura;
- *compatibilidade com os resíduos a serem aterrados*, de modo que as propriedades químicas do material utilizado como camada impermeabilizante não sofra alterações que comprometam sua resistência e durabilidade.

A ABNT, através da **NBR 13896/1997 – Aterros de resíduos não perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação**, recomenda a existência, no local, de um depósito natural extenso e homogêneo de materiais com coeficientes de permeabilidade inferior a  $10^{-6}$  cm/s e uma zona não saturada com espessura inferior a 3,0m. No caso das condições hidrogeológicas não atenderem essas especificações, a mesma norma aconselha a implantação de camada impermeabilizante:

- construída com materiais de propriedades químicas compatíveis com o resíduo, com suficiente espessura e resistência, de modo a evitar rupturas devido as pressões hidrostáticas e hidrogeológicas, contato físico com o

líquido percolado ou resíduo, condições climáticas e tensões da instalação da impermeabilização ou aquelas originárias da operação diária;

- colocada sobre uma base ou fundação capaz de suportá-la, bem como resistir aos gradientes de pressão acima e abaixo da impermeabilização, de forma a evitar sua ruptura por assentamento, compressão ou levantamento do aterro;
- instalada de forma a cobrir toda a área, de modo que o resíduo ou o líquido percolado não entre em contato com o solo natural.

Entre os materiais comumente empregados em impermeabilização destacam-se as argilas compactadas e as geomembranas sintéticas (**figura 12 e 13**) como os mais indicados para emprego em aterros industriais.



**Figura 12:** Impermeabilização de base e laterais (aterro de São Carlos/SP)



**Figura 13:** Impermeabilização lateral (aterro de São Carlos/SP)

### *c) Sistema de cobertura*

O sistema de cobertura (diária, intermediária e final) tem a função de (**Consoni et al, 2000b**):

- proteger a superfície das células de lixo (minimizando impactos ao meio ambiente);
- eliminar proliferação de vetores;
- diminuir a taxa de formação de percolados;
- reduzir a exalação de odores;
- impedir a catação;
- permitir o tráfego de veículos coletores sobre o aterro;
- eliminar a queima de resíduos e saída descontrolada de biogás.

A cobertura diária ou intermitente deve ser realizada após o término de cada jornada de trabalho, com uma camada de cerca de 0,20m de solo.

A cobertura intermediária é necessária naqueles locais em que a superfície de disposição ficará inativa por períodos mais prolongados, cerca de um mês, aguardando, por exemplo, a conclusão de um patamar para início do seguinte.

No caso da cobertura final, o uso de proteção vegetal é recomendado, procurando-se integrar o empreendimento ao meio ambiente local. A instalação de vegetação sobre a camada de cobertura final é ainda importante por aumentar a evapotranspiração, diminuindo a quantidade de chuva que se infiltra e, conseqüentemente, a quantidade de percolado gerada.

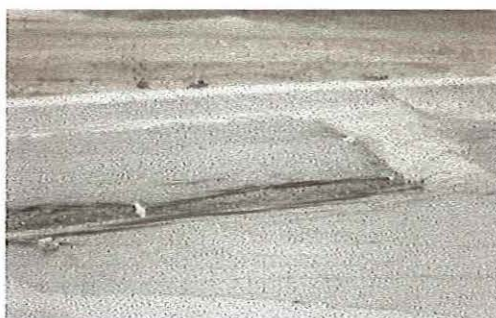
#### *d) Sistema de drenagem, coleta e tratamento de líquidos percolados*

Uma das formas de minimização do impacto ambiental causado por um aterro é a coleta e tratamento dos líquidos percolados.

Esta coleta poderá ser realizada através de drenos de brita (**figura 14**) com tubo guia, os quais conduzirão os líquidos percolados até as caixas de acumulação, de onde serão enviados, por gravidade, bombeamento direto ou em carros-tanque, a um sistema de tratamento adequado (**figura 15 e 16**).

A **NBR 13896/1997**, recomenda que o sistema de drenagem do aterro deve ser:

- instalado imediatamente acima da impermeabilização;
- dimensionado de forma a evitar a formação de uma lâmina de líquido percolado superior a 30cm sobre a impermeabilização;
- construído de material quimicamente resistente ao resíduo e ao líquido percolado, e suficientemente resistente as pressões originárias da estrutura total do aterro e dos equipamentos utilizados em sua operação;
- projetado e operado de forma a não sofrer obstruções durante o período de sua vida útil e pós-fechamento do aterro.

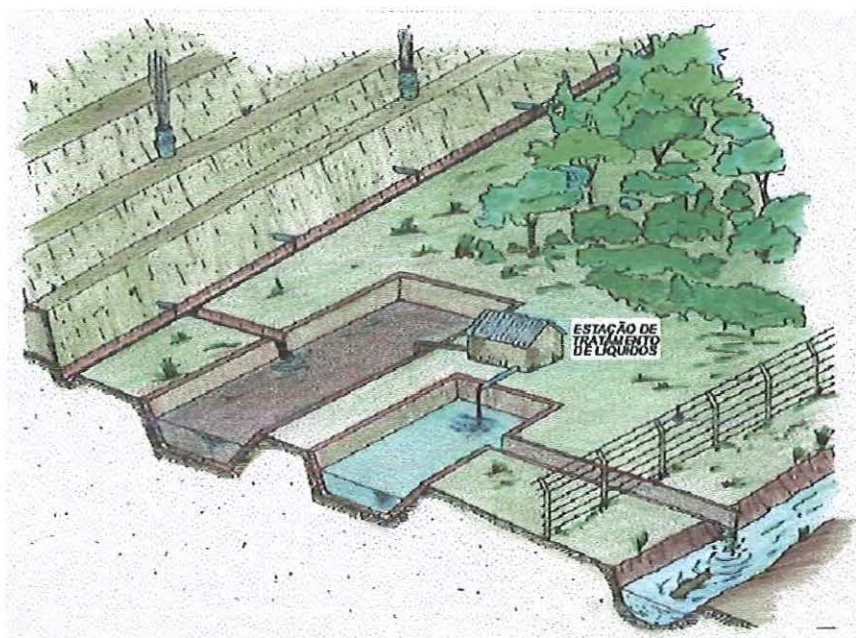


**Figura 14:** Sistema de drenagem (executado com brita) de líquidos percolados (aterro de São Carlos/SP)



**Figura 15:** Lagoa de estabilização para tratamento de líquidos percolados (aterro de São Carlos/SP)

As tecnologias de tratamento existentes envolvem tratamento físico-químico convencional, tratamento biológico, tratamento avançado (absorção em carvão ativo, stripping e outros) ou tratamento misto.



**Figura 16:** Coleta e tratamento de líquidos percolados  
(fonte: IPT, 1995)

De acordo com a **NBR 13896/1997**, o sistema de tratamento do líquido percolado deve:

- ser projetado, construído e operado de forma que seus afluentes atendam aos padrões de emissão e garantam a qualidade do corpo receptor;
- ter afluentes monitorados pelo menos quatro vezes ao ano.

De uma forma geral, para um bom funcionamento de um sistema de tratamento são necessários o conhecimento da vazão e a caracterização física, química e biológica do líquido a ser tratado.

#### ***e) Drenagem, coleta e tratamento de gases***

A ABNT, através da **NBR 13896/1997**, recomenda que todo aterro deve ser projetado de maneira a minimizar as emissões gasosas e promover a captação e tratamento adequado das eventuais emanções.

A decomposição da matéria orgânica em meio anaeróbio produz, principalmente, gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) e metano ( $\text{CH}_4$ ). Há, ainda, as reações entre resíduos incompatíveis, e que foram inadvertidamente dispostos em conjunto, gerando gases tóxicos.

Estes gases podem migrar através dos meios porosos que constituem o subsolo e os drenos de percolado atingindo, sob condições singulares, redes de esgoto, fossas e poços, causando sérios problemas, uma vez que, por exemplo, concentrações de metano entre 5% e 15% são explosivas.

Esta migração é controlada por meio de execução de uma rede adequada de drenagem, constituída, via de regra, por drenos verticais colocados em pontos escolhidos no aterro.

Os drenos são formados por tubos perfurados colocados em uma camisa de brita e que atravessa todo o terreno no sentido vertical, desde o solo até a camada superior (figura 17). Seu dimensionamento depende da vazão de gás a ser drenada e da própria concepção do aterro.

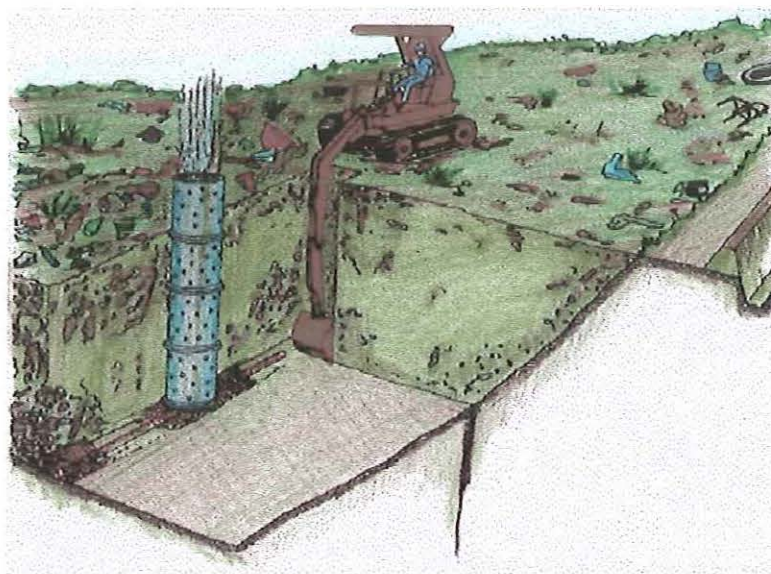


Figura 17: Instalação de drenos no aterro (fonte: IPT, 1995)

Recomenda-se que a distância entre os drenos esteja entre 30m a 70m e que os gases, se não forem aproveitados, sejam queimados, como ilustrado na figura 18 e 19.



Figura 18: Sistema de queima de gases (aterro de São Carlos/SP)



Figura 19: Dreno de gases executado em tela e brita (aterro de Guarulhos/SP)

*f) Sistema de detecção de vazamentos através das camadas de impermeabilização*

Os sistemas de detecção de vazamentos através das camadas de impermeabilização são constituídos por drenos testemunhas e poços de inspeção.

Os drenos testemunhas são estruturas drenantes posicionadas sob as camadas de impermeabilização, com o objetivo de detectar possíveis vazamentos através das mesmas, possibilitando a execução de reparos.

As estruturas drenantes mais comumente empregadas para este fim são colchões de areias, como drenos de superfície, e os drenos de brita com tubo guia, como drenos lineares, os quais conduzirão os líquidos provenientes de eventuais vazamentos até poços de inspeção.

O sistema de drenos testemunhas deve ser setorizado para facilitar a identificação dos pontos onde ocorrem problemas no sistema de impermeabilização.

Quando houver a presença de líquido no sistema de detecção, a **NBR 13896/1997** recomenda que o responsável deve:

- notificar o órgão de controle ambiental (OCA) dentro de sete dias ao aparecimento do problema;
- analisar a qualidade deste efluente;
- remover, tratar, se for o caso, e dispor o líquido acumulado;
- diminuir a níveis aceitáveis o fluxo de líquido percolado, através da recuperação da impermeabilização ou de outras medidas equivalentes.

**g) Sistema de monitoramento**

O monitoramento de um aterro sanitário tem por finalidade detectar, em estágio inicial, os impactos negativos provocados por falhas nos sistemas de proteção ambiental de um aterro sanitário permitindo, assim, a adoção de medidas mitigadoras antes que o problema assuma grandes dimensões, tornando onerosa e difícil sua correção.

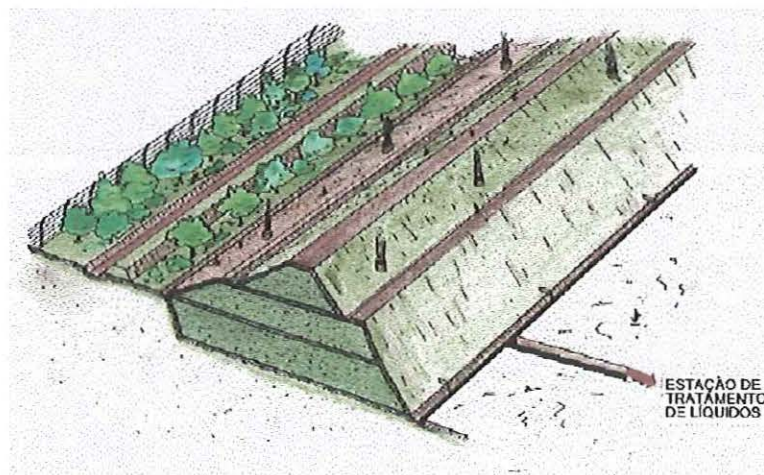
De modo geral, o programa de monitoramento prevê estudos dos aspectos geotécnicos e ambientais na área do aterro e em seu entorno.

O monitoramento geotécnico envolve:

- controle de deslocamentos horizontais e verticais;
- controle do nível de percolado e pressão de biogás no corpo do aterro;
- controle da descarga de percolado através dos drenos;
- inspeções periódicas, buscando-se indícios de erosão, trincas, entre outros.

O sistema de monitoramento ambiental, como o exemplo ilustrado na **figura 20**, por sua vez, consiste em:

- controle da qualidade das águas superficiais e subterrâneas;
- controle da qualidade do ar;
- controle da poluição do solo;
- controle de insetos e vetores de doenças;
- controle de ruídos e vibração;
- controle de material esvoaçante e poeira;
- controle de impactos visuais negativos.



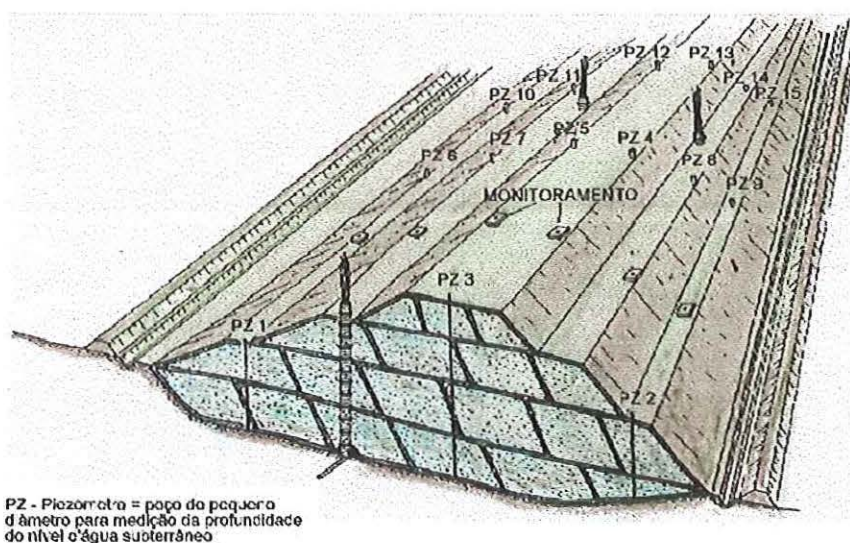
**Figura 20:** Arborização em torno do aterro como forma de reduzir a poluição em suas mais diversas formas (fonte: IPT, 1995)

As medidas preventivas para proteção ambiental começam antes mesmo dos resíduos serem aterrados. A **NBR 13896/1997** aconselha a análise freqüente dos resíduos para determinar suas propriedades físicas e químicas para seu correto manuseio e disposição. Para isso, a amostragem dos resíduos deverá seguir as recomendações da **NBR 10007/1987**.

A maior preocupação nos aterros sanitários, entretanto, reside na produção dos líquidos percolados sendo este alvo principal dos programas de monitoramento ambiental. O acompanhamento da qualidade das águas superficiais e subterrâneas ao redor do aterro visa avaliar alterações provocadas pela contaminação por líquidos percolados nos cursos d'água a montante e a jusante da obra, estabelecendo-se comparações entre as características físicas, químicas e biológicas destas.

A perfuração de poços de monitoramento constitui um método direto para fins de controle da qualidade das águas subterrâneas. A **NBR 13895/1997 – Construção de poços de monitoramento e amostragem** – recomenda a construção de um ou mais poços, no sentido do fluxo de escoamento preferencial do lençol freático, a montante, para avaliar a qualidade original da água, e quatro a jusante, para detectar possíveis contaminações. O monitoramento deverá ser realizado pelo menos a cada três meses, durante toda a vida útil do aterro. Mesmo após o fechamento, a qualidade das águas subterrâneas continuará a ser monitorada.

A instalação de piezômetros (**figura 21**), medidores de deslocamentos verticais/horizontais, inclinômetros, perfilômetros e medidores de vazão complementam os procedimentos para monitoramento ambiental e geotécnico de um aterro sanitário.



**Figura 21:** Instalação de piezômetros em um aterro sanitário (fonte: IPT, 1995)

#### **2.2.3.4. Aspectos técnicos e ambientais considerados na seleção de áreas para aterro sanitário**

A ABNT, por meio da **NBR 13896/1997 – Aterros de resíduos sólidos não perigosos – Critérios para projeto implantação e operação**, considera quatro critérios básicos para a instalação de um aterro sanitário. São eles:

- o impacto ambiental a ser causado pela instalação do aterro seja minimizado;
- a aceitação da instalação pela população seja maximizada;
- esteja de acordo com o zoneamento da região;
- possa ser utilizado por um longo espaço de tempo, necessitando apenas de um mínimo de obras para o início da operação.

A mesma norma sugere diversas considerações técnicas para a avaliação de adequabilidade de um local aos critérios acima descritos, entre elas:

- **Topografia:** considerado fator determinante na escolha do método construtivo e nas obras de terraplenagem. A declividade recomendada deverá estar entre 1% a 30%;
- **Geologia e tipos de solos existentes:** importante na determinação da capacidade de depuração do solo e da velocidade de infiltração. Recomenda-se um depósito natural extenso e homogêneo de materiais com coeficiente de permeabilidade inferior a  $10^{-6}$  cm/s e uma zona não saturada com espessura superior a 3,0m;
- **Recursos hídricos:** o aterro deverá manter uma distância mínima de 200 metros de qualquer coleção hídrica ou curso de água. A influência do aterro na qualidade e uso das águas superficiais e subterrâneas próximas deverá ser avaliada;
- **Vegetação:** o estudo macroscópico da vegetação é importante, uma vez que ela atua favoravelmente na redução do fenômeno de erosão, da formação de poeiras e no transporte de odores;
- **Acessos:** como são utilizados durante toda a operação de um aterro, é um fator de evidente importância;
- **Tamanho disponível e vida útil:** estes dois fatores estão inter-relacionados e recomenda-se projetos com vida útil mínima dez anos;
- **Custos:** os custos de um aterro têm grande variabilidade conforme o seu tamanho e o seu método construtivo. A elaboração de um cronograma físico-

financeiro é necessária para permitir a análise de viabilidade econômica do empreendimento;

- Distância mínima dos núcleos populacionais: a distância mínima recomendada entre o limite da área útil do aterro a núcleos populacionais é de 500 metros;

Além dessas recomendações, a ABNT acrescenta a obrigatoriedade dos seguintes critérios:

- o aterro não deve ser executado em áreas sujeitas a inundações, em período de recorrência de 100 anos;
- entre a superfície inferior do aterro e o mais alto nível do lençol freático deve haver uma camada natural de espessura mínima de 1,50 metros de solo insaturado. O nível do lençol freático deverá ser medido durante a época de maior precipitação pluviométrica da região;
- o aterro deve ser executado em áreas onde haja predominância no subsolo de material com coeficiente de permeabilidade inferior a  $5 \times 10^{-5}$  cm/s;
- os aterros só podem ser construídos conforme legislação local de uso do solo.

#### **2.2.4. Aterro industrial**

A definição da ABNT (NBR8418/1984 – **Apresentação de projetos de aterros de resíduos industriais perigosos**) para aterro de resíduos industriais perigosos (ARIP) é: *“técnica de disposição de resíduos industriais perigosos no solo, sem causar danos ou riscos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos a menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho ou a intervalos menores, se for necessário”*.

Segundo **Kataoka (2000)**, em países desenvolvidos como os EUA, Canadá, Reino Unido e Alemanha, é dada a denominação genérica de aterro sanitário para resíduos perigosos.

De um modo geral, o sistema de proteção de um aterro para resíduos sólidos perigosos segue os mesmos procedimentos válidos para um aterro de resíduos sólidos não-perigosos, sendo que a principal diferença entre esses dois tipos de aterros é que o

ARIP possui sistema duplo ou composto de revestimento de proteção de base do aterro com o objetivo de oferecerem maiores garantias de segurança. A **NBR 10157/1987 – Aterro de resíduos perigosos – Critérios para projeto, construção e operação** – descreve as recomendações relativas aos aterros industriais.

Os critérios para seleção e aprovação das áreas destinadas a este tipo de aterro são mais rigorosos, pois os riscos de poluição ao meio ambiente são muito grandes.

#### **2.2.5. Reciclagem**

A reciclagem é o resultado de uma série de atividades, nas quais materiais que se tornariam lixo, ou estão no lixo, são desviados, coletados, separados e processados para serem usados como matéria-prima na manufatura de novos produtos (**D’Almeida e Vilhena, 2000**).

Os benefícios trazidos pela reciclagem de materiais são vários, entre os principais (**Pereira Neto, 1999; D’Almeida e Vilhena, 2000**):

- minimização da quantidade de lixo a ser aterrado;
- preservação dos recursos naturais;
- redução da poluição (ar, solo e água);
- economia de energia;
- diminuição de impactos ambientais;
- geração de novos negócios e empregos.

Com a crescente preocupação ambiental, o aumento na geração de resíduos sólidos, a possível escassez de certos recursos naturais não-renováveis (petróleo, por exemplo) e a demanda cada vez maior da produção industrial, a solução encontrada foi o conceito dos 3R’s, ou seja, Reduzir, Reaproveitar e Reciclar, nessa ordem, pois o incentivo maior deverá ser dado a redução dos resíduos gerados.

A reciclagem do lixo urbano pode ser realizada de duas formas: coleta seletiva ou usinas de reciclagem. A primeira, a coleta seletiva, é um programa feito junto a comunidade em que o lixo é previamente separado, principalmente, em vidros, plásticos, metais e papel/papelão. Periodicamente são coletados e levados a uma central de reciclagem (dotada ou não de equipamentos eletromecânicos) onde são selecionados, classificados, acondicionados e enfardados. Por sua vez, as usinas de reciclagem são instalações eletromecanizadas destinadas a separarem do lixo bruto os materiais recicláveis. O sistema coleta seletiva/centros de triagem leva vantagem sobre as usinas

de reciclagem por oferecer melhor seleção dos materiais (melhor qualidade dos materiais), facilidade de controle de impactos ambientais, menor geração de rejeitos e menor área de implantação.

### 2.2.6. Usinas de compostagem

A compostagem nada mais é do que a decomposição biológica, em condições aeróbias (a mais adequada para tratamento de resíduos sólidos domiciliares) ou anaeróbias, da matéria orgânica animal e vegetal pelos microrganismos. Esse processo natural é muito utilizado na fabricação de húmus (adubo orgânico) para fins agrícolas.

Os povos da antiguidade, principalmente os orientais, faziam uso intensivo de compostos orgânicos na produção de cereais. As técnicas empregadas eram artesanais e fundamentava-se na formação de leiras ou montes de resíduos que ocasionalmente eram revolvidos. Após cessar o processo de fermentação, o composto resultante era incorporado ao solo para favorecer o crescimento dos vegetais (Lima, 1995). Centenas de anos depois, esse processo, artesanal, ainda é muito utilizado por pequenos produtores agrícolas.

Atualmente, com a tecnologia moderna, o processo de compostagem foi aprimorado, culminando nos sistemas de compostagem acelerada e nas usinas de compostagem, como ilustrado na **figura 22**, para aproveitamento da matéria orgânica presente no lixo municipal. No Brasil, o teor de matéria orgânica é responsável por 50% a 60%, em peso, do total de lixo coletado pelos municípios, mas, apesar disso, são poucas as usinas em funcionamento.

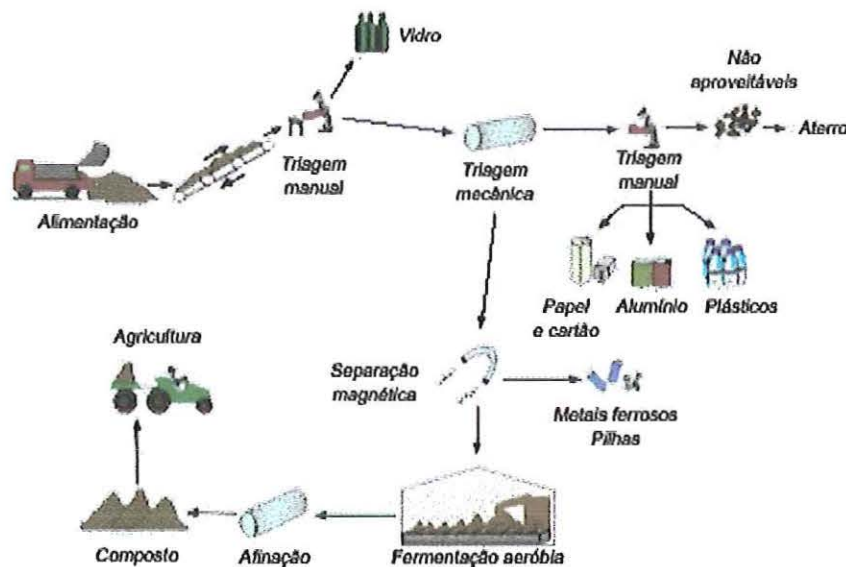


Figura 22: Esquema simplificado de processo de compostagem  
(fonte: <http://www.quercus.pt>)

Segundo **Pereira Neto (1999)**, mesmo sendo uma técnica antiga, paradoxalmente, é um dos processos cuja filosofia e cujos princípios estão entre os mais atualizados e de acordo com as exigências modernas. Trata-se de um processo nobre, visto que é comprometido com a proteção ambiental (tratamento dos resíduos contaminados, controle da poluição e reciclagem de materiais), com a saúde pública (quebra do ciclo evolutivo de várias doenças e eliminação de vetores) e com o resgate da cidadania (criação de empregos e incentivo de práticas agrícolas).

As usinas de compostagem deverão processar somente os resíduos sólidos domiciliares e comerciais (restaurantes, lojas e centros comerciais). Eventualmente podem processar podas de jardim, desde que devidamente trituradas (**D'Almeida e Vilhena, 2000**). Os resíduos resultantes da limpeza de feiras livres, em sua maior parte constituída de restos de vegetais, também poderão ser destinados às usinas de compostagem.

Basicamente, de acordo com **Zveibil (2001)**, o processo de compostagem aeróbia pode ser dividido em duas fases: bioestabilização e maturação. A primeira fase, a bioestabilização, caracteriza-se pela redução de temperatura da massa orgânica que, após ter atingido temperaturas de até 65°C, estabiliza-se a temperatura ambiente. Esta fase dura cerca de 45 dias em sistemas de compostagem acelerada e 60 dias nos processos de compostagem natural. A segunda fase, a maturação, dura mais 30 dias e é nela que ocorre a humificação e a mineralização da matéria orgânica.

O composto resultante pode ter diversas aplicações e usos, entre eles: horticultura, fruticultura, geração de grãos, parques, jardins e playgrounds, projetos paisagísticos, reflorestamento, geração de mudas, recuperação de solos esgotados, controle de erosão, cobertura de aterros, proteção de encostas e taludes e outros (**Pereira Neto, 1999**).

No uso agrícola, o composto traz benefícios como melhoria da estrutura do solo, aumento na capacidade de absorção de água, ativação substancial da vida microbiana, aumento na disponibilização de macro e micronutrientes, melhor aeração do solo, melhor aproveitamento dos fertilizantes minerais, aumento da estabilidade do pH e efeito controlador sobre doenças e pragas de plantas (**Bidone e Povinelli, 1999**).

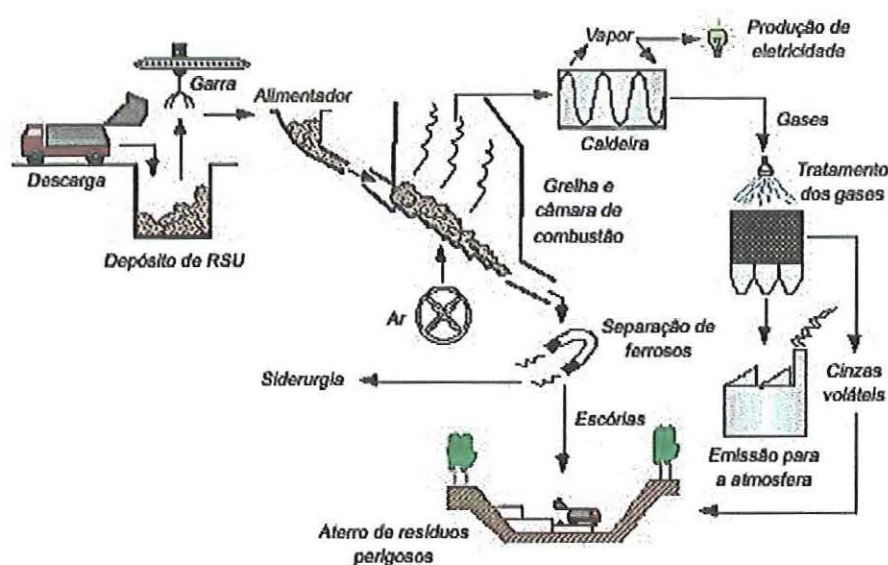
**D'Almeida e Vilhena (2000)** citam os benefícios trazidos pela compostagem, entre eles: redução de cerca de 50% a 60% do lixo destinado ao aterro (correspondente a parcela orgânica), economia de aterro, aproveitamento agrícola da matéria orgânica,

reciclagem de nutrientes para o solo, processo ambientalmente seguro, eliminação de patógenos e economia de tratamento de efluentes (relativo ao chorume, líquido altamente poluente, resultante da decomposição da matéria orgânica no interior de aterros).

### 2.2.7. Unidades de incineração

A incineração é um processo de queima do lixo em unidades especialmente projetadas para este fim (vide **figura 23**), denominadas incineradores. O objetivo é efetuar a queima total e controlada do lixo, em temperaturas de 800°C a 1200°C, transformando-o em material inerte e diminuindo, assim, o peso e o volume (**Pereira Neto, 1999**). Com a destruição da parcela orgânica do lixo é possível reduzir a massa de resíduos em 70% e em 90% o volume, bem como promover sua assepsia (**D'Almeida e Vilhena, 2000**).

Apesar disso, o uso de incineradores deve ser uma prática restrita aos resíduos de serviço de saúde, não sendo mais recomendado como processo de tratamento de resíduos sólidos urbanos por gerarem gases e cinzas altamente tóxicas, sendo que esta última necessita de encapsulamento antes de sua destinação final.



**Figura 23:** Esquema simplificado de funcionamento de uma unidade de incineração (fonte: <http://www.quercus.pt>)

Em muitos países em desenvolvimento a adoção de incineradores como método de tratamento torna-se uma solução inviável devido aos equipamentos altamente

sofisticados de controle da poluição do ar e dos líquidos que, mesmo assim, não garantem segurança absoluta, porém, nas grandes metrópoles e nos países desenvolvidos, principalmente naqueles com pouca disponibilidade de áreas adequadas para aterro, é comum a utilização de incineradores apresentando, inclusive, uma tendência acentuada de crescimento desta forma de tratamento em razão da incorporação de sistemas de aproveitamento de energia e sistemas de tratamento mais eficiente de gases, tornando-os mais interessantes do ponto de vista econômico e mais seguros ambientalmente.

Resumidamente, a **tabela 04** apresenta as principais vantagens e desvantagens da incineração como método de tratamento dos resíduos sólidos.

### ***2.2.8. Outras formas de tratamento ou disposição de resíduos sólidos***

#### ***a) Pirólise***

É um processo caracterizado pela decomposição física e química da matéria orgânica em altas temperaturas (700°C a 1100°C) e em ambiente ausente de oxigênio. Os reatores pirolíticos ainda não têm seu uso devidamente consagrado no Brasil em virtude das dificuldades operacionais que a condução adequada do processo exige e também pelos custos elevados para sua implantação e operação. A diferença entre a pirólise e a incineração é que na primeira o processo é altamente endotérmico e na segunda, exotérmico.

#### ***b) Landfarming ou tratamento no solo***

O substrato orgânico do resíduo, neste tratamento, é degradado biologicamente na camada superior do solo e a parte inorgânica do mesmo é fixada nesta mesma camada do solo por meio de princípios adsortivos e quelantes. Como não possui sistema de impermeabilização inferior ou superior, este processo, se mal gerenciado, pode provocar contaminação das águas superficiais e subterrâneas, além de poluir o ar e o solo.

#### ***c) Biorremediação***

A remediação de áreas degradadas é uma atividade do estado da arte do tratamento de lixo, com o propósito de minimizar os impactos ambientais. Entre as tecnologias para remediação situa-se a biorremediação que pode se dar pela via aeróbia, anaeróbia ou ainda, um sistema misto.

Tabela 04: resumo das vantagens e desvantagens da incineração como meio de tratamento (modificado de D'Almeida e Vilhena, 2000).

<b>Incineração de Resíduos</b>	
<i>Vantagens</i>	
<b>Redução drástica de massa e volume a ser descartado</b>	A taxa de redução média em massa é de 70% e de volume, 90%, diminuindo o volume destinado aos aterros.
<b>Recuperação de energia</b>	Parte da energia contida nos resíduos pode ser recuperada na forma de geração de energia elétrica ou vapor d'água.
<b>Redução do impacto ambiental</b>	Com as novas tecnologias de limpeza de gases de combustão, os níveis de emissão de poluentes podem ficar abaixo dos observados em processos de combustão convencionais, bem como contribuir para a minimização do efeito estufa, devido à combustão de materiais de fonte renováveis (papéis, restos de alimento e de produtos de origem vegetal) e a redução de gás metano e contaminação de lençóis freáticos pelos aterros.
<b>Esterilização dos resíduos</b>	A incineração destrói bactérias e vírus presentes nos resíduos devido às elevadas temperaturas atingidas no interior de incineradores, sendo amplamente utilizada no tratamento de RSS.
<b>Destoxicação</b>	Empregando boas técnicas de combustão, produtos orgânicos tóxicos, como óleo ascarel e produtos aromáticos, podem ser destruídos, razão pela qual a incineração é amplamente utilizada para o tratamento de resíduos industriais e descontaminação de solos contendo produtos químicos orgânicos tóxicos.
<i>Desvantagens</i>	
<b>Custo elevado</b>	A incineração apresenta custos elevados de instalação e de operação, no entanto, este custo nas grandes metrópoles com baixa disponibilidade de áreas adequadas para aterro está se aproximando do custo de disposição final no solo.
<b>Exigência de mão-de-obra especializada</b>	Os processos de incineração, independente do porte da unidade, exigem pessoal qualificado para garantir a qualidade e segurança da operação.
<b>Presença de materiais nos resíduos que geram compostos tóxicos e corrosivos</b>	Alguns materiais, como pilhas, plásticos, borrachas e outros, liberam compostos tóxicos e ácidos que não podem ser eliminados por boas técnicas de combustão, exigindo a instalação de sistemas de limpeza de gases.

Em síntese, a biorremediação é um processo de aceleração da decomposição dos resíduos sólidos, obtida através da inserção de bactérias no chorume, que é reciclado na

célula (parte) do aterro sanitário. Possibilita a reutilização precoce da célula prolongando o período de utilização do aterro sanitário. O material decomposto pode ser utilizado na recomposição de paisagens degradadas. Entre os componentes passíveis de tratamento por biorremediação, temos: borra de petróleo, Askarel, organoclorados, solventes, metais pesados, rejeitos de mineração, borra de tinta, resíduos químicos, resíduos hospitalares, resíduos domésticos, resíduos industriais e outros.

### **2.3. Impactos ambientais provocados por disposição inadequada dos resíduos sólidos**

A resolução **CONAMA nº001/1986** define impacto ambiental como “*qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas, que direta ou indiretamente afetam a saúde, a segurança e o bem estar da população, atividades sociais e econômicas, a biota, as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e as qualidades dos recursos naturais*”.

De acordo com **Tommasi (1994)** apud **Kataoka (2000)**, as alterações no meio ambiente pode ser qualificada e, muitas vezes, quantificada. Podem ser favoráveis ao ecossistema ou à sociedade, sendo denominados de impactos positivos, porém, quando as alterações forem desfavoráveis, os impactos são denominados negativos.

A disposição irregular de todos os tipos de resíduos em locais impróprios causa os conhecidos impactos negativos, seja na natureza (poluição da água, solo e ar) ou na saúde da população, que ocasionam (**Menezes, 1995**):

- danos à fauna e à flora do solo e das águas superficiais;
- poluição e contaminação dos recursos hídricos;
- acúmulo de produtos não-biodegradáveis no meio ambiente;
- eutrofização (acúmulo de nutrientes) no solo e na água;
- proliferação de vetores (artrópodes e roedores);
- eventualmente, riscos a saúde pública;
- poluição atmosférica (gás carbônico e metano, principalmente);
- comprometimento dos aspectos visuais e estéticos da paisagem.

**Yong et al. (1992)** ilustram um fluxograma (**figura 24**) de alguns dos vários caminhos dos contaminantes em uma área de disposição de resíduos sólidos

O maior impacto ambiental das disposições de resíduos sólidos urbanos no solo é ocasionado pelo processo de degradação biológica do lixo aterrado, os quais geram

líquidos e gases, provocando a poluição nos entornos da área podendo, porém, atingir distâncias maiores no caso de contaminação das águas subterrâneas e superficiais.

Uma das preocupações ambientais mais proeminentes é o risco de contaminação das águas subterrâneas, principalmente pelos líquidos percolados (mistura da água pluvial infiltrada no aterro com chorume). Como dificilmente se observa o impacto nesse meio e até que seja detectado o problema, provoca uma influência séria e duradoura na população próxima a área contaminada.

Existe também o risco de ingestão de alimentos e água contaminada por metais pesados ou componentes orgânicos, os quais podem bioacumular nos organismos vivos, prejudicando toda uma cadeia alimentar e, inclusive, o próprio homem.

**Heitzmann Jr et al. (1996)**, em um estudo no aterro sanitário de Pau Queimado (Piracicaba/SP), constataram o aumento das concentrações de metais pesados no solo. A contaminação era localizada, porém, a migração dos poluentes através da lixiviação impossibilitará o uso futuro do solo, trazendo, inclusive, conseqüências nos custos de tratamento de águas da região, uma vez que os mananciais também estão sendo contaminados.

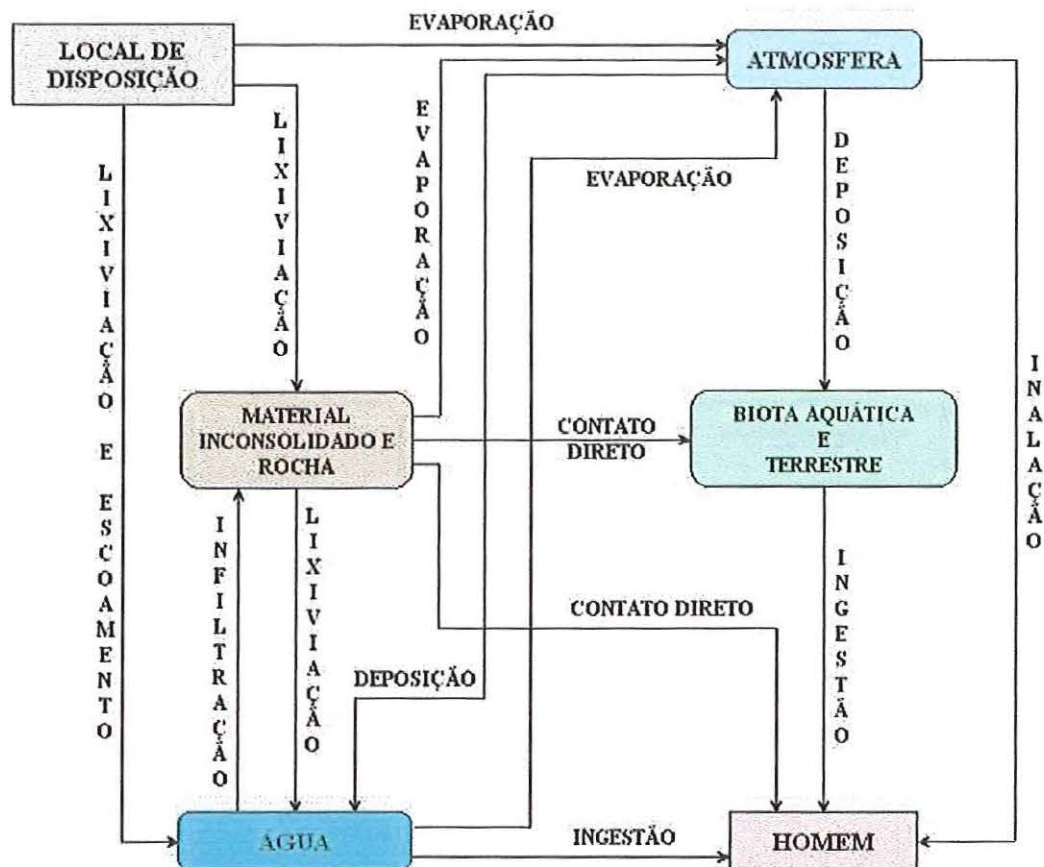


Figura 24: representação esquemática de alguns dos vários caminhos do fluxo de contaminantes de uma área de disposição de resíduos sólidos (fonte: adaptado de Yong et al., 1992)

Os gases produzidos no interior do aterro, quando este não possui confinamento, podem migrar até a uma distância de 1.500m, provocando, entre os efeitos adversos mais comuns, morte e efeitos fitotóxicos na vegetação da área de disposição e em seus entornos, devido a depleção de oxigênio na zona radicular das plantas.

O metano responde pela maior concentração, 55% a 65%, dos gases formados no aterro e o dióxido de carbono, por sua vez, é responsável por 40% a 45%. Entre todos os gases, o metano é o mais preocupante, pois sua concentração nas áreas de disposição pode ser em torno de  $3 \times 10^5$  maior do que a encontrada na atmosfera, exigindo, por isso, técnicas apropriadas de controle. Outro fato importante é que estudos recentes acusam que o metano é o segundo causador do efeito estufa. Em concentrações superiores a 5%, o metano é altamente explosivo.

Segundo **Cunha e Consoni (1995)** os problemas mais comuns observados em locais de disposição de resíduos estão relacionados a fatores como:

- pouco ou nenhum conhecimento das características do meio físico (rocha, solo, água, etc) e dos resíduos a serem dispostos, resultando em um projeto inadequado;
- negligência no monitoramento das condições ambientais e operacionais do aterro e
- sobrecarga da capacidade inicial do projeto.

Os mesmos autores apresentam a **tabela 05**, enumerando os diversos problemas produzidos pela instalação inadequada (sem critérios) de aterros.

**Nunes (1994) apud Marques (2002) e IPT (2000) apud Marques (2002)** citam as atividades potencialmente causadoras de impactos ambientais e outros problemas relacionados às etapas de execução do aterro: implantação, operação e desativação.

a) Etapa de implantação

- geração de gases, materiais particulados e ruídos devido ao trânsito e operação de equipamentos;
- erosão pelas águas pluviais;
- assoreamento de corpos d'água;
- morte e incômodos à fauna;
- remoção e degradação de cobertura vegetal;
- poluição do solo com óleos e graxas;

- poluição visual (alteração da paisagem);
  - intensificação do tráfego em vias de acesso.
- b) Etapa de operação
- saída de material esvoaçante a partir dos veículos transportadores de lixo, da frente de operação de aterros, etc.);
  - geração de gases, materiais particulados e ruídos pelos equipamentos fixos e móveis;
  - intensificação do trânsito em vias de acesso;
  - remoção e degradação da cobertura vegetal, principalmente nas áreas próximas ao local de disposição e nas áreas de empréstimo e descarte de solo;
  - poluição do solo com óleos e graxas;
  - geração gases e odores devido a decomposição do lixo no interior do aterro e do sistema de tratamento de efluentes;
  - espalhamento do lixo ao longo das vias de acesso;
  - alteração do escoamento superficial;
  - proliferação de vetores;
  - assoreamento de corpos d'água;
  - morte e incômodo à fauna;
  - poluição visual;
  - depreciação de imóveis lindeiros;
  - erosão pelas águas pluviais;
  - poluição do solo e das águas subterrâneas;
  - degradação de áreas de empréstimo e/ou descarte de solo excedente.
- c) Etapa de desativação/encerramento
- morte e incômodos à fauna;
  - geração de gases e odores provenientes do interior do aterro e do sistema de tratamento de efluentes;
  - poluição do solo e das águas superficiais e subterrâneas devido a deterioração das estruturas do aterro;
  - erosão do solo e assoreamento dos corpos d'água;
  - uso futuro incompatível.

**Tabela 05:** Problemas provocados pela instalação não criteriosa de aterros (fonte: Cunha e Consoni, 1995)

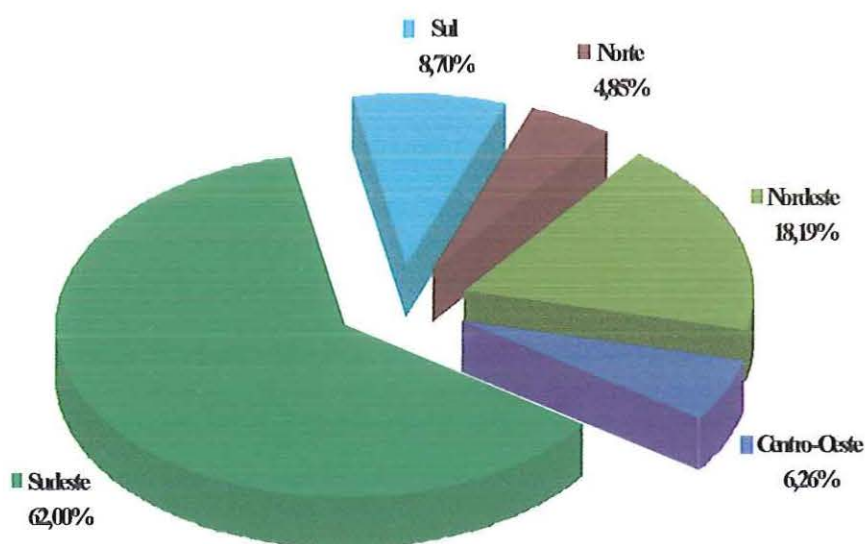
Tipo	Origem	Causa
Contaminação das águas subterrâneas	Falha na impermeabilização de base (aterro/lagoa de tratamento de líquidos percolados)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impermeabilização (solo/manta) incompatível com os percolados;</li> <li>• Má compactação.</li> </ul>
	Recalques (aterro/lagoa de tratamento de líquidos percolados)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solo natural com propriedades inadequadas;</li> <li>• Recalques devido às alterações (carga, aumento da umidade, agressão ao solo, etc.).</li> </ul>
	Elevação do nível d'água acima da base do aterro	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dados insuficientes (nível piezométrico, pluviometria, vazões, etc);</li> <li>• Subdimensionamento do sistema de drenagem.</li> </ul>
Potencialização de processos do meio físico	Escorregamento/erosão	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cortes nas encostas em altos ângulos;</li> <li>• Cortes contra a foliação ou fraturamentos;</li> <li>• Alterações na vegetação marginal;</li> <li>• Deficiências de compactação dos aterros e resíduos dispostos.</li> </ul>
	Assoreamentos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erosões dos cortes (solos de fácil alteração/instabilização);</li> <li>• Carreamentos devido a deficiência na drenagem superficial;</li> <li>• Denudação da vegetação/alterações nas áreas marginais.</li> </ul>
Conflitos de uso e ocupação	Restrições ambientais	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilização de áreas com restrições ambientais diversas (APA, áreas de mananciais, etc.).</li> </ul>
	Desconforto a população	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proximidade de núcleos populacionais/habitações;</li> <li>• Problemas advindos de operação inadequada (odores, moscas, etc.);</li> <li>• Sobrecarga da infraestrutura local;</li> <li>• Não consideração da expansão urbana.</li> </ul>
Elevação de custos	Desapropriações	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necessidade de desapropriação de áreas de terceiros, devido à não existência de áreas do empreendedor, aptas às instalações do aterro;</li> <li>• Necessidade de remoção de pessoal, com possíveis indenizações.</li> </ul>
	Implantação	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necessidade de medidas de engenharia para corrigir deficiências naturais do local escolhido;</li> <li>• Deficiência de materiais de empréstimo e de construção;</li> <li>• Necessidade de infraestrutura (estradas, energia elétrica, etc.);</li> <li>• Necessidade de detalhamentos de estudos mal realizados anteriormente.</li> </ul>
	Operação e encerramento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausência de solo adequado para a cobertura das células de resíduos;</li> <li>• Elevadas distâncias a ser percorridas diariamente no transporte dos resíduos, entre a fonte geradora e o local de disposição;</li> <li>• Escolha de área com baixa vida útil para a instalação;</li> <li>• Ações corretivas para eventuais problemas na operação;</li> <li>• Sistemas de monitoramento necessários, conforme local escolhido.</li> </ul>

#### 2.4. Panorama atual sobre os resíduos sólidos no Brasil

Segundo o **IBGE (2002)**, através do PNSB (Pesquisa Nacional de Saneamento Básico) realizada em 2000, aproximadamente 80% dos municípios brasileiros (4.338) investem apenas 5% de seu orçamento em serviços de limpeza urbana e/ou coleta de lixo. Do total de municípios, apenas 31 deles aplicam mais de 20% de seu orçamento nessa área.

Diariamente, no Brasil, são coletadas cerca de 228.413 toneladas de lixo, sendo que a região Sudeste é responsável por 62% desse volume, ou seja, 141.616,80 toneladas diárias. O Estado de São Paulo, por sua vez, responde por 105.000 toneladas diárias ou 46% do total de lixo produzido diariamente no Brasil.

O **gráfico 04** mostra a distribuição, em porcentagem de peso, dos resíduos gerados diariamente por cada uma das cinco regiões brasileiras.



**Gráfico 04:** Produção diária de resíduos sólidos por região (em % de peso)

Em relação ao destino final desses resíduos 37,03% do total coletado, em peso, são dispostos em aterros controlados, 36,18% em aterros sanitários e 21,16% em lixões. O restante, 5,63%, é destinado às usinas de compostagem, estação de triagem e incineração, como ilustrado no **gráfico 05**.

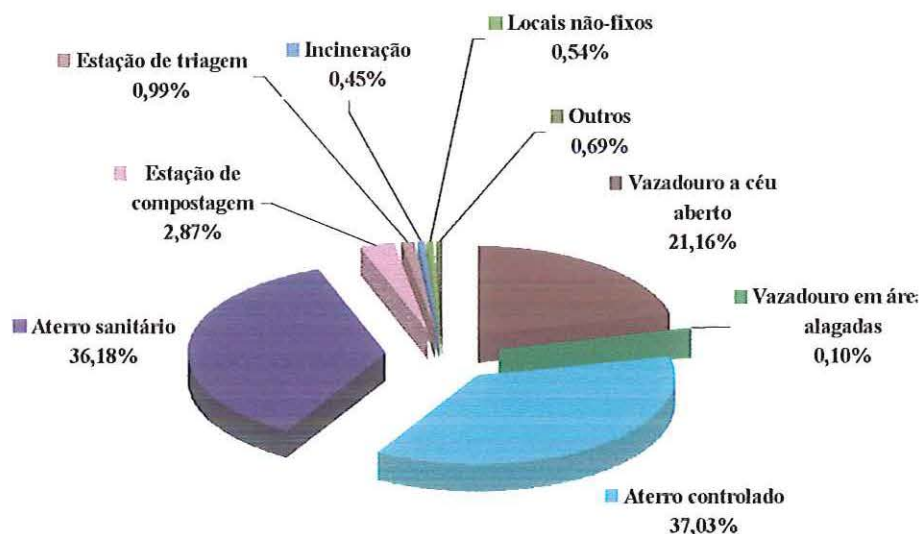


Gráfico 05: Destino final dos resíduos sólidos (em % de peso)

A situação dos resíduos industriais é mais preocupante, pois a maior parte dos municípios, 88,4% (4.841) não controlam esse tipo de resíduo e são dispostos juntamente com o lixo doméstico. Somente 674 municípios fazem coleta dos resíduos industriais e apenas 58 dispõem em aterros especiais.

O lixo séptico, oriundo dos serviços de saúde e que possuem alto potencial patogênico, são recolhidos separadamente em 3.466 municípios, mas 48% deles, ou 1.696, despejam esse material em lixões. Diariamente são coletados 4.072,5 toneladas de resíduos sépticos.

A coleta seletiva no Brasil é adotada por somente 8,2% dos municípios brasileiros, com destaque para o Rio Grande do Sul, com 138 municípios, São Paulo, com 140 municípios, e Paraná com 73. O número estimado de material reciclável coletado é de 4.290 toneladas por dia, ou seja, menos de 2% do total de resíduos gerados são reciclados.

O Brasil é um dos que mais reciclam latas de alumínio, reaproveitando cerca de 73% (algumas pesquisas apontam valores de 87%) do que produz, superando países desenvolvidos como Inglaterra (29%), Alemanha (35%), EUA (63%) e praticamente igualando com o Japão (74%), considerado o país que mais recicla seu lixo com índices de até 50%. Apesar disso, a intensa reciclagem de latas de alumínio no Brasil deve-se mais a fatores sociais do que pela preocupação ecológica, pois essa atividade representa um meio de renda para muitos brasileiros.

Estima-se que, atualmente, existam milhares de pessoas vivendo da catação de lixo (**figura 25 e 26**), principalmente de alumínio e papel, em logradouros públicos e ambientes insalubres, como os lixões. De acordo com dados levantados pela organização não-governamental Água e Vida, contratada pela UNICEF, há aproximadamente cerca de 45.000 pessoas obtendo sua renda (muitos conseguindo valores acima do salário mínimo) nos lixões e 30.000 nas ruas das cidades.



**Figura 25:** catadores, inclusive crianças, no Lixão de Ibiúna/SP



**Figura 26:** lixão, meio de sobrevivência para mais de 45.000 brasileiros

Apesar de ser útil, pois diminui o volume de resíduos a serem aterrados, a catação de lixo, da forma como ela é realizada, é uma atividade desumana, necessitando da intervenção por parte dos poderes públicos e da sociedade de modo a torná-la aceitável do ponto de vista sócio-ambiental.

Um fator agravante em relação aos catadores de lixo é retratado pela UNICEF, por meio do programa Lixo e Cidadania, estimou que, atualmente, 45.000 crianças e adolescente estejam fazendo serviço de catação, expondo-se a todos tipos de perigo, inclusive por entrarem em contato com o lixo hospitalar o qual, segundo o IBGE, 74% dos municípios brasileiros depositam em lixões.

### **2.5. Agenda 21 e os resíduos sólidos**

Em junho de 1992 a Organização das Nações Unidas (ONU) realizou, na cidade do Rio de Janeiro, uma conferência internacional que ficou conhecida como ECO92. O resultado foi a elaboração da Agenda 21 a qual previa a adoção de programas de preservação ambiental partir daquela data até o ano de 2000.

Em seu capítulo 21 – Manejo ambientalmente saudável dos resíduos sólidos e questões relacionadas com os esgotos – o item 21.5 relaciona a ação a ser tomada em quatro principais áreas:

- a) Redução ao mínimo dos resíduos;

- b) Aumento ao máximo da reutilização e reciclagem ambientalmente saudáveis dos resíduos;
- c) Promoção do depósito e tratamento ambientalmente saudáveis dos resíduos e
- d) Ampliação do alcance dos serviços que se ocupam dos resíduos.

O documento estabeleceu os seguintes prazos e metas para a promoção e tratamento ambientalmente saudáveis dos resíduos:

- a) Até o ano 2000: critérios de qualidade, objetivos e normas para o tratamento e o depósito de resíduos baseados na natureza e capacidade de assimilação do meio ambiente receptor;
- b) Até o ano 2000: capacidade suficiente para monitorar o impacto da poluição relacionada aos resíduos e manter uma vigilância sistemática, inclusive epidemiológica, quando apropriado;
- c) Tomar providências para que até o ano 1995, nos países industrializados, e 2005, nos países em desenvolvimento, pelo menos 50 por cento do esgoto, das águas residuais e dos resíduos sólidos sejam tratados ou eliminados em conformidade com diretrizes nacionais ou internacionais de qualidade ambiental e sanitária e
- d) Depositar, até o ano 2025, todo o esgoto, águas residuárias e resíduos sólidos de acordo com diretrizes nacionais ou internacionais de qualidade ambiental.

## ***2.6. Legislação ambiental brasileira correlata***

Até 1981, a proteção jurídica brasileira ao meio ambiente ocorria de forma pontual, isto é, protegia-se o todo a partir das partes e visava, principalmente, interesses econômicos. Esse período caracterizou-se pela exploração desregrada do meio ambiente, cujas questões eram solucionadas pelo Código Civil (Sirvinskas, 2002).

A partir de 1981, com a criação da Lei da Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) ou **Lei nº 6.938**, de 31/08/1981, iniciou-se, verdadeiramente, medidas que consistiam em proteger de forma integral o meio ambiente através de um sistema ecológico integrado, ou seja, protegia-se as partes a partir do todo.

Nas décadas de 80 e 90 ocorreu um desenvolvimento enorme no Brasil no que tange à proteção ao meio ambiente com a criação de diversas leis, muitas ainda em processo de implementação ou aperfeiçoamento.

Atualmente, o Brasil não possui uma Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) específica, pois, até 2003, essa política ainda não havia sido aprovada pelo Congresso Nacional, porém, entre as muitas normas e leis existentes, há inúmeras regulamentando o manuseio, a coleta, o transporte, o tratamento e a disposição final de todos os tipos de resíduos.

### *2.6.1. Constituição Federal*

A Constituição Federal, promulgada em 1988, através do Capítulo VI – Do Meio Ambiente, artigo 225, destaca: *“Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”*.

O parágrafo 1º, do mesmo artigo, determina que *para assegurar a efetividade desse direito, incumbe ao Poder Público:*

*I - preservar e restaurar os processos ecológicos essenciais e prover o manejo ecológico das espécies e ecossistemas;*

*II - preservar a diversidade e a integridade do patrimônio genético do País e fiscalizar as entidades dedicadas à pesquisa e manipulação de material genético;*

*III - definir, em todas as unidades da Federação, espaços territoriais e seus componentes a serem especialmente protegidos, sendo a alteração e a supressão permitidas somente através de lei, vedada qualquer utilização que comprometa a integridade dos atributos que justifiquem sua proteção;*

*IV - exigir, na forma da lei, para instalação de obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação do meio ambiente, estudo prévio de impacto ambiental, a que se dará publicidade;*

*V - controlar a produção, a comercialização e o emprego de técnicas, métodos e substâncias que comportem risco para a vida, a qualidade de vida e o meio ambiente;*

*VI - promover a educação ambiental em todos os níveis de ensino e a conscientização pública para a preservação do meio ambiente;*

*VII - proteger a fauna e a flora, vedadas, na forma da lei, as práticas que coloquem em risco sua função ecológica, provoquem a extinção de espécies ou submetam os animais à crueldade.*

Ainda no mesmo artigo insere-se o parágrafo 3º, segundo o qual: “*As condutas e atividades consideradas lesivas ao meio ambiente sujeitarão os infratores, pessoas físicas ou jurídicas, a sanções penais e administrativas, independentemente da obrigação de reparar os danos causados*”.

Por sua vez, o artigo 23, incisos VI e VII, diz: “*é competência comum da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios para proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer de suas formas e preservar as florestas, a fauna e a flora*”.

### 2.6.2. Leis e Resoluções

No que se refere à legislação infraconstitucional, pode-se mencionar a **Lei nº 6.938**, de 31 de Agosto de 1981, que “*dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente e institui o Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA), seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências*”.

Trata-se da lei ambiental mais importante depois da Constituição Federal e tem sido o principal referencial na proteção ao meio ambiente, pois é nela que está traçada toda a sistemática necessária para a aplicação da política ambiental (conceitos básicos, objeto, princípios, objetivos, diretrizes, instrumentos, órgãos, responsabilidade objetiva, etc.).

Da **Lei nº 9.605**, de 12 de Fevereiro de 1998, também conhecida como Lei de Crimes Ambientais, que “*dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências*”, é relevante mencionar os artigos 54, 60 e 68, nos quais tipificam como crime as seguintes condutas:

*Artigo 54. Causar poluição de qualquer natureza em níveis tais que resultem ou possam resultar em danos à saúde humana, ou que provoquem a mortandade de animais ou a destruição significativa da flora.*

*Pena: reclusão, de um ano a quatro anos, e multa.*

*§ 2º Se o crime:*

*V – ocorrer por lançamento de resíduos sólidos, líquidos, gasosos, ou detritos, óleos ou substâncias oleosas, em desacordo com as exigências estabelecidas em leis ou regulamentos:*

*Pena: reclusão, de um a cinco anos.*

*Artigo 60. Construir, reformar, ampliar, instalar ou fazer funcionar, em qualquer parte do território nacional, estabelecimentos, obras ou serviços potencialmente poluidores, sem licença ou autorização dos órgãos competentes, ou contrariando as normas legais e regulamentares pertinentes.*

*Pena: reclusão, de um a quatro anos, e multa.*

*Artigo 68. Deixar, aquele que tiver o dever legal ou contratual de fazê-lo, de cumprir obrigação de relevante interesse ambiental.*

*Pena: detenção, de um ano a três, e multa.*

### **2.6.2.1. Órgãos**

Os órgãos e entidades da União, dos Estados, do Distrito Federal, dos Territórios e dos Municípios, bem como as fundações instituídas pelo Poder Público, responsáveis pela proteção e melhoria da qualidade ambiental, constituirão o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), estruturados, assim, em sete níveis (artigo 6º, incisos I a VII, da **Lei nº 6.938/81**):

- **Órgão Superior** (Conselho de Governo), com a função de assessorar o Presidente da República na formulação da política nacional e nas diretrizes governamentais para o meio ambiente e os recursos ambientais. É composto pelos Ministérios da Presidência da República;
- **Órgão Consultivo e Deliberativo** (Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA), com a finalidade de assessorar o Conselho de Governo na formulação de diretrizes da política nacional para a proteção do meio ambiente. O artigo 8º da **Lei nº 6.938/81** dispõe sobre as atribuições do CONAMA;
- **Órgão Central** é constituído pelo Ministério do Meio Ambiente cuja finalidade é preservar, conservar e fiscalizar o uso racional dos recursos naturais renováveis, implementar acordos internacionais na área ambiental, etc;
- **Órgão Executor** é composto pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), com a finalidade de executar e fazer executar, como órgão federal, a política e diretrizes governamentais fixadas para o meio ambiente (artigo 11 da **Lei nº 6.938/81**);

- *Órgãos Seccionais* são os órgãos ou entidades estaduais responsáveis pela execução de programas, projetos e pelo controle e fiscalização de atividades capazes de provocar a degradação ambiental. No Estado de São Paulo tem-se a Secretária Estadual do Meio Ambiente (SEMA), o Conselho Estadual do Meio Ambiente (CONSEMA) e a Companhia Estadual de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB);
- *Órgãos Locais* são os órgãos ou entidades municipais responsáveis pelo controle e fiscalização dessas atividades, nas suas respectivas jurisdições.

A todos esses órgãos cabem a responsabilidade pela proteção do meio ambiente e poderão aplicar as sanções cabíveis e, inclusive, interditar ou fechar empreendimentos que não estejam cumprindo as determinações legais ou regulamentares. Tudo isso somente é possível porque cada um dos órgãos mencionados possui o poder de polícia, indispensável para dar-se executoriedade as sanções aplicadas pelos fiscais na esfera administrativa.

#### **2.6.2.2. Avaliação de impacto ambiental**

A avaliação de impactos ambientais é um dos instrumentos mais importantes da Política Nacional de Meio Ambiente para a proteção do meio ambiente e está prevista no artigo 9º, inciso III, da **Lei nº 6.938/81** e a Constituição Federal elevou esse instrumento ao nível constitucional (artigo 225, parágrafo 1º, inciso IV) por considerá-lo um instrumento administrativo preventivo.

A resolução **CONAMA nº001/1986**, em seu artigo 1º, incisos I a V, define impacto ambiental como *“qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas, que direta ou indiretamente afetam a saúde, a segurança e o bem estar da população; atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; a qualidade dos recursos naturais”*.

O artigo 1º, inciso III, da Resolução **CONAMA nº 237/97**, por sua vez, define estudos ambientais como sendo *“todos e quaisquer estudos relativos aos aspectos ambientais relacionados à localização, instalação, operação e ampliação de uma atividade ou empreendimento, apresentado como subsídio para a análise da licença requerida, tais como: relatório ambiental, plano e projeto de controle ambiental,*

*relatório ambiental preliminar, diagnóstico ambiental, plano de manejo, plano de recuperação de área degradada e análise preliminar de risco”.*

Segundo **Sirvinskas (2002)**, impacto ambiental é toda intervenção humana no meio ambiente causadora de degradação negativa (impactos negativos) da qualidade ambiental. Assim, o estudo prévio de impacto ambiental nada mais é do que a avaliação, através de estudos realizados por uma equipe técnica multidisciplinar, da área onde o postulante pretende instalar a indústria ou exercer atividade causadora de significativa degradação ambiental, procurando ressaltar os aspectos negativos e/ou positivos dessa intervenção humana. Tal estudo analisará a viabilidade ou não da instalação da indústria ou do exercício da atividade, apresentando, inclusive, alternativas tecnológicas que poderiam ser adotadas para minimizar o impacto negativo ao meio ambiente. O mesmo autor completa: “*o relatório de impacto ambiental (RIMA), por sua vez, nada mais é do que a materialização desse estudo*”.

A Resolução **CONAMA nº001/86**, de acordo com **Araújo (2002)**, contém uma série de disposições sobre o conteúdo do EIA/RIMA (Estudo de Impacto Ambiental/Relatório de Impacto Ambiental) que têm desempenhado importante papel tanto na orientação dos técnicos que trabalham na elaboração desses estudos, quanto dos agentes públicos que os analisam. No que se refere ao conteúdo do estudo, deve-se destacar que:

- o EIA compõe-se, no mínimo, de diagnóstico ambiental, análise dos impactos do empreendimento, definição das medidas mitigadoras dos impactos negativos e programa de monitoramento;
- o diagnóstico ambiental deve considerar o meio físico, o meio biológico e o meio socioeconômico, e suas inter-relações, como componentes do meio ambiente;
- devem ser ponderadas todas as alternativas tecnológicas e de localização, confrontando-as com a hipótese de não execução do empreendimento;
- devem ser avaliados os impactos potencialmente gerados tanto pela fase de implantação do empreendimento, quanto pela fase de operação;
- o RIMA deve refletir as conclusões do EIA, incluindo recomendação quanto à alternativa mais favorável.

Em relação aos resíduos sólidos, o artigo 2º e seu inciso X da Resolução **CONAMA nº001/86** determina: “*Dependerá de elaboração de Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e respectivo Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), a serem submetidos à aprovação do órgão estadual competente, e da Secretária Especial de Meio Ambiente em caráter supletivo, o licenciamento de atividades modificadoras do meio ambiente, tais como:*

*X – aterros sanitários, processamento e destino final de resíduos tóxicos ou perigosos”.*

### **2.6.2.3. Licenciamento ambiental**

A **Lei nº 6.938/81** determina a obrigatoriedade de licenciamento ambiental, um procedimento administrativo junto à órgão ambiental competente que licencia a localização, instalação, ampliação e operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou aquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental (artigo 1º, da Resolução **CONAMA nº 237/97**).

O licenciamento ambiental é um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente e está previsto no artigo 9º, inciso IV, da **Lei nº 6.938/81**.

No artigo 10, *caput*, da **Lei nº 6.938/81** e no artigo 17 do **Decreto nº 99.274**, de 06 de Junho de 1990, além do conceito de licenciamento ambiente, determinam “o *prévio licenciamento por órgão estadual, competente, integrante do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) e do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), em caráter supletivo sem prejuízo de outras licenças exigíveis”.*

Por licença ambiental o artigo 1º, inciso II, da Resolução **CONAMA nº 237/97** define como sendo “o *ato administrativo pelo qual o órgão ambiental competente estabelece condições, restrições e medidas de controle ambiental que deverão ser obedecidas pelo empreendedor, pessoa física e jurídica, para localizar, instalar e ampliar e operar empreendimentos e atividades utilizadoras dos recursos ambientais consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou sob aquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental”.*

O Poder Público, de acordo a Resolução **CONAMA nº 237/97**, estipula três espécies de licença:

- a) *Licença Prévia (LP)*: concedida na fase preliminar do planejamento do empreendimento ou atividade onde são aprovadas sua localização e concepção, atestando a viabilidade ambiental e estabelecendo os requisitos básicos e condicionantes a serem atendidos nas próximas fases de sua implementação (artigo 8º, inciso I);
- b) *Licença de Instalação (LI)*: autoriza a instalação do empreendimento ou atividade de acordo com as especificações constantes dos planos, programas e projetos aprovados, incluindo as medidas de controle ambientais e demais condicionantes, da qual constituem motivos determinantes (artigo 8º, inciso II);
- c) *Licença de Operação (LO)*: autoriza a operação da atividade ou empreendimento, após a verificação do efetivo cumprimento do que consta das licenças anteriores, com as medidas de controle ambientais e condicionantes determinados para a operação (artigo 8º, inciso III).

A licença prévia e a licença de instalação são concedidas preliminarmente, enquanto a licença de operação é concedida em caráter final, ou seja, só será outorgada após cumprimento das exigências previstas nas licenças anteriores.

O licenciamento ambiental, a nível nacional, é homologado pelo IBAMA. No Estado de São Paulo a aprovação do licenciamento está sob responsabilidade da CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental).

#### **2.6.2.4. Relatório ambiental preliminar (RAP) e termo de referência (TR)**

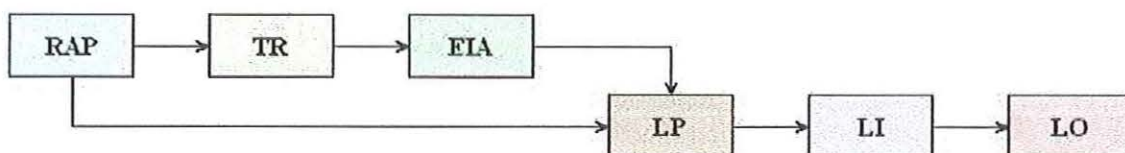
Segundo **Schalch et. al (2000)**, no Estado de São Paulo, a normatização dos procedimentos para o licenciamento ambiental foi estabelecida pela Secretaria Estadual do Meio Ambiente (SMA) através da **Resolução SMA 42/94**, que institui dois instrumentos preliminares para a exigência ou dispensa de EIA/RIMA: o relatório ambiental preliminar (RAP) e o termo de referência (TR).

O RAP configura-se como o documento básico para o licenciamento ambiental e instrumenta a decisão do órgão ambiental sobre a exigência ou dispensa de EIA/RIMA. O conteúdo do RAP, a ser desenvolvido pelo empreendedor, geralmente através de consultoria especializada, inclui os seguintes itens:

- objeto do empreendimento;

- justificativa do empreendimento quanto à necessidade, à apresentação das alternativas locacionais e tecnológicas estudadas e à defesa da alternativa adotada;
- caracterização do empreendimento;
- diagnóstico ambiental preliminar na área de influência do empreendimento, refletindo as condições atuais do meio físico, biológico e sócio-econômico, interrelacionadas em um diagnóstico integrado, que permita a avaliação dos impactos decorrentes da implantação do empreendimento;
- identificação dos principais impactos que poderão ocorrer como consequência das diversas ações previstas para a implantação e a operação do empreendimento;
- medidas mitigadoras, compensatórias e/ou de controle ambiental, considerando os impactos previstos.

A Resolução SMA 42/94 estabelece, ainda, que o licenciamento ambiental se dará através de três etapas: Licença Prévia (LP), Licença de Instalação (LI) e Licença de Operação (LO), de acordo com o fluxograma mostrado na **figura 27**.



**Figura 27:** fluxograma para a obtenção do licenciamento ambiental

Deve-se observar que, dependendo do volume de resíduos sólidos gerado diariamente, será necessária a apresentação do EIA/RIMA. No entanto, este fato não dispensa a apresentação de RAP.

#### **2.6.2.5. Resoluções CONAMA pertinentes aos resíduos sólidos**

Desde a sua criação, em 1984, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) vem publicando uma série de resoluções para disciplinar, no território nacional, a coleta, o transporte, o tratamento e a disposição final dos resíduos sólidos.

Essas resoluções, em parte, suprem a carência de uma Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), proporcionando um gerenciamento mais seguro tanto para o meio ambiente como à saúde pública.

As resoluções abaixo relacionadas abordam, de alguma forma, a questão dos resíduos sólidos. São elas (CONAMA, 2003):

- Resolução CONAMA nº 334, de 19/05/2003 – “Dispõe sobre os procedimentos de licenciamento ambiental de estabelecimentos destinados ao recebimento de embalagens vazias de agrotóxicos”;
- Resolução CONAMA nº 316, de 29/10/2002 – “Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos”;
- Resolução CONAMA nº 313, de 29/10/2002 – “Dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais”;
- Resolução CONAMA nº 308, de 21/03/2002 – “Licenciamento Ambiental de sistemas de disposição final dos resíduos sólidos urbanos gerados em municípios de pequeno porte”;
- Resolução CONAMA nº 307, de 05/07/2002 – “Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão os resíduos da construção civil”;
- Resolução CONAMA nº 283, de 12/07/2001 – “Dispõe sobre o tratamento e a destinação final dos resíduos dos serviços de saúde”;
- Resolução CONAMA nº 281, de 12/07/2001 – “Dispõe sobre modelos de publicação de pedidos de licenciamento”;
- Resolução CONAMA nº 275, de 25/04/2001 – “Estabelece código de cores para diferentes tipos de resíduos na coleta seletiva”;
- Resolução CONAMA nº 264, de 26/08/1999 – “Licenciamento de fornos rotativos de produção de clínquer para atividades de co-processamento de resíduos”;
- Resolução CONAMA nº 263, de 12/11/1999 – “Modifica o Artigo 6º da Resolução CONAMA nº 257/99”;
- Resolução CONAMA nº 258, de 30/06/1999 – “Determina que as empresas fabricantes e as importadoras de pneumáticos ficam obrigadas a coletar e dar destinação final ambientalmente adequada aos pneus inservíveis”;
- Resolução CONAMA nº 257, de 30/06/1999 – “Estabelece que pilhas e baterias que contenham em suas composições chumbo, cádmio, mercúrio e seus compostos, tenham os procedimentos de reutilização, reciclagem, tratamento ou disposição final ambientalmente adequado”;

- Resolução CONAMA nº 244, de 16/10/1998 – “*Exclui item do anexo 10 da Resolução CONAMA nº 23, de 12 de dezembro de 1996*”;
- Resolução CONAMA nº 235, de 07/01/1998 – “*Altera o anexo 10 da Resolução CONAMA nº 23, de 12 de dezembro de 1996*”;
- Resolução CONAMA nº 237, de 22/12/1997 – “*Regulamenta os aspectos de licenciamento ambiental estabelecidos na Política Nacional do Meio Ambiente*”;
- Resolução CONAMA nº 228, de 20/08/1997 – “*Dispõe sobre a importação de desperdícios e resíduos de acumuladores elétricos de chumbo*”;
- Resolução CONAMA nº 226, de 20/08/1997 – “*Estabelece limites máximos de emissão de fuligem de veículos automotores*”;
- Resolução CONAMA nº 023, de 12/12/1996 – “*Regulamenta a importação e uso de resíduos perigosos*”;
- Resolução CONAMA nº 022, de 03/12/1996 – “*Revoga a Resolução CONAMA nº 8, de 11 de outubro de 1996*”;
- Resolução CONAMA nº 021, de 24/10/1996 – “*Suspende a eficácia da Resolução CONAMA Nº. 008, de 11 de outubro de 1996*”;
- Resolução CONAMA nº 020, de 24/10/1996 – “*Define is itens de ação indesejável, referente a emissão de ruído e poluentes atmosféricos*”;
- Resolução CONAMA nº 008, de 11/10/1996 – “*Autoriza a importação de sucata de chumbo na forma baterias automotivas usadas*”;
- Resolução CONAMA nº 002, de 18/04/1996 – “*Determina a implantação de unidade de conservação de domínio público e uso indireto, preferencialmente Estação Ecológica, a ser exigida em licenciamento de empreendimentos de relevante impacto ambiental, como reparação dos danos ambientais causados pela destruição de florestas e outros ecossistemas, em montante de recursos não inferior a 0,5 % (meio por cento) dos custos totais do empreendimento. Revoga a Resolução CONAMA nº 010/87, que exigia como medida compensatória à implantação de estação ecológica*”;
- Resolução CONAMA nº 004, de 09/10/1995 – “*Estabelece as Áreas de Segurança Aeroportuária – ASA*”;
- Resolução CONAMA nº 037, de 30/12/1994 – “*Adota definições e proíbe a importação de resíduos perigosos – Classe I – em todo o território nacional,*

*sob qualquer forma e para qualquer fim, inclusive reciclagem/reaproveitamento”;*

- Resolução **CONAMA nº 019**, de 29/09/1994 – *“Autoriza, em caráter de excepcionalidade, a exportação de resíduos perigosos contendo bifenila policlorada – PCB”;*
- Resolução **CONAMA nº 017**, de 29/09/1994 – *“Prorroga o prazo do Grupo de Trabalho Interministerial, criado pela Resolução CONAMA nº 007/94, que adota definições e proíbe a importação de resíduos perigosos – Classe I – em todo o território nacional, sob qualquer forma e para qualquer fim, inclusive reciclagem”;*
- Resolução **CONAMA nº 007**, de 04/05/1994 – *“Adota definições e proíbe a importação de resíduos perigosos – Classe I – em todo o território nacional, sob qualquer forma e para qualquer fim, inclusive reciclagem”;*
- Resolução **CONAMA nº 009**, de 31/08/1993 – *“Estabelece definições e torna obrigatório o recolhimento e destinação adequada de todo o óleo lubrificante usado ou contaminado”;*
- Resolução **CONAMA nº 005**, de 05/08/1993 – *“Estabelece definições, classificação e procedimentos mínimos para o gerenciamento de resíduos sólidos oriundos de serviços de saúde, portos e aeroportos, terminais ferroviários e rodoviários”;*
- Resolução **CONAMA nº 008**, de 19/09/1991 – *“Dispõe sobre a entrada no país de materiais residuais”;*
- Resolução **CONAMA nº 006**, de 19/09/1991 – *“Dispõe sobre a incineração de resíduos sólidos provenientes de estabelecimentos de saúde, portos e aeroportos”;*
- Resolução **CONAMA nº 002**, de 22/08/1991 – *“Dispõe sobre adoção ações corretivas, de tratamento e de disposição final de cargas deterioradas, contaminadas ou fora das especificações ou abandonadas”;*
- Resolução **CONAMA: nº 013**, de 06/12/1990 – *“Dispõe sobre a área circundante, num raio de 10 (dez) quilômetros, das Unidades de Conservação”;*
- Resolução **CONAMA nº 008**, de 06/12/1990 – *“Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR”;*

- Resolução CONAMA nº 003, de 28/06/1990 – “Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR”;
- Resolução CONAMA nº 012, de 14/09/1989 – “Dispõe sobre a proibição de atividades em Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE) que afete o ecossistema”;
- Resolução CONAMA nº 006, de 15/06/1988 – “Dispõe sobre o licenciamento de obras de resíduos industriais perigosos”;
- Resolução CONAMA nº 005, de 15/06/1988 – “Dispõe sobre o licenciamento de obras de saneamento básico”;
- Resolução CONAMA nº 002, de 13/06/1988 – “Dispõe sobre a proibição de qualquer atividade que possa pôr em risco a integridade dos ecossistemas e a harmonia da paisagem das ARIE”;
- Resolução CONAMA nº 010, de 03/12/1987 – “Dispõe sobre o ressarcimento de danos ambientais causados por obras de grande porte”;
- Resolução CONAMA nº 002, de 18/06/1987 – “Dispõe sobre a criação de Câmaras Técnicas de acompanhamento de Saneamento Básico”;
- Resolução CONAMA nº 020, de 18/06/1986 – “Dispõe sobre a classificação das águas doces, salobras e salinas do Território Nacional”;
- Resolução CONAMA nº 006, de 24/01/1986 – “Dispõe sobre a aprovação de modelos para publicação de pedidos de licenciamento”;
- Resolução CONAMA nº 001-A, de 23/01/1986 – “Dispõe sobre transporte de produtos perigosos em território nacional”;
- Resolução CONAMA nº 001, de 23/01/1986 – “Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para o Relatório de Impacto Ambiental – RIMA”.

### **2.7. Normas técnicas brasileiras correlatas**

Norma é um documento estabelecido por consenso e aprovado por um organismo competente que fornece, para uso comum e repetitivo, regras, diretrizes ou características para atividades ou seus resultados, visando à obtenção de um grau ótimo de ordenação em um dado contexto, portanto, devem apresentar uma linguagem comum, reduzir a variedade de procedimentos, possibilitar a repetição de resultados e melhorar a qualidade de serviços e produtos.

As normas técnicas não são leis, por isso, segui-las é uma opção, porém, muitas vezes, órgãos do Governo Federal, como o CONAMA, procuram basear suas leis seguindo as recomendações das normas técnicas.

O alcance de uma norma, ou seja, a sua aceitação perante a comunidade, pode ser dividida, em ordem decrescente, em seis níveis:

- *Normas internacionais*, como a série ISO (International Organization for Standardization) elaborada por entidades internacionais e aceitas mundialmente;
- *Normas regionais*, elaboradas por um conjunto de países de determinada região, como a CEN (Comitê Europeu de Normalização) e o COPANT (Comitê Pan-Americano de Normas Técnicas);
- *Normas sub-regionais* são aquelas elaboradas por congregação de países de uma região como, por exemplo, o CMN (Comitê Mercosul de Normalização) formado por entidades do Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai.
- *Normas Nacionais* são as normas elaboradas no âmbito nacional e por uma entidade reconhecida pela nação;
- *Normas de grupo* são aquelas elaboradas por grupos setoriais, como as normas da ABM (Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais);
- *Normas institucionais* são aquelas elaboradas por um instituto, empresa ou entidade equivalente, como, por exemplo, a CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental).

No Brasil, a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) é a entidade responsável pela normalização técnica e suas normas recebem a denominação de NBR (Normas Brasileiras Registradas). Essas normas podem ser de Classificação (CB), Especificação (EB), Método de Ensaio (MB), Procedimento (NB), Padronização (PB), Simbologia (SB) ou Terminologia (TB).

As normas relacionadas a seguir são referentes a coleta, transporte, tratamento e disposição final dos resíduos sólidos. Também estão inclusas algumas normas relativas ao controle da poluição do ar e das águas superficiais e subterrâneas provocada, principalmente, pela produção de gases e líquidos percolados no interior do aterro.

- **NBR 7039/1987** – Pilhas e acumuladores elétricos – Terminologia;

- **NBR 8418/1983** – Apresentação de projetos de aterros para resíduos sólidos industriais perigosos – Procedimento;
- **NBR 8419/1992** – Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos – Procedimento;
- **NBR 8843/1996** – Aeroportos – Gerenciamento de resíduos sólidos;
- **NBR 8849/1985** – Apresentação de projetos de aterros controlados de resíduos sólidos urbanos – Procedimento;
- **NBR 8969/1985** – Poluição do ar – Terminologia;
- **NBR 9547/1997** – Material particulado em suspensão no ar ambiente – determinação da concentração total pelo método do amostrador de grande volume;
- **NBR 9897/1987** – Planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores – Procedimento;
- **NBR 9898/1987** – Preservação de técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores – Procedimento;
- **NBR 10004/1987** – Resíduos sólidos – Classificação;
- **NBR 10005/1987** – Lixiviação de resíduos – Procedimento;
- **NBR 10006/1987** – Solubilização de resíduos – Procedimento;
- **NBR 10007/1987** – Amostragem de resíduos – Procedimento;
- **NBR 10157/1987** – Aterros de resíduos perigosos – Critérios para projeto, construção e operação – Procedimento;
- **NBR 10664/1989** – Águas – Determinação de resíduos (sólidos) – método gravimétrico – Método de ensaio;
- **NBR 10703/1989** – Degradação do solo – Terminologia;
- **NBR 11174/1990** – Armazenamento de resíduos classe II (não-inertes) e III (inertes) – Procedimentos;
- **NBR 11175/1990** – Incineração de resíduos sólidos perigosos – Padrões de desempenho – Procedimento;
- **NBR 12019/1990** – Efluentes gasosos em dutos e chaminés de fontes estacionárias – Determinação de material particulado – Método de ensaio;
- **NBR 12065/1991** – Atmosfera, determinação da taxa de poeira sedimentável total – Método de ensaio;
- **NBR 12807/1993** – Resíduos de serviços de saúde – Terminologia;
- **NBR 12808/1993** – Resíduos de serviços de saúde – Classificação;

- **NBR 12809/1993** – Manuseio de resíduos de serviços de saúde – Procedimento;
- **NBR 12810/1993** – Coleta de resíduos de serviços de saúde – Procedimento;
- **NBR 12980/1993** – Coleta, varrição e acondicionamento de resíduos sólidos urbanos – Terminologia;
- **NBR 12988/1993** – Líquidos livres – Verificação em amostra de resíduos – Método de ensaio;
- **NBR 13221/1994** – Transporte de resíduos – Procedimento;
- **NBR 13333/1995** – Caçamba estacionária de 0,8 metros cúbicos, 1,2 metros cúbicos e 1,6 metros cúbicos para coleta de resíduos sólidos por coletores-compactadores de carregamento traseiro – Terminologia;
- **NBR 13334/1995** – Caçamba estacionária de 0,8 metros cúbicos, 1,2 metros cúbicos e 1,6 metros cúbicos para coleta de resíduos sólidos por coletores-compactadores de carregamento traseiro – Dimensões – Padronização;
- **NBR 13463/1995** – Coleta de resíduos sólidos – Classificação;
- **NBR 13853/1997** – Coletores para resíduos de serviço de saúde perfurantes ou cortantes – Requisitos e métodos de ensaio;
- **NBR 13895/1997** – Construção de poços de monitoramento e amostragem – Procedimento;
- **NBR 13896/1997** – Aterros de resíduos não-perigosos – Critérios para projetos, implantação e operação – Procedimento.

## **2.7. Sistema de informação geográfica**

### **2.7.1. Definição**

Segundo **Calijuri e Lorentz (2003b)**, “*o sistema de informações geográficas (SIG) é uma forma particular de sistema de informação aplicada a dados geográficos. Um sistema de informação é um conjunto de processos, executados no dado natural, produzindo informações úteis na tomada de decisões*”. Os mesmos autores complementam: “*Sistemas de informações geográficas são ferramentas que permitem armazenar, analisar, recuperar, manipular e manejar grandes quantidades de dados espaciais. Os SIGs são técnicas de manipulação de bancos de dados variáveis espacialmente. Originalmente estas ferramentas foram desenvolvidas para facilitar trabalhos cartográficos, mas estão sendo atualmente utilizadas para inventários, estimativas, planejamento e modelagem*”.

O SIG, de acordo com **Davis Jr. (1997)** é, em essência, um software, uma tecnologia que, utilizando recursos de computação gráfica e processamento digital de imagens, associa informações a bancos de dados convencionais.

**Xavier (2002)**, entretanto, observa que muitas pessoas quando falam em SIG referem-se, especificamente, ao programa e não à tecnologia, porém, o programa (ou software) é apenas um dos cinco elementos básicos do SIG. Os outros elementos são: computadores e periféricos (ou hardware), dados, profissionais, e métodos.

De senso comum, o principal objetivo de um SIG é o suporte à tomada de decisões para gerenciamento de uso do solo, recursos hídricos, ecossistemas aquáticos e terrestres, além de outras entidades distribuídas espacialmente. Seu campo de aplicação, contudo, é amplo e diversificado, incluindo a geografia, agricultura, hidrologia, geologia, geotecnia, meio ambiente, computação, economia, fotogrametria, agrimensura, planejamento urbano e regional, engenharia florestal e outros (**Calijuri e Lorentz, 2003b**).

### **2.7.2. Elementos de um SIG**

Os sistemas de informações geográficas compreendem cinco elementos básicos, como ilustrado na **figura 28**, que operam em um contexto institucional (**Calijuri e Lorentz, 2003b**):

- a) **Hardware**: são os computadores e seus periféricos específicos. Os computadores podem ser desde um simples PC (Personal Computer – Computador Pessoal) até os computadores de alta performance, como os minicomputadores. Entre os periféricos específicos, são utilizados os periféricos de entrada (mesa digitalizadora, scanners, etc) e de saída (impressoras e plotadoras, entre os mais comuns);
- b) **Software**: o software de SIG é desenvolvido em níveis sofisticados, constituído de módulos que executam as mais variadas funções. No mercado existem diversos programas de SIG, sendo que alguns são consagrados pela sua eficiência que pode ser comprovada, principalmente, pelo número de usuários. No Brasil, o Idrisi, o ArcView, o MapInfo, o ArcInfo, o Spring são alguns dos mais utilizados;

- c) **Dados**: são elementos fundamentais para o SIG. A coleta, armazenamento e manipulação dos dados geográficos representam a maior parte do custo de implantação de um SIG, pois são necessários grandes volumes de informações para solucionar problemas geográficos;
- d) **Profissional**: por ser responsável pelo projeto, implementação e uso do SIG, o profissional pode ser considerado o elemento mais importante. Para o sucesso de um projeto de SIG, os profissionais envolvidos deverão estar adequadamente treinados e ter uma visão global do contexto;
- e) **Métodos**: envolvem todas as técnicas, critérios e experiências que irão nortear o uso do SIG na solução dos problemas apresentados.



Figura 28: Componentes de um SIG

### 2.7.3. Principais módulos de um SIG

De acordo com Calijuri e Lorentz (2003b), atualmente existe um grande número de softwares de SIG que, entretanto, podem ter diferenças significativas principalmente no modo como representam e trabalham com os dados geográficos e a ênfase dada às diversas operações.

Um verdadeiro SIG é constituído por vários módulos com funções de armazenar, analisar e apresentar os dados geográficos. A figura 29 apresenta os principais módulos

e como eles interagem em um SIG. A seguir é apresentada sucintamente a descrição de cada módulo (Calijuri e Lorentz, 2003b):

- a) *Banco de dados espaciais e de atributos*: é o núcleo do sistema e pode ser entendido como uma coleção de mapas e informações associadas na forma digital. O banco de dados é composto por dois elementos, um banco de dados espaciais descrevendo a geografia (forma e posição) das características da superfície do terreno, e um banco de dados de atributos descrevendo as características ou qualidades destas características. Em alguns sistemas o banco de dados espaciais e o de atributos são rigidamente distintos e em outros são integrados em uma entidade simples;
- b) *Sistema de apresentação cartográfica*: é um dos módulos mais básicos do SIG; permite a extração de elementos selecionados do banco de dados e a produção de mapas no monitor de vídeo, ou cópia impressa utilizando impressora ou plotter;
- c) *Sistema de digitalização de mapas*: permite que mapas existentes, em papel, sejam convertidos para a forma digital. Este sistema além de conter módulos para digitalização é provido de ferramentas para a edição de mapas;
- d) *Sistema de gerenciamento de banco de dados*: um SIG incorpora não somente um tradicional sistema gerenciador de banco de dados, mas também uma variedade de utilitários para gerenciar os componentes espaciais e de atributos do dado geográfico armazenado;
- e) *Sistema de análise geográfica*: com o sistema de análise geográfica é ampliada a capacidade de consultas tradicionais ao banco de dados, incluindo a potencialidade da análise de dados baseada em sua localização. A componente geográfica dá ao SIG sua verdadeira identidade e a uma função overlay, sua marca registrada;
- f) *Sistema de processamento de imagens*: possibilita a análise de imagens de sensoriamento remoto, tais como Landsat, Ciber e Ikonos. Através da conversão dessas imagens em dados de mapas, interpretados de acordo com vários processos de classificação;

- g) *Sistema de análises estatísticas*: este sistema oferece procedimentos estatísticos tradicionais e rotinas especializadas para a análise estatística da dado espacial.

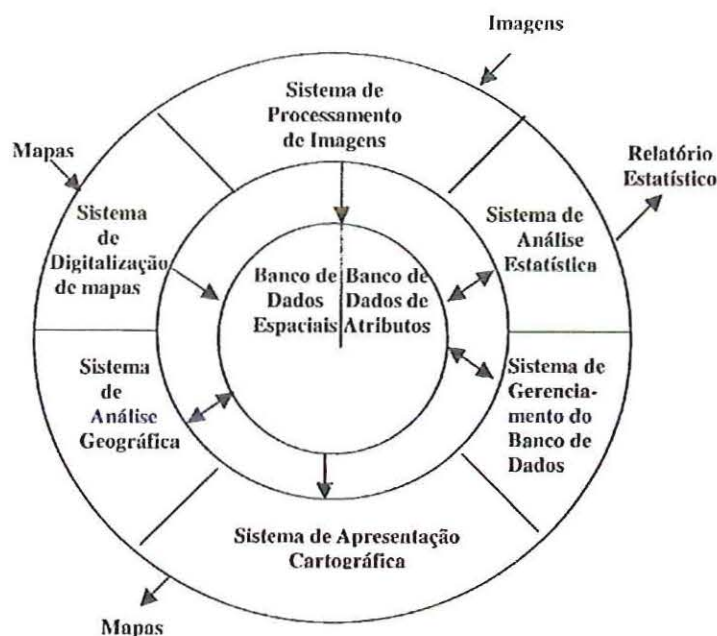


Figura 29: principais componentes de um SIG  
(fonte: Calijuri e Lorentz, 2003b)

Segundo Calijuri e Lorentz (2003b), a amostragem do mundo real deve considerar que:

- o mundo é infinitamente complexo;
- o conteúdo do banco de dados espaciais representa uma visão particular do mundo real;
- o usuário vê o mundo real através do banco de dados;
- os dados contidos no banco de dados devem apresentar uma visão a mais completa e precisa possível do mundo real;
- o conteúdo do banco de dados deve ser relevante em termos de temas e características armazenadas, período de tempo coberto e área de estudo.

A figura 30 apresenta um esquema da representação temática de dados reais em

SIG.



Figura 30: Amostragem e representação de dados reais em SIG.  
(fonte: Adaptado de Esri, 1999 apud Calijuri e Lorentz., 2003b)

#### 2.7.5. Representação de dados de mapas

Um SIG armazena dois tipos de dados que são encontrados em um mapa (Calijuri e Lorentz, 2003b):

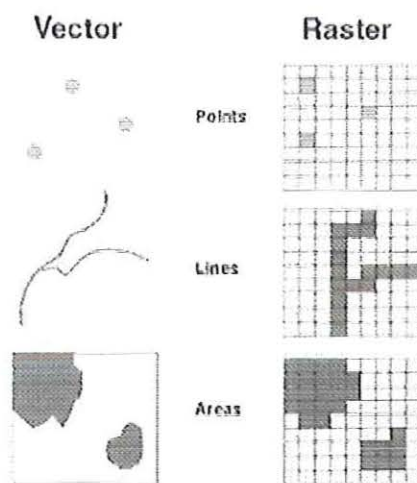
- as definições geográficas das características da superfície da terra;
- os atributos ou as qualidades que estas características possuem.

Existem duas técnicas de representação em SIG: vetorial (vector) e matricial (raster).

Na representação vetorial, os limites das características são definidos por uma série de pontos que, quando interligados por segmentos de retas, formam a representação gráfica daquela característica. Os pontos são codificados com um par de números os quais fornecem as coordenadas x e y correspondentes ao sistema de referência do mapa original (latitude/longitude, UTM – Universal Transverse Mercator, etc). Os atributos das características são armazenados em um tradicional sistema gerenciador de banco de dados (DBMS).

Na representação matricial (raster), a representação gráfica das características e atributos que elas possuem são armazenados em arquivos de dados unificados. A área estudada é subdividida em uma malha de células onde é registrado a condição ou atributo da superfície do terreno naquele ponto. A cada célula (pixel) é atribuído um valor numérico que pode representar uma característica identificadora, um código de atributo qualitativo ou um valor quantitativo de atributo.

A **figura 31** mostra as feições cartográficas – pontos, linhas e áreas – representadas pelos formatos: vetorial (vector) e matricial (raster).



**Figura 31:** Feições cartográficas (pontos, linhas e áreas) representadas pelos formatos vetorial (vector) e matricial (raster). (fonte: Esri, 1999 apud Calijuri e Lorentz, 2003b)

## 2.8. Análise estratégica de decisão

### 2.8.1. Definição

A análise estratégica de decisão, também conhecida como análise multicritério ou, ainda, análise multiobjetivo, consiste em um processo de tomada de decisão avaliando-se diversos critérios de acordo com sua importância ou peso relativo que exercem, por exemplo, na escolha de áreas aptas à implantação de aterro sanitário. Os critérios podem ser restrições ou fatores. As restrições são fundamentadas na lógica booleana (verdadeiro ou falso), ou seja, uma área pode ser considerada apta ou não apta. Já os fatores definem um certo grau de aptidão para todas as áreas de acordo com uma escala contínua, exceto para aquelas que foram descartadas por exclusão absoluta. Os fatores fundamentam-se na lógica fuzzy.

### 2.8.2. Teoria da decisão

Decisão é uma escolha entre várias alternativas. As alternativas podem representar caminhos diferentes de ação, diferentes hipóteses sobre determinada característica, classificações diferentes, e assim por diante. Este conjunto de alternativas é chamado de *quadro de decisão*.

A teoria da decisão, portanto, é a lógica que permite decidir entre várias opções, o que implica sempre a existência de diversas alternativas ou diversas hipóteses.

O potencial de análise dos sistemas de informação geográfica faz com que estes se apresentem como uma grande área de aplicação destes conceitos. Desta forma, quando se conjuga SIG e decisão, diferenciam-se duas formas usuais de utilização:

- Decisão com base em regras e
- Decisão por alocação de meios.

No primeiro caso, os sistemas de informações geográficas são utilizados para informar ao decisor, criando respostas espaciais que, de outra forma, dificilmente poderiam ser assimiladas, sendo assim uma forma de modelagem que, em grande parte dos casos, fornece origem a processos recursivos de análise, em que o objetivo é simular um determinado fenômeno.

No segundo contexto, integra-se grande parte das análises de gestão e planejamento espacial sendo, por isso, uma das vertentes de análise em SIG que mais se tem desenvolvido.

### **2.8.3. Regra da decisão**

Segundo **Eastman (2001)** o procedimento pelo qual os critérios são selecionados e combinados para chegar a uma avaliação particular, e pelas quais avaliações são comparadas e influenciadas, é conhecido como uma regra de decisão. Uma regra de decisão pode ser como uma simples aplicação de um limiar para um único critério ou ela pode ser como um complexo envolvimento na comparação de avaliações de vários critérios.

A regra da decisão é o processo no qual se combinam os diversos critérios e também como se esquematiza a decisão dentro das diversas possibilidades que um critério pode apresentar (**Grupo Crise, 2003**).

As decisões podem basear-se em dois tipos de regras:

- *Matemática*: é desenvolvida uma função matemática que permite comparar as diversas alternativas;
- *Heurística*: é desenvolvido um procedimento de análise em que se integram regras indutivas no sentido de simplificar a análise de comparação. Existem casos em que os resultados são idênticos e outros em que apenas se consegue uma aproximação.

#### *2.8.4. Decisor*

Diante de problemas grandes e complexos, o decisor normalmente possui capacidades cognitivas limitadas podendo sucumbir diante de uma variedade de tendências, não conseguir uma solução singular que satisfaça diferentes interesses e carecer da certeza de que sua decisão conduzirá aos resultados esperados (**Eirman et al., 1995** apud **Rafaeli Neto, 2000**). Seu julgamento depende de percepção, entendimento, racionalização, conhecimento e prática.

Decidir sobre um problema espacial implica em realizar ponderações sobre o estado atual e desejado do sistema geográfico. Os requisitos mínimos para uma tomada de decisão responsável são conhecer o sistema, de tal forma a explicar seu comportamento, e contar com alternativas qualificadas de solução. Tendo em vista a complexidade de tais problemas e a necessidade de soluções de qualidade, o decisor necessita contar com métodos, técnicas e tecnologias de suporte (**Rafaeli Neto, 2000**).

#### *2.8.5. Tomada de decisão*

Tomada de decisão é um aspecto importante no planejamento, na gerência e nas atividades operacionais das organizações. Tomada de decisão é o ato final de um processo que visa solucionar um ou mais problemas de um domínio de aplicação. No domínio geográfico, problemas espaciais tendem a ser novos, grandes, complexos, e mal estruturados. Sua complexidade depende de uma série de variáveis de natureza geográfica, técnica, organizacional, social e temporal (**Hendriks e Vriens, 1995** apud **Rafaeli Neto, 2000**).

**Simon (1960)** apud **Rafaeli Neto (2000)** desenvolveu uma metodologia em que o decisor passa por três etapas fundamentais: inteligência, projeto e escolha.

A etapa de inteligência se caracteriza por ser essencialmente investigativa, a etapa de projeto se pauta na busca da solução, sendo uma atividade difícil e complexa na qual o decisor deve contar com o modelo matemático do sistema geográfico. Este tem o papel fundamental de prover ambiente virtual com o qual o decisor possa interagir. Modelos matemáticos do sistema real auxiliam a estimar as conseqüências da decisão e tranquilizar o decisor quanto à qualidade da decisão a ser tomada.

A decisão é efetivamente tomada na etapa de escolha em que três situações se distinguem (**Rafaeli Neto, 2000**):

- *Decisão sob certeza*, onde as variáveis que afluem para o problema são bem conhecidas. A solução já é conhecida no início do processo decisório, particularmente nas situações em que o problema costuma ocorrer com frequência. Isto ocorre quando o problema é bem definido, o que normalmente não é o caso dos problemas espaciais;
- *Decisão sob risco*, onde não há garantias quanto às conseqüências da decisão, ou seja, o decisor assume riscos dentro de parâmetros probabilísticos. Isto pode ocorrer devido ao papel dos agentes que concorrem para o problema não serem claramente definidos, o ambiente das decisões é mal conhecido ou complexo, há carência de conhecimento especialista ou há critérios de decisão mal elaborados. É o caso de problemas espaciais que envolvem fenômenos não previstos (naturais ou feitos pelo homem). A solução requerida é especialmente desenvolvida para as circunstâncias, ou então adaptada para se ajustar a uma situação particular;
- *Decisão sob incerteza*, onde as conseqüências da decisão não podem ser avaliadas numericamente devido à ausência de teoria relevante que dê suporte à formulação do problema ou à geração de alternativas de solução. Por exemplo, o impacto da construção de uma grande barragem sobre a flora e a fauna da área a ser inundada é difícil de ser quantificado, seja em termos determinísticos, seja em termos probabilísticos.

Em quaisquer das três situações acima as alternativas de solução podem ser assistidas por técnicas de escolha formal, baseada em análise multicritério.

### **2.9. Análise multicritério em ambiente SIG**

A análise multicritério (ou Multi Criteria Evaluation – MCE) é uma ferramenta de apoio à decisão em SIG porque envolve uma variedade de dados geográficos e possibilita uma sistematização de todos os critérios envolvidos no processo, assim como uma interação do analista com todas as etapas intermediárias (Xavier, 2001).

Os dois principais tipos de análises realizadas em ambiente SIG são a análise booleana e a análise envolvendo fatores em escala contínua de adequabilidade.

### 2.9.1. Análise booleana

As informações na análise booleana são consideradas como restrições, isto é, limitações absolutas as quais definem áreas aptas (assumindo valor um) e não aptas (assumindo valor zero).

As restrições, como explicado anteriormente, são fundamentadas em critérios booleanos (verdadeiro ou falso) que cerceiam e limitam a análise em regiões geográficas específicas (Calijuri e Lorentz, 2003a). Na maioria dos casos, uma restrição traduz-se na criação de limitações ao espaço de análise, definindo as alternativas não elegíveis, as quais deverão ser excluídas do espaço inicial de soluções possíveis (Ramos e Mendes, 2001). Um exemplo, são as áreas de proteção ambiental (APA) em que a legislação não permite a instalação de empreendimentos que provoquem poluição e, portanto, na análise multicritério são consideradas áreas de exclusão absoluta.

Os valores de diferentes critérios, normalmente não são comparáveis entre si, inviabilizando sua agregação imediata (Ramos e Mendes, 2001). Para isso, é necessária a padronização (ou normalização) para a mesma escala de valores, neste caso, zero (0) e um (1).

Segundo Xavier (2001), após a padronização dos critérios em restrições, segue o processo de análise booleana com o uso de operações para agregações das mesmas, a saber:

- *And*: apresenta aversão ao risco, pois o resultado da agregação entre as restrições requer que todos os critérios sejam satisfeitos. A operação é a multiplicação (semelhante à interseção entre conjuntos);
- *Or*: apresenta risco extremo, pois o resultado da agregação entre as restrições requer que pelo menos um critério seja satisfeito. A operação é a adição (semelhante à união entre conjuntos).

Esta análise apresenta algumas limitações, dentre elas, pode-se citar:

- os limites são rígidos, ou seja, as áreas são aptas (1) ou não aptas (0);

- todos os critérios têm igual importância no mapa de adequabilidade. Porém, alguns critérios podem ter muito mais importância do que outros na determinação da adequabilidade de uma área e
- a adequabilidade em um critério não compensa a falta de adequabilidade em outro, assim não há compensação no processo de agregação.

### *2.9.2. Análise em termos de adequabilidade*

As propriedades de não compensação e limites rígidos podem ser apropriadas em muitos casos, entretanto, em outros poderiam ser mais interessante que um critério pudesse compensar o outro. Isto estaria condicionado a um certo grau de adequabilidade (Calijuri e Lorentz, 2003a).

Na análise em termos de adequabilidade, as informações são consideradas como fatores, ou seja, limitações relativas que definem algum grau de aptidão às regiões geográficas (Calijuri e Lorentz, 2003a). Normalmente esta aptidão é medida numa escala contínua e de forma a abranger todo o espaço de solução inicialmente prevista (Ramos e Mendes, 2001).

O conceito fuzzy, neste caso, é utilizado para representar uma variável de acordo com seu grau de adequabilidade.

A lógica fuzzy, baseada na teoria dos conjuntos fuzzy, serve de base para os modos de raciocínio que são aproximados ao invés de exatos. Os conceitos de lógica fuzzy podem ser utilizados para traduzir, em termos matemáticos, os graus de certeza (ou incerteza) de variáveis lingüísticas.

A variável lingüística é aquela cujos valores são nomes de conjuntos fuzzy, por exemplo, a temperatura de um determinado processo poderia ser uma variável lingüística assumindo valores baixa, média e alta, os quais podem ser descritos por intermédio dos conjuntos fuzzy.

O conjunto nebuloso (ou conjunto fuzzy), por sua vez, é uma coleção de objetos com características comuns, porém, esses objetos possuem mais de uma maneira de se relacionar ao conjunto, além de pertencentes ou não pertencentes.

Resumindo, a teoria dos conjuntos nebulosos tenta traduzir, em termos formais, a informação imprecisa que ocorre de maneira natural na representação dos fenômenos da natureza, como descrito por humanos numa linguagem corriqueira.

Com o advento dessa teoria, obteve-se uma estrutura conceitual apropriada de tomada de decisão, pois a lógica fuzzy auxilia a diminuir a subjetividade na escolha e a aumentar o raciocínio no processo de decisão (Calijuri e Lorentz, 2003).

Na seleção de áreas para aterros sanitários, estudos utilizando lógica fuzzy mostraram que resultados com operações booleanas, base matemática dos SIGs convencionais, apresentaram uma falha de 35,6% na seleção final de áreas potenciais quando comparados com as análises realizadas utilizando o conceito fuzzy (Charnpratheep et al., 1997)

As restrições necessárias atuam como “máscaras” no final do processo de agregação (Calijuri e Lorentz, 2003a).

#### **2.9.2.1. Padronização dos critérios**

A padronização dos critérios é o processo no qual os valores originais são normalizados a uma escala contínua de adequabilidade de 0 (zero), a menos adequada, a 255, a mais adequada. Sua finalidade é reescalar os fatores a uma escala contínua padrão para serem comparados e combinados como no caso booleano, evitando, dessa forma, a decisão booleana rígida em absolutamente adequado, ou não, para um dado critério (Calijuri e Lorentz, 2003a).

Segundo Melo (2001), o processo de padronização (ou normalização) é, na sua essência, idêntico ao processo introduzido pelo conceito fuzzy, segundo o qual, um conjunto de valores expressos numa dada escala é convertido em outro comparável, expresso numa escala normalizada (por exemplo, 0 a 255). O resultado expressa um grau relativo de pertinência a um conjunto o qual varia de 0 a 255, indicando um crescimento contínuo de não-pertinência (0) até pertinência total (255).

Para a normalização dos critérios, várias são as funções que podem representar a variação entre o ponto mínimo (0) e o ponto máximo (255). As mais utilizadas, denominadas de funções fuzzy, são (Calijuri e Lorentz, 2003):

##### **a) Sigmoidal**

A função sigmoidal é a mais utilizada na teoria de conjuntos fuzzy e sua curva descreve uma função cosseno. A operação requer as posições de quatro pontos ao longo do eixo X para indicar a forma da curva. Como indicado nos gráficos da **figura 32**, os pontos a, b, c e d representam os pontos de controle da curva. Os gráficos mostram as diferentes possibilidades da função sigmoidal e as posições dos pontos de controle.

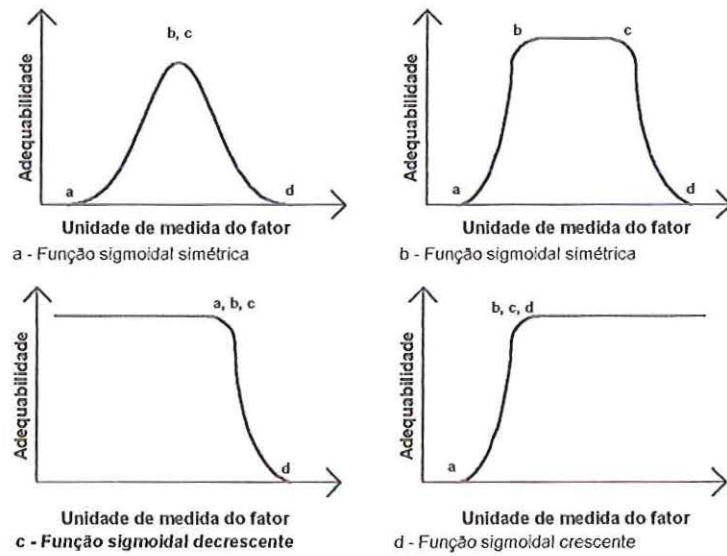


Figura 32: função sigmoidal

### b) J-Shaped

A função J-Shaped, **figura 33**, também é uma função comumente usada na teoria de conjuntos fuzzy, embora na maioria dos casos pudesse parecer que uma função sigmoidal fosse melhor.

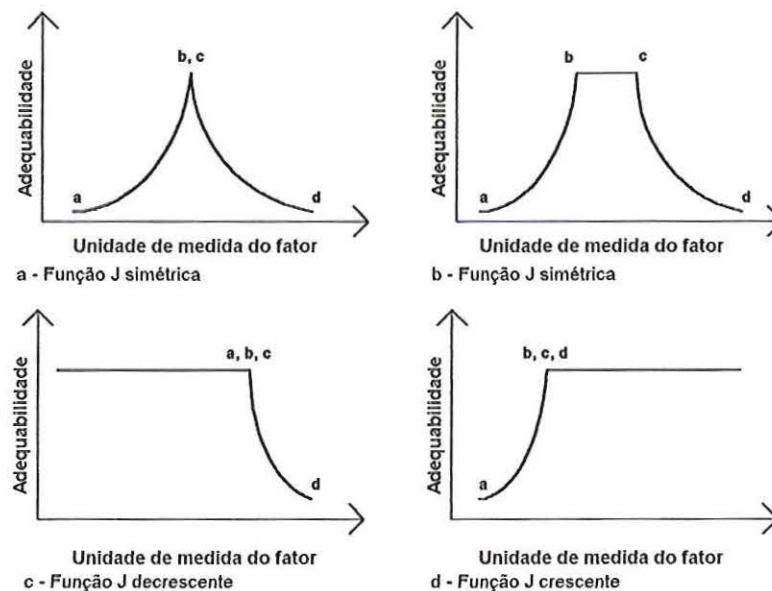
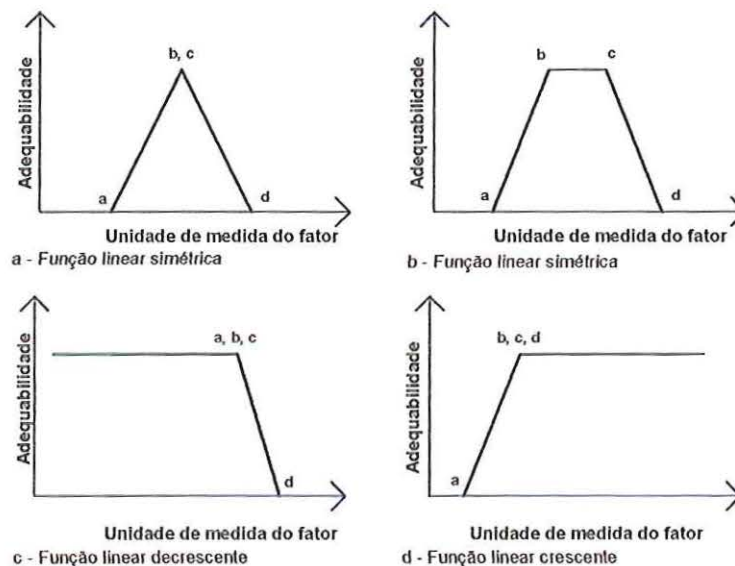


Figura 33: função J-Shaped

### c) Linear

A função linear é muito aplicada em dispositivos eletrônicos, em parte devido a sua simplicidade, mas também devido a necessidade de monitorar a saída de sensores

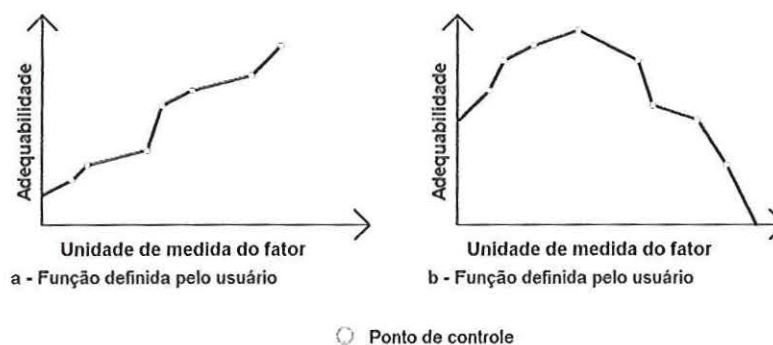
essencialmente lineares. A **figura 34** mostra a função linear, suas variações e a posição dos pontos de inflexão.



**Figura 34:** função linear

#### d) Definida pelo usuário

Quando o relacionamento entre o valor e o membro fuzzy não segue nenhuma das três funções acima, a função definida pelo usuário é a que mais se aplica. Os pontos usados nesta função podem ser tantos quantos forem necessários para definir a curva. Membros fuzzy entre quaisquer dois pontos de controle são linearmente interpolados, como mostrado na **figura 35**.



**Figura 35:** função definida pelo usuário

### 2.9.2.2. Avaliação de pesos para os critérios

Uma das maiores dificuldades encontradas em um processo decisório envolvendo múltiplos critérios é a forma como se deve quantificar a importância relativa de cada um deles, soma-se a isso o fato de que cada critério possui graus de importância variáveis para diferentes decisores. Portanto, é necessário definir a importância relativa de cada critério no processo de decisão, atribuindo um determinado peso a cada critério interveniente. A correta atribuição de pesos é importante para que sejam mantidas as preferências dos decisores (Melo, 2001).

Segundo Melo (2001), embora não exista um método consensual para a definição de pesos, a literatura menciona várias propostas de procedimento para esta etapa. Ramos (2000) apud Melo (2001), cita os métodos baseados no ordenamento de critérios, métodos baseados em escalas de pontos, métodos baseados em distribuição de pontos e métodos baseados na comparação par-a-par de critérios.

### 2.9.2.3. Agregação de critérios

Uma vez normalizados os pesos dos critérios para um intervalo fixado, por exemplo, 0 a 255, estes são agregados de acordo com a regra de decisão. Entre os diversos métodos de combinação de critérios existentes, os mais relevantes são a Combinação Linear Ponderada (Weighted Linear Combination – WLC) e a Média Ponderada Ordenada (Ordered Weighted Average – OWA).

#### a) Combinação linear ponderada

De acordo com Calijuri e Lorentz (2003), a Combinação Linear Ponderada ou Weighted Linear Combination (WLC) é um método de padronização em que os fatores não são reduzidos a simples critérios booleanos, mas, sim, são padronizados a uma escala contínua de adequabilidade, que pode ser de zero (menos adequada) a 255 (mais adequada) ou de zero (menos adequada) a um (mais adequada) .

O procedimento WLC combina os fatores através de uma média ponderada dada pela equação (Voogd, 1983):

$$S = \sum w_i \cdot x_i \quad (1)$$

onde:

S é o valor final de adequabilidade;

$w_i$  é o peso do fator  $i$ ;

$x_i$  é o valor normalizado para o mesmo fator.

Em casos onde restrições booleanas também se aplicam, o procedimento pode ser modificado multiplicando a adequabilidade calculada dos fatores pelo produto das restrições:

$$S = \sum w_i x_i * \prod c_j \quad (2)$$

onde:

$S$  é o valor final de adequabilidade;

$w_i$  é o peso do fator  $i$ ;

$x_i$  é o valor normalizado para o mesmo fator.

$c_j$  é registro do critério para a restrição  $j$ ;

$\Pi$  é produto das restrições.

O somatório dos pesos é a unidade, logo, o valor final é calculado na mesma escala dos valores normalizados dos fatores.

Segundo **Calijuri e Melo (2003)**, a técnica de agregação WLC permite a compensação total entre os fatores através da aplicação de pesos ponderados, também chamados de pesos dos fatores. O risco assumido na análise é médio, exatamente entre o And (mínimo) e o Or (máximo) da análise booleana. Com a WLC os fatores são combinados aplicando um peso para cada um deles, seguido pela adição dos resultados para produzir um mapa final de adequabilidade.

Para **Ramos e Mendes (2001)**, a característica mais importante desse procedimento é a possibilidade de haver compensação (trade-off) entre os critérios, o que significa que uma baixa adequabilidade em um determinado fator pode ser compensada por um conjunto de boas adequabilidades em outros.

#### ***b) Média ponderada ordenada***

O procedimento Ordered Weighted Average (OWA) ou, na tradução, Média Ponderada Ordenada, além de utilizar os pesos de critérios utilizados no procedimento WLC, considera um outro conjunto de pesos que não está especificamente relacionado a algum fator, mas que são a eles aplicados por uma ordem que depende dos valores

assumidos pelos fatores após a aplicação normal do primeiro conjunto de pesos (Yager, 1988).

Estes novos pesos denominam-se pesos ordenados (order weights), pois sua aplicação depende de uma determinada ordenação dos fatores que são agregados (Eastman, 2001).

O segundo conjunto de pesos permite controlar o nível total de compensação (trade-off) entre os fatores e o nível de risco (andness) na determinação da adequabilidade. O fator com menor adequabilidade recebe o primeiro peso ordenado, o fator com o segundo menor valor recebe o segundo peso ordenado, e assim sucessivamente, ou seja, os fatores são ponderados com base em sua ordem, do mínimo para o máximo.

De acordo com Ramos e Mendes (2001), variando esse segundo conjunto de pesos, o procedimento OWA permite a implementação de uma gama infinita de opções de agregação.

Para Eastman (2001), em um processo de decisão envolvendo três fatores, se for aplicado todo o peso ordenado ao fator com menor adequabilidade, o resultado será uma solução conservadora, ou seja, de aversão ao risco, semelhante ao operador lógico And. Por outro lado, se todo o peso for atribuído ao fator com maior adequabilidade, a solução será de risco elevado, equivalente ao operador Or. Se for atribuído um conjunto de pesos iguais a todos os fatores, resultaria em uma solução de risco mínimo, análogo ao operador WLC, que nada mais é do que um caso particular de OWA. O deslocamento dos pesos ordenados no sentido do mínimo ou do máximo controla o nível de risco (andness), por sua vez, a homogeneidade de distribuição dos pesos ordenados pelas posições controla a compensação (trade-off).

A figura 36 ilustra o espaço estratégico de decisão OWA, onde se percebe que, além dos casos particulares mencionados, qualquer combinação de pesos ordenados é possível, desde que o somatório dos mesmos seja a unidade.

O nível de risco é medida pela variável RISCO, dada pela seguinte equação (Eastman, 2001):

$$RISCO = \frac{1}{n-1} \times \sum_i [(n-i) \times O_i] \quad (3)$$

A compensação, por sua vez, é representada por:

$$COMPENSAÇÃO = 1 - \sqrt{\frac{n \times \sum_i \left(O_i - \frac{1}{n}\right)^2}{n-1}} \quad (4)$$

onde,

n é o número total de fatores;

i é a ordem do fator;

$O_i$  é o peso para o fator de ordem i

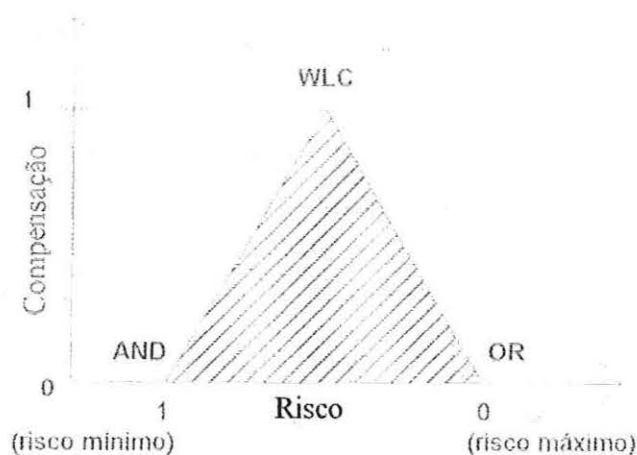


Figura 36: Espaço estratégico de decisão (OWA)  
(Adaptado de Ramos e Mendes, 2001).

### 2.9.3. Estrutura do modelo de análise multicritério

De acordo com Ramos et al. (2001) apud Melo (2001), o modelo de avaliação é estruturado em níveis hierárquicos de análise, podendo definir-se dentro de cada grupo de critérios. Estes grupos são processados de acordo com uma seqüência que envolve a sua normalização (ou padronização), a aplicação dos pesos respectivos e a sua combinação.

Esta seqüência, a implementar num ambiente SIG para cada grupo de critérios e nível de análise, é apresentada na figura 37, onde se indicam também as técnicas de avaliação multicritério aplicáveis.

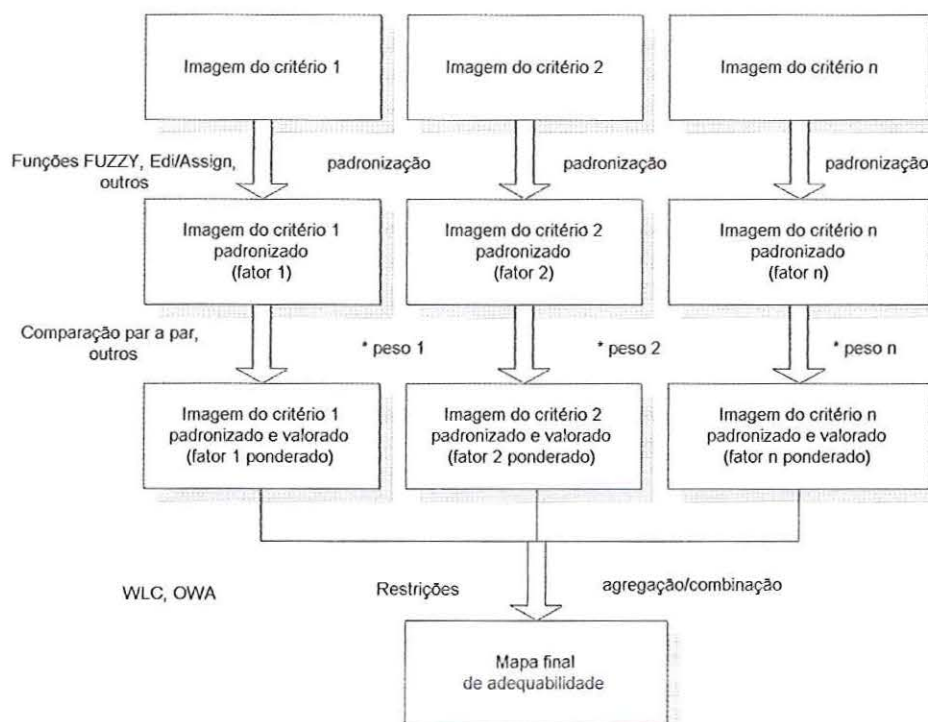


Figura 37: Estrutura de análise por nível e grupo de critérios (adaptado de Ramos et al., 2001, apud Melo, 2001)

## 2.10. Metodologias para avaliação e seleção de áreas para aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos

Segundo McBean (1995) uma metodologia de seleção de áreas para aterro sanitário deverá organizar a busca do local mais adequado. A evolução dos estudos terá que ser capaz de ordenar e aplicar os critérios de seleção de área de forma lógica e defensiva.

A seguir são apresentadas algumas metodologias, sendo que as mais recentes utilizam métodos computacionais para aumentar a eficiência na seleção de locais para aterro sanitário.

### a) Andrade (1999)

Andrade (1999) apresenta uma metodologia computacional de seleção de áreas para aterro sanitário desenvolvida em um ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), envolvendo a edição e manipulação de dados cartográficos e temáticos básicos, a definição de parâmetros de exclusão, análises de rede e sobreposição topológica.

A metodologia empregada utiliza a lógica booleana (0 ou 1) para classificar as áreas de uma determinada região de estudo, ou seja, as áreas são consideradas

apropriadas (1) ou não apropriadas (0). Essa classificação é realizada em mapas de uso do solo, modelo de elevação do terreno, declividade, vulnerabilidade geotécnica, hidrogeológico e outros.

Após essa etapa inicial, é empregada a sobreposição topológica em que os mapas são combinados dois a dois e suas áreas são reclassificadas novamente em apropriadas e não apropriadas. No caso de em duas áreas sobrepostas, uma aparecer como apropriada e outra como não apropriada, a área é reclassificada como não apropriada, ou seja, o critério mais restritivo prevalece sobre o menos restritivo.

#### **b) Bagchi (1994)**

Na seleção preliminar de áreas favoráveis à disposição de resíduos sólidos, **Bagchi (1994)** adota o conceito de “raio de busca” (search radius). O raio corresponde a máxima distância de transporte, considerada econômica, entre o centro gerador de resíduos sólidos e o aterro a ser implantado.

Dentro do raio de busca, partindo-se do centro, determinam-se os melhores locais para aterro sanitário através da coleta de dados (mapas, cartas, etc.), de critérios técnicos, ambientais e econômicos e, por último, da avaliação preliminar da reação pública frente a instalação de aterros próximos as suas propriedades.

A coleta de dados envolve o estudo de mapas topográficos, pedológicos, rodoviário, ferroviário, aeroportuários, hidrográficos, geológicos e mapas de uso e ocupação do solo. O autor recomenda o uso de fotografias aéreas para facilitar a seleção de áreas para aterro.

Os critérios considerados referem-se, principalmente, ao cumprimento da legislação local em relação as distâncias mínimas dos corpos aquáticos (rios, lagos, represas, etc.), áreas de inundação, rodovias, aeroportos, parques públicos e áreas habitadas.

Para evitar uma reação adversa do público, conhecida como NIMBY (Not In My Back Yard ou, numa tradução livre, “não em meu quintal”), estes deverão ser informados previamente sobre a intenção de construção de aterro próximo as suas propriedades. O NIMBY, inicialmente, é alto, porém, pode ser amenizado através de audiência pública para esclarecer as dúvidas e atender as exigências da população. Segundo o autor, barulho, poeira, mau cheiro, aumento do tráfego de caminhões e desvalorização das áreas próximas ao aterro são preocupações maiores do que contaminação das águas subterrâneas.

A seleção final do local (ou locais) definitivo dependerá da reação do público frente a escolha e das investigações geotécnicas para evitar a contaminação das águas subterrâneas e para determinar a proximidade de material de empréstimo (solo ideal) para cobertura dos resíduos.

**c) Consoni et al. (2000b)**

**Consoni et al. (2000b)** dividem a seleção de áreas em três etapas:

- levantamento de dados gerais;
- pré-seleção (escala regional) e
- estudos para a viabilização de áreas pré-selecionadas (escala local).

A etapa inicial, levantamento de dados regionais, consiste na aquisição de informações referentes a dados populacionais, características do lixo e forma de coleta e transporte do lixo. A finalidade é estimar a produção de lixo e, com isso, dimensionar a capacidade e forma de funcionamento do futuro aterro.

A pré-seleção, por sua vez, visa obter o máximo de informações possíveis sobre a geologia, geomorfologia, pedologia, hidrografia, hidrogeologia, clima, legislação e aspectos sócio-econômicos para satisfazer critérios ambientais, técnicos e sócio-econômicos.

As áreas mais favoráveis, ou seja, aquelas que atenderem ao maior número de critérios, são classificadas em três categorias:

- recomendada: atendem as normas vigentes e exigem baixo investimento para sua implantação;
- recomendada com restrições: exigem medidas complementares de médio investimento;
- não recomendada: por exigirem altos investimentos para sua implantação, seu uso torna-se inviável.

Porém, as áreas prioritárias para pré-seleção serão aquelas indicadas pela municipalidade. Somente no caso destas áreas serem consideradas não recomendadas, outras áreas serão priorizadas para seleção.

Por fim, a etapa final restringe-se a escolha de apenas três áreas selecionadas na etapa anterior com o objetivo de reduzir os custos de trabalho de campo. Nesta etapa são realizados estudos do meio físico e investigações geotécnicas nos locais.

A escolha da área final recairá sobre aquela que atender aos critérios já mencionados.

#### **d) Kataoka (2000)**

**Kataoka (2000)** propõe uma metodologia de seleção de áreas para aterro sanitário industrial, mas a qual pode ser perfeitamente aplicada na escolha de áreas para aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos, bastando, para isso, considerar apenas os critérios de seleção referente ao lixo urbano.

A metodologia baseia-se no preenchimento de planilhas para gerenciamento ambiental. O objetivo da planilha é uniformizar os critérios de análise dos EIA/RIMA e documentar todo o processo de aprovação e solicitação de complementações.

O princípio básico da planilha é a comparação de dados apresentados frente as exigências necessárias aos estudos numa visão exclusivamente técnica, considerando os componentes do meio físico, biológico e sócio econômico.

Com base nesses critérios, é atribuída aos itens da planilha uma pontuação máxima de três pontos que corresponde aos estudos considerados fundamentais. Valores menores (dois e um pontos) são atribuídos para os itens de importância secundária. A pontuação total dos itens da planilha atinge um total máximo de 100 pontos.

A proposta de **Kataoka (2000)** avalia os locais de acordo com três faixas de pontuação:

- menor que 51 pontos: análise inadequada;
- entre 51 a 80 pontos: análise regular;
- maior que 80 pontos: análise adequada.

#### **e) McBean et al. (1995)**

**McBean et al. (1995)** apresentam uma série de metodologias sendo que a aplicação de uma ou outra é em função do estágio da avaliação (por exemplo, avaliação preliminar ou avaliação detalhada) e da disponibilidade de dados caracterizando o local e os possíveis efeitos do aterro no meio ambiente.

As metodologias mencionadas por **McBean et al. (1995)** são os métodos Ad Hoc, Checklist, Econômico, Cartográfico, Comparação Par-a-Par e Matriz.

O método Ad Hoc baseia-se no julgamento do profissional e descreve os impactos na forma de observações sem, entretanto, explicitar critérios específicos, pesos ou avaliações que possam ordenar as preferências dos profissionais envolvidos.

A comparação e avaliação entre alternativas diante de um conjunto específico de critérios sem nenhuma compensação caracteriza o método Checklist. Os resultados são expressos simplesmente com respostas sim ou não.

O método Econômico procura representar todos os aspectos de um projeto em termos monetários. Custos e benefícios são expressos na disposição dos indivíduos em pagarem pelos benefícios.

O método Cartográfico compara e avalia alternativas utilizando mapas e são empregados no fase de identificação dos locais para aterro.

No método da Comparação Par-a-Par utiliza-se de uma comparação sequencial de alternativas aos pares para, em seguida, serem ordenadas em ordem de preferência. Este procedimento é refinado com o uso dos conjuntos fuzzy com a finalidade de ordenar as preferências de acordo com a importância de cada critério considerado (ambientais, técnicos, econômicos e sociais).

O método da Matriz, por sua vez, utiliza uma matriz para resumir, comparar e avaliar critérios e alternativas. As matrizes descritivas caracterizam-se pelo ordenamento das preferências (critérios) de acordo com o julgamento do profissional e esse método representa uma extensão menor do método Ad Hoc. As matrizes matemáticas incluem modelos adicionais e utilizam operações matemáticas para ordenar as preferências e possibilitar compensações para serem aplicados entre os atributos. Os procedimentos das matrizes são particularmente úteis para avaliar a sensibilidade dos procedimentos de seleção diante das incertezas das suposições ou dados assumidos.

#### **f) Melo (2001)**

A metodologia proposta por **Melo (2001)** emprega a análise estratégica de decisão, a lógica fuzzy e operadores de agregação que, além de considerarem as compensações entre os fatores, levam em conta o risco que o analista deseja assumir na avaliação de áreas.

De acordo com **Melo (2001)** o modelo considerou três grupos de critérios: ambiental, operacional e sócio-econômicos. Esses grupos foram processados em uma seqüência de três etapas: padronização ou normalização dos fatores com aplicação da

lógica fuzzy, valoração dos fatores por meio da comparação par-a-par e, por fim, agregação utilizando combinação linear ponderada e média ponderada ordenada.

A normalização dos fatores considerou uma escala contínua crescente de adequabilidade de 0 (zero) a 255, de acordo com a aplicação da lógica fuzzy. Os critérios de restrição, por sua vez, seguiram a lógica booleana, ou seja, 0 (zero) para áreas não-aptas e 1 (um) para áreas aptas.

Na fase seguinte, a valoração ou atribuição de peso aos critérios utilizou o método da comparação par-a-par que permite calcular um conjunto de pesos e uma razão de consistência, permitindo ajustes repetidos à comparação.

Na agregação, os fatores, de cada um dos critérios, foram primeiramente agregados com o método de combinação linear ponderada e compensação total. Posteriormente, foram introduzidas no processo a média ponderada ordenada com variação na compensação e no risco assumido na análise.

#### **g) Outras metodologias**

**Charnpratheep et al. (1997)** apresenta a potencialidade da aplicação conjunta entre a lógica fuzzy e o método analítico hierárquico (analytic hierarchy process – AHP) em sistemas de informação geográfica para a seleção preliminar de áreas ideais à implantação de aterros sanitários. Considera critérios sociais, ambientais e técnicos no cálculo dos pesos dos fatores sendo que, na seleção final, compara o uso da lógica booleana em relação a fuzzy. A primeira descartou 35,6% das áreas consideradas ideais pela lógica fuzzy.

**Marques (2002)** selecionou, na região de Araraquara/SP, áreas utilizando mapeamento geotécnico e o método multicriterial conhecido como analytic hierarchy process (AHP). Esse método tem como principal vantagem diminuir a subjetividade no processo de seleção áreas. Foram considerados atributos do meio físico e suas interações ambientais e construtivas.

**Mahler e Leite (1998)** propõem uma metodologia baseada na combinação da análise do valor e da lógica fuzzy correlacionando entre si aspectos técnicos quantitativos e fatores qualitativos. A metodologia procura sintetizar em um único valor final todos os aspectos condicionantes de acordo com a avaliação prévia dos critérios de avaliação considerados.

**Frantzis (1993)** apresenta uma metodologia baseada na quantificação, através de uma matriz, dos impactos ambientais provocados no meio. A matriz avalia a

magnitude do impacto do aterro sobre os fatores técnicos e econômicos, tais como poluição das águas, poluição visual, desvalorização das áreas próximas e outros.

---

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. Descrição dos materiais

Para a realização do trabalho prático proposto foram utilizados diversos materiais cartográficos analógicos e digitais, equipamentos e programas, detalhados a seguir:

##### 3.1.1. Materiais cartográficos analógicos e digitais

Os materiais cartográficos digitais, em sua maior parte, foram cedidos pelo CBH/SMT (Comitê de Bacia Hidrográfica/Sorocaba e Médio Tietê). Esse material foi resultado de um trabalho realizado por **Garcia et al. (2002)**, a pedido do CBH/SMT, na represa de Itupararanga que obtiveram os seguintes mapas:

- Divisão geopolítica: construído através da digitalização das cartas topográficas, em escala 1:50.000, do IBGE, produzido em 1973, folhas de Sorocaba, Jurupará, São Roque, Juquitiba e Itapecerica da Serra. Também foi utilizada a malha digital municipal produzida pelo IBGE (2001), com referência atualizada que possibilitou a melhor delimitação dos municípios, principalmente de Alumínio, o qual ainda não existia por ocasião do mapeamento realizado em 1973;
- Fragilidade ambiental: gerado no software GIS Ilwis 2.2, por **Garcia et al. (2002)** a partir dos mapas geológico, geomorfológico, hidrográfico, topográfico e uso e ocupação do solo, escala 1:50.000;
- Geológico: compilado e modificado das cartas geológicas: 1:50.000, da folha São Roque produzido pelo Pró-Minério – UNESP Rio Claro, e a carta geológica dos Morros de São Francisco, escala 1:20.000, de Godoy (1989);

- Geomorfológico: construído através de fotogrametria das cartas topográficas, compartimentação altimétrica do mapa hipsométrico, classificação de unidades através do mapa de declividade, padrões de drenagem e o mapa geológico;
- Hidrográfico: digitalizado das folhas de Sorocaba, Jurupará, São Roque, Juquitiba e Itapeçerica da Serra, todos do IBGE, produzidos em 1973, na escala 1:50.000;
- Rodoviário: obtido por digitalização das folhas de Sorocaba, Jurupará, São Roque, Juquitiba e Itapeçerica da Serra, todos do IBGE, produzidos em 1973, na escala 1:50.000;
- Topográfico (ou curvas de nível): obtido através da digitalização da bacia hidrográfica de Itupararanga, delimitada em cartas topográficas, em escala 1:50.000, do IBGE, produzidos em 1973, folhas de Sorocaba, Jurupará, São Roque, Juquitiba e Itapeçerica da Serra;
- Uso e ocupação do solo: interpretado e elaborado através de fotografias aéreas, em escala 1:25.000, produzidas pela BASE, em 1996, perfazendo um total de 180 fotos.

A Carta Geotécnica do Estado de São Paulo, de Nakazawa et. al (1994) e cedida pela CEMA (Consultoria em Meio Ambiente), foi obtida por processo de digitalização da carta “Processos do meio físico importantes para a previsão do comportamento geotécnico dos terrenos ante o seu uso”, folha de São Paulo, escala 1:500.000.

O Mapa Pedológico do Estado de São Paulo, escala 1:500.000, produzido pelo IAC (Instituto Agrônomo de Campinas), foi obtido por digitalização da folha de Campinas.

### **3.1.2. Equipamentos**

Os principais equipamentos para a realização do projeto foram:

- computador AMD Athlon XP 2.0GHz, 256MB de RAM, HD 40GB, CD-Rom 56X, placa de vídeo de 64MB e monitor SVGA de 17” utilizados no processamento dos dados digitais;
- receptor GPS PROXR TRIMBLE e GPS GARMIN SRVY II utilizados no levantamento das coordenadas de campo;

- mesa digitalizadora Calcomp A0 utilizada na digitalização dos mapas na forma impressa;
- impressora HP Deskjet 1120C Printer utilizada na impressão final dos resultados.

### 3.1.3. Programas (Softwares)

Os seguintes softwares de sistema de informação geográfica foram utilizados:

- Software GIS Idrisi32, versão I32.22, Maio de 2001, The Clark Labs for Cartographic Technology and Geographic Analysis, utilizado na geração, manipulação e análises espaciais das imagens em formato raster;
- Software GIS Arcview 3.2a, ESRI (Environmental System Research Institute Incorporation) utilizado na execução do layout final das imagens raster para impressão;
- Software Autocad 2000, Autodesk Incorporation, utilizado na edição dos mapas;
- Software CartaLinx 1.2, The Clark Labs for Cartographic Technology and Geographic Analysis, utilizado na edição dos mapas.

## 3.2. Área de estudo

### 3.2.1. Histórico e localização

A represa de Itupararanga (vide **figura 38**) foi construída pela LIGHT para gerar energia elétrica e entrou em operação em 1912. A potência instalada da usina hidrelétrica é de 55MW e produz anualmente 150GW/h em média.



Figura 38: vista panorâmica da represa de Itupararanga  
(fonte: Garcia et al., 2002)

Localizada no alto curso do rio Sorocaba, este, maior afluente do rio Tietê pela margem esquerda, situa-se na sub-área conhecida como Médio-Tietê ou UGRHI 10 (vide **figura 39**), administrada pelo CBH/SMT (Comitê de Bacias Hidrográficas/Sorocaba e Médio Tietê).



**Figura 39:** Sub-bacias do rio Tietê (fonte: [www.sigrh.sp.gov.br](http://www.sigrh.sp.gov.br))

A bacia hidrográfica do rio Sorocaba é a segunda maior do Médio-Tietê, perdendo somente para a bacia hidrográfica do rio Piracicaba. A área de drenagem da bacia do rio Sorocaba é de 5.296km<sup>2</sup>, com comprimento aproximado de 120km e largura média de 50km, no sentido sul-leste.

A represa de Itupararanga, por sua vez, possui uma área de drenagem de 936,51km<sup>2</sup>, tendo aproximadamente 26km de canal principal e 192,88km de margens, ocupando parcialmente oito municípios: Alumínio, Cotia, Ibiúna, Mairinque, Piedade, São Roque, Vargem Grande Paulista e Votorantim (vide **mapas 01 e 02**).

Com uma vazão média de 6,5m<sup>3</sup>/s, as águas da represa abastecem mais de 85% da população de Sorocaba (maior da região, com aproximadamente 500.000 habitantes) e de mais cinco municípios: Alumínio, Ibiúna, Mairinque, São Roque e Votorantim.

Em 1º de Dezembro de 1998 foi publicada a lei estadual 10100/1998 decretando somente os entornos da represa como uma área de proteção ambiental (APA).

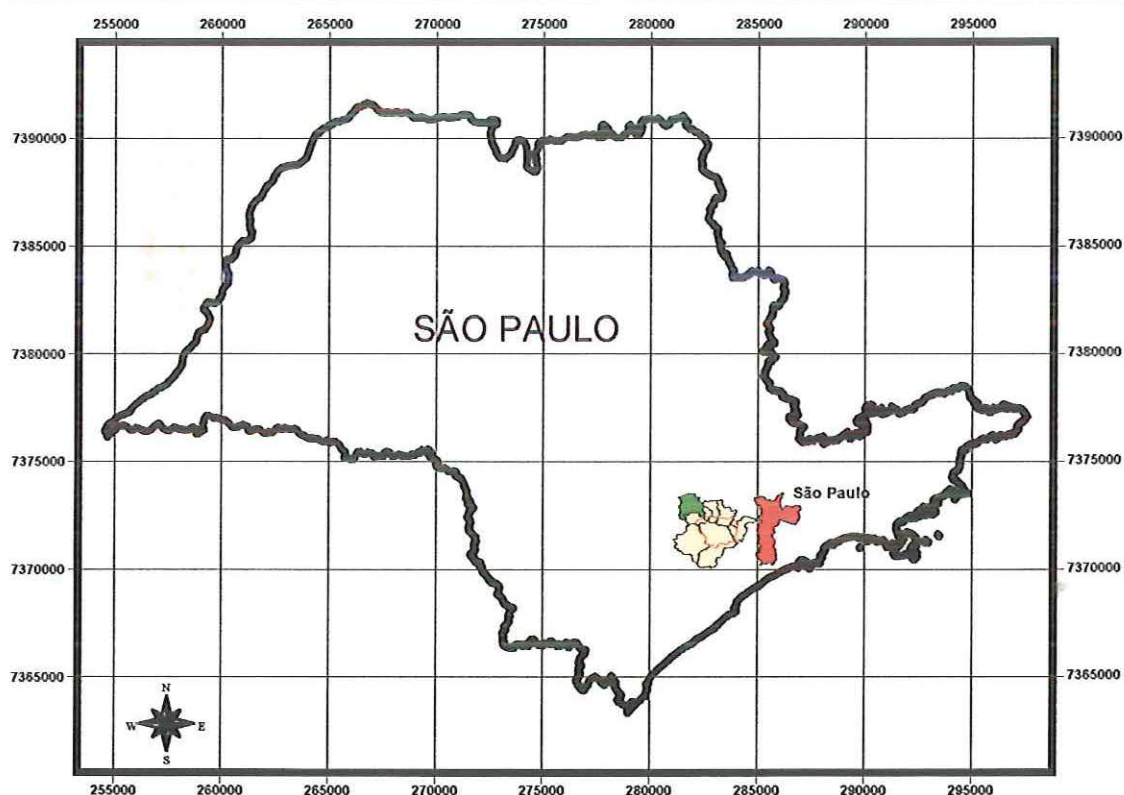
Atualmente, existe um projeto de lei reivindicando que a condição de APA seja estendida para toda a área de drenagem da represa garantindo, assim, a preservação da qualidade do manancial da região.








Universidade de São Paulo

Universidade de São Paulo  
Escola de Engenharia de São Carlos  
Departamento de Hidráulica e Saneamento  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

### LOCALIZAÇÃO DA BACIA NO ESTADO DE SÃO PAULO



LEGENDA:

-  Limites da bacia
-  Municípios constituintes
-  Sorocaba
-  São Paulo
-  Estado de São Paulo

5000 0 5000 10000 15000 Meters

Projeção: UTM  
Datum Horizontal: Córrego Alegre

NOTA EXPLICATIVA:  
Mapa digital modificado do IBGE

DISSERTAÇÃO:  
"Seleção preliminar de locais potenciais à implantação de aterros sanitários na sub-bacia hidrográfica da Represa de Itupararanga (Bacia dos Rios Sorocaba e Médio Tietê)"

AUTOR:  
Engenheiro Civil Edson Mitsuhide Tsuhako

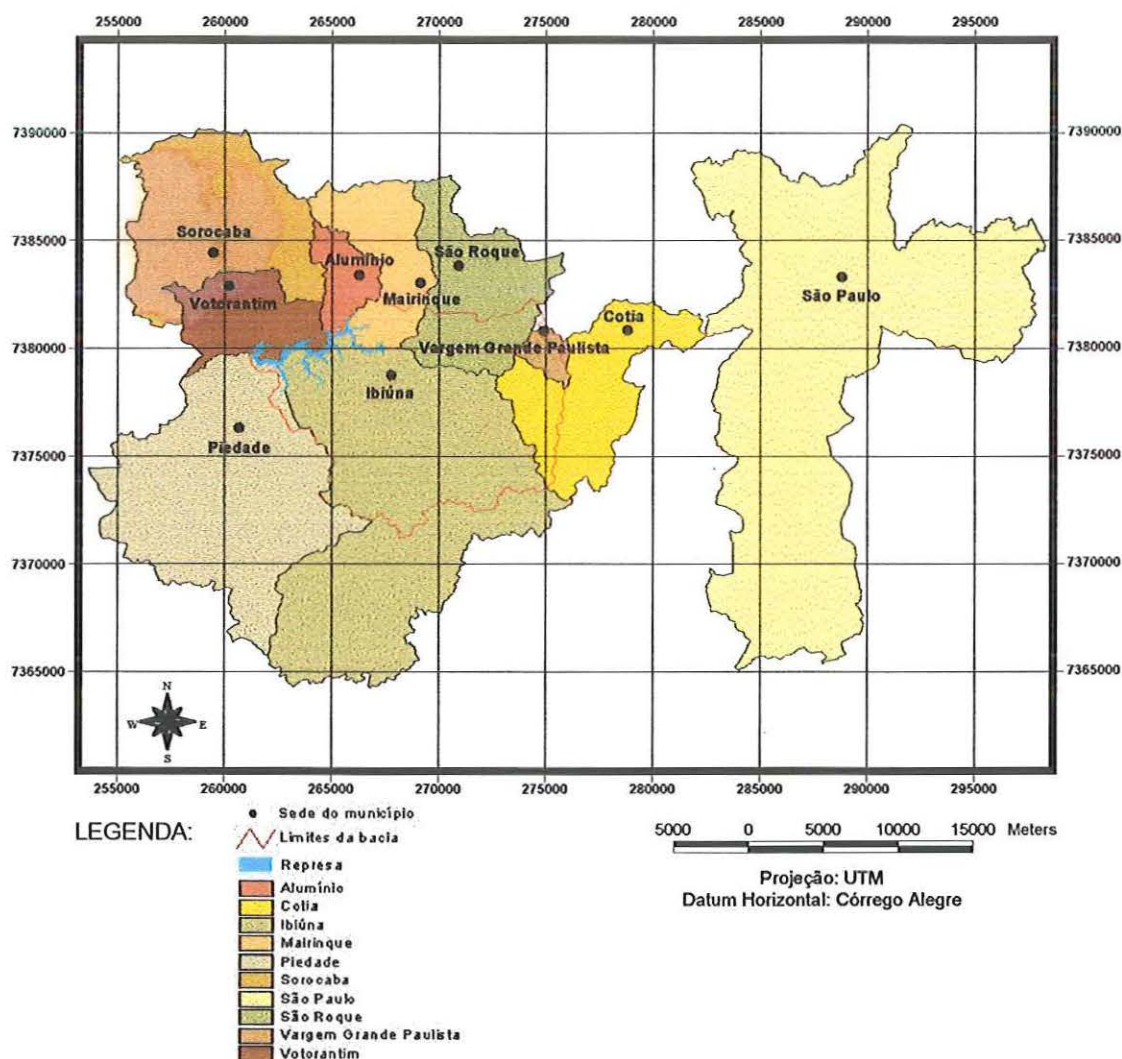
ESCALA:  
1: 7500000

DATA:  
18/02/2004

MAPA:  
01

**Universidade de São Paulo**  
**Escola de Engenharia de São Carlos**  
**Departamento de Hidráulica e Saneamento**  
**Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil**

**MUNICÍPIOS CONSTITUINTES DA BACIA**



**NOTA EXPLICATIVA:**  
 Mapa digital modificado do IBGE

**DISSERTAÇÃO:**  
 "Seleção preliminar de locais potenciais à implantação de aterros sanitários na sub-bacia hidrográfica da Represa de Itupararanga (Bacia dos Rios Sorocaba e Médio Tietê)"

**AUTOR:**  
 Engenheiro Civil Edson Mitsuhide Tshako

**ESCALA:**  
 1:350.000

**DATA:**  
 18/02/2004

**MAPA:**  
 02

### 3.2.2. Divisão política e aspectos sócio-econômicos

A bacia da represa de Itupararanga é formada por áreas parciais de oito municípios, como mostrado na **tabela 06** e **mapa 03**, sendo que a maior é Ibiúna que, integralmente, possui uma área de 1.000km<sup>2</sup>, mas, no total da bacia, ocupa 588,86km<sup>2</sup>.

**Tabela 06:** Municípios que formam a bacia da represa de Itupararanga

Municípios	Área (em km <sup>2</sup> )	Porcentagem da bacia
Alumínio *	17,45	1,86
Cotia	73,94	7,9
Ibiúna	588,86	62,9
Mairinque	51,70	5,52
Piedade	15,52	1,65
São Roque	116,28	12,41
Vargem Grande Paulista	26,33	2,81
Votorantim	46,43	4,95
<b>Total</b>	<b>936,51</b>	<b>100</b>

Fonte: IBGE, 1973 (\* município emancipado somente em 1991)

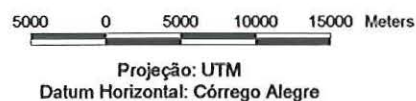
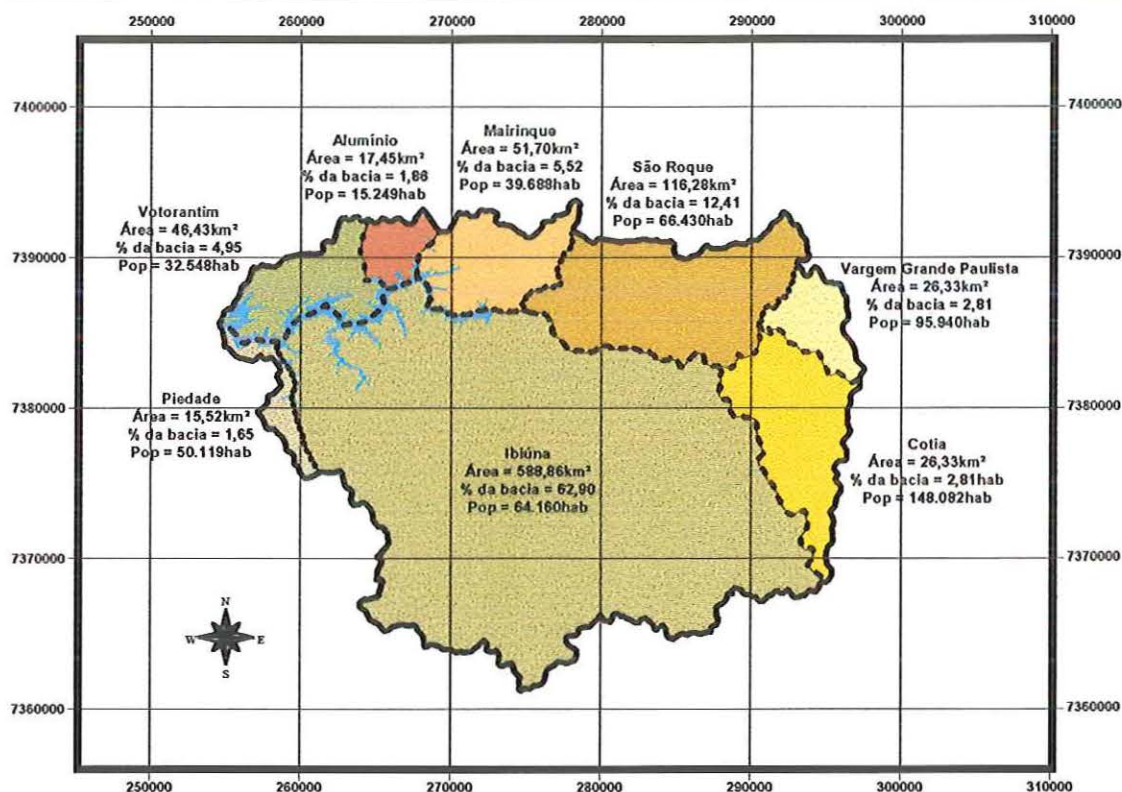
Não há uma estimativa da população na bacia da represa, porém, **Garcia et al. (2002)** verificaram que as áreas fortemente urbanizadas correspondem aos perímetros de Ibiúna (vide **figura 40**), Vargem Grande Paulista e ao distrito de Caucaia do Alto do município de Cotia, como pode ser observado no **mapa 04**, uso e ocupação do solo. No geral, os núcleos urbanos ocupam 71,81km<sup>2</sup> da área total da bacia ou 7,66%.



**Figura 40:** vista área do início da represa de Itupararanga e núcleo urbano do município de Ibiúna (fonte: **Garcia et al., 2002**)

Universidade de São Paulo  
 Escola de Engenharia de São Carlos  
 Departamento de Hidráulica e Saneamento  
 Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

### DIVISÃO POLÍTICA



#### NOTA EXPLICATIVA:

Mapa digital cedido pelo CBH-SMT, modificado de Garcia et al (2002)

#### DISSERTAÇÃO:

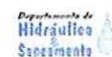
"Seleção preliminar de locais potenciais à implantação de aterros sanitários na sub-bacia hidrográfica da Represa de Itupararanga (Bacia dos Rios Sorocaba e Médio Tietê)"

**AUTOR:**  
 Engenheiro Civil Edson Mitsuhide Tshako

**ESCALA:**  
 1:350.000

**DATA:**  
 18/02/2004

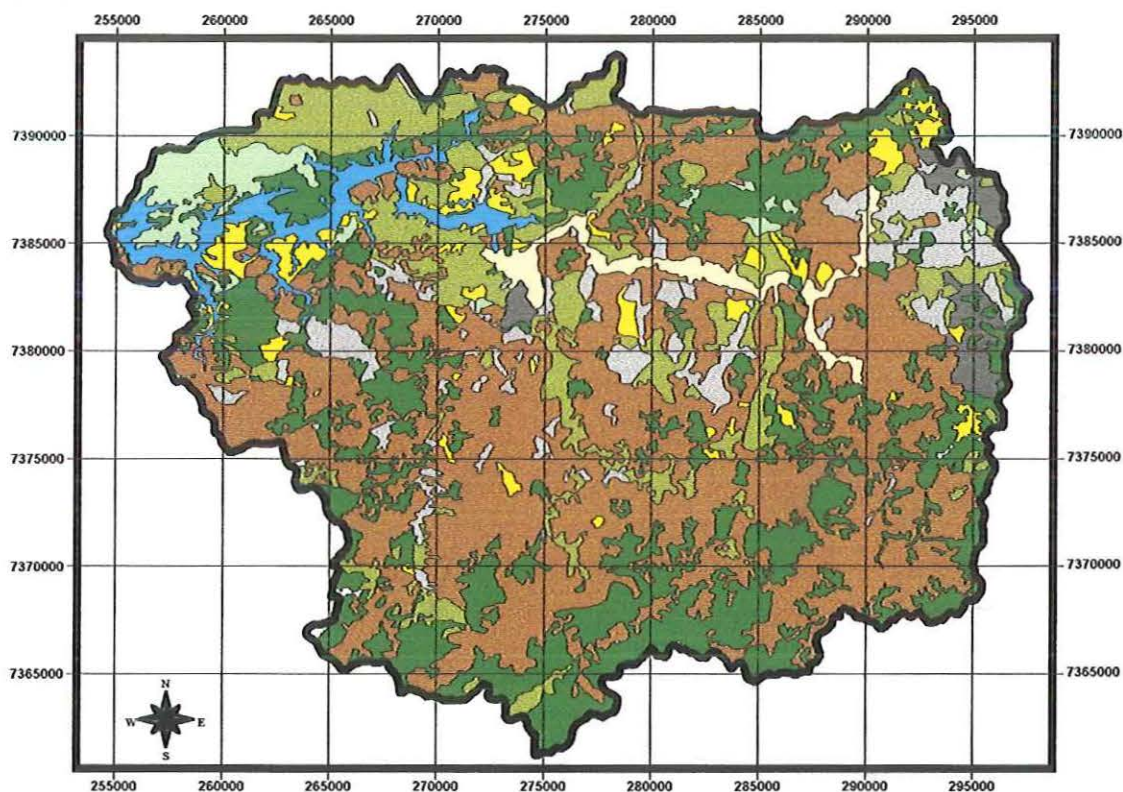
**MAPA:**  
 03



Universidade de São Paulo

Escola de Engenharia de São Carlos  
Departamento de Hidráulica e Saneamento  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

## USO E OCUPAÇÃO DO SOLO



LEGENDA:

- Limites da bacia
- Área fortemente urbanizada
  - Área fracamente urbanizada
  - Área de cultura
  - Área de várzea
  - Campo
  - Campo sujo e capoeira
  - Chãoeira
  - Mata
  - Represa

5000 0 5000 10000 15000 Meters

Projeção: UTM  
Datum Horizontal: Córrego Alegre

Uso e ocupação do solo  
(reclassificação por imagem Landsat)

### NOTA EXPLICATIVA:

Mapa digital cedido pelo CBH-SMT e compilado por Garcia et al. (2002)

### DISSERTAÇÃO:

"Seleção preliminar de locais potenciais à implantação de aterros sanitários na sub-bacia hidrográfica da Represa de Itupararanga (Bacia dos Rios Sorocaba e Médio Tietê)"

AUTOR:  
Engenheiro Civil Edson Mitsuhide Tshako

ESCALA:  
1:350.000

DATA:  
18/02/2004

MAPA:  
04

A **tabela 07** apresenta levantamento demográfico realizado pelo IBGE no ano de 2000.

**Tabela 07:** Levantamento demográfico dos municípios que constituem a bacia

Município	População		Taxa de urbanização (%)	Densidade demográfica (habitantes/km <sup>2</sup> )
	Urbana	Rural		
<b>Alumínio</b>	13.726	1.523	90,01	160,52
<b>Cotia</b>	148.082	0	100,00	455,64
<b>Ibiúna</b>	21.181	42.979	33,01	58,97
<b>Mairinque</b>	34.071	5.617	85,85	185,46
<b>Piedade</b>	22.051	28.068	44,00	68,75
<b>São Roque</b>	48.581	17.849	73,13	212,24
<b>Vargem Grande Pta</b>	92.736	3.204	96,66	542,03
<b>Votorantim</b>	32.548	0	100,00	856,53

Fonte: IBGE, 2000

Nos limites da área de drenagem da represa, a maior parte da bacia (395,5km<sup>2</sup> ou 42,23% do total) é ocupada por culturas, geralmente hortifrutigranjeiras, as quais exigem intensa irrigação e uso de insumos agrícolas (adubos e pesticidas) e que são os principais responsáveis pela degradação ambiental da região.

A pecuária extensiva também é considerada uma importante atividade na região, porém, predominam em pastagens mal conservadas, as quais acabam formando extensos estoques de terra para uso imobiliário.

As margens da represa observam-se condomínios de alto padrão e uma grande concentração de chácaras de recreio, ocupando, no total, cerca de 35km<sup>2</sup> ou 3,73% da área da bacia.

### 3.2.3. Topografia

A média das altitudes está entre 900 a 960 metros; sendo que a amplitude máxima de relevo é de 296m. A menor altitude se encontra na barragem da represa de Itupararanga com 826m e a maior altitude na divisa da bacia, no Município de São Roque (Serra de São Roque), com 1.122 m de altitude e também no extremo sul da



bacia, em seu divisor de água, com altitudes superiores a 1.000m tem-se a Serra de Paranapiacaba.

O **mapa 05**, do modelo de elevação digital, gerado a partir das curvas de níveis, ilustra a variação de altitude nos limites da bacia hidrográfica de Itupararanga. O **mapa 06** representa as classes de declividade encontradas na região de estudo.

#### **3.2.4. Hidrografia**

Na área de estudo, **Garcia et al. (2002)** observaram dois padrões de drenagem bem distintos, com predomínio do padrão dendrítico e sub-dendrítico e subordinadamente o padrão retilíneo, reflexo do forte controle estrutural das linhas de falha e fraturamento.

As áreas de drenagens mais importantes que formam a represa de Itupararanga são as dos rios Una, Sorocabuçu, Vargem Grande e Sorocamirim. Relacionado ainda com a drenagem têm-se grandes planícies e terraços vinculados, principalmente, ao rio Sorocamirim.

O **mapa 07** ilustra detalhadamente a área de drenagem que contribui para formar a represa de Itupararanga.

Os maiores problemas ambientais relacionam-se ao intenso uso agrícola, devido a irrigação das culturas e ao uso indiscriminado de agrotóxicos, principalmente nas áreas de drenagem dos rios Sorocabuçu e Sorocamirim.

Nos entornos da represa, os empreendimentos imobiliários, a agropecuária e a extração de areia têm sido os maiores agentes degradadores do local.

#### **3.2.5. Geologia**

Segundo **Godoy (1989) apud Garcia et al. (2002)**, a descrição das rochas identificadas na área de estudos são apresentadas pelas eras e períodos geológicos, sendo descritas dos tempos mais recentes para os tempos mais antigos.

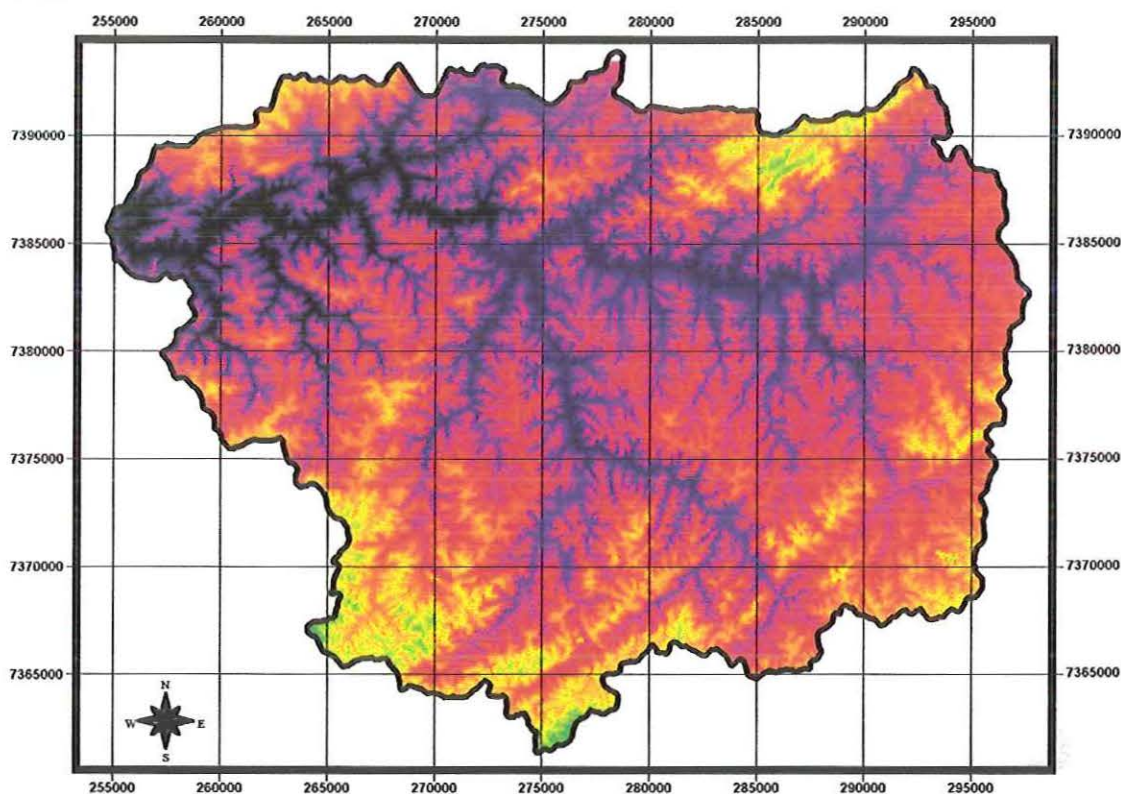
Da era Cenozóico foram observadas e delimitadas cobertura sedimentares quaternária, representados por depósitos aluvionares de recentes a atuais. Este depósito é caracterizado por areia, silte e argila inconsolidadas, mal selecionadas e associadas a atual rede de drenagem. Os terraços quaternários são coberturas cenozóicas indiferenciadas, formados por sedimentos estratificados pouco consolidados, compostos de arenitos, siltitos e argilitos mal selecionados, geralmente com cascalheiras na base, formando depósitos de encostas.



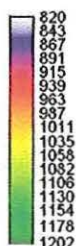
Universidade de São Paulo

Universidade de São Paulo  
Escola de Engenharia de São Carlos  
Departamento de Hidráulica e Saneamento  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

### MODELO DE ELEVAÇÃO DIGITAL (MDT)



LEGENDA:



Elevação (em metros)

5000 0 5000 10000 15000 Meters

Projeção: UTM  
Datum Horizontal: Córrego Alegre

#### NOTA EXPLICATIVA:

Mapa obtido a partir da análise espacial desenvolvida no software Idrisi32 I32.22

#### DISSERTAÇÃO:

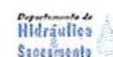
"Seleção preliminar de locais potenciais à implantação de aterros sanitários na sub-bacia hidrográfica da Represa de Itupararanga (Bacia dos Rios Sorocaba e Médio Tietê)"

AUTOR:  
Engenheiro Civil Edson Mitsuhide Tshako

ESCALA:  
1:350.000

DATA:  
18/02/2004

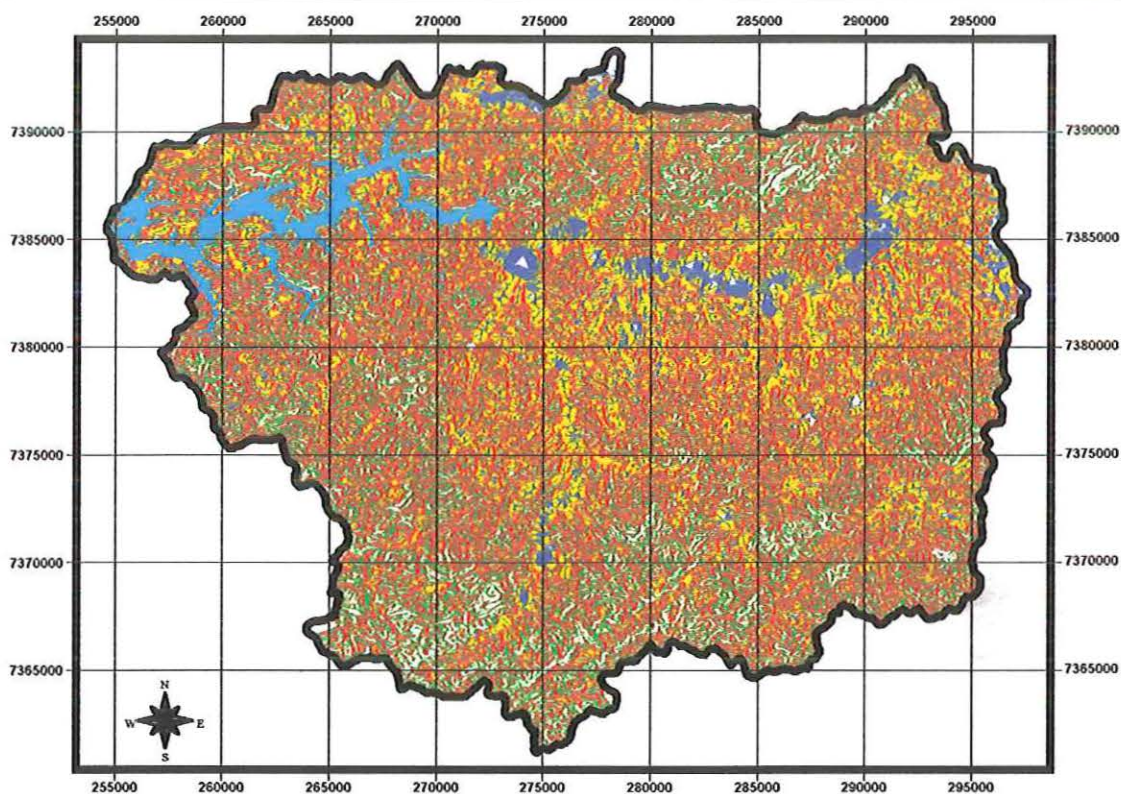
MAPA:  
05



Universidade de São Paulo

Escola de Engenharia de São Carlos  
Departamento de Hidráulica e Saneamento  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

### CLASSES DE DECLIVIDADE



LEGENDA:

- declividade menor do que 1% e maior do que 30%
- declividade entre 1% e 5%
- declividade entre 5% e 10%
- declividade entre 10% e 20%
- declividade entre 20% e 30%

5000 0 5000 10000 15000 Meters

Projeção: UTM  
Datum Horizontal: Córrego Alegre

#### NOTA EXPLICATIVA:

Mapa obtido a partir da análise espacial desenvolvida no software Idrisi32 132.22

#### DISSERTAÇÃO:

"Seleção preliminar de locais potenciais à implantação de aterros sanitários na sub-bacia hidrográfica da Represa de Itupararanga (Bacia dos Rios Sorocaba e Médio Tietê)"

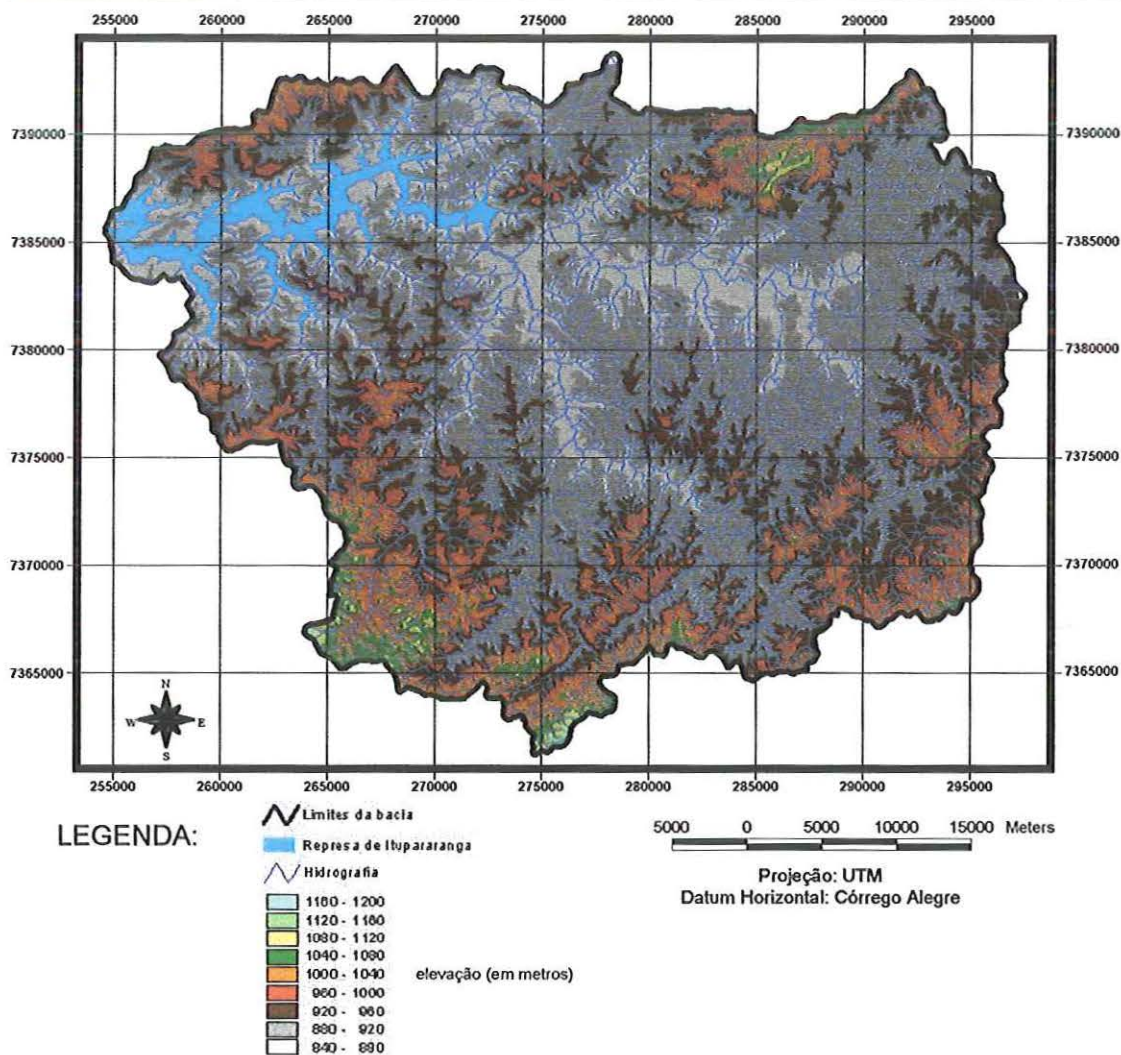
AUTOR:  
Engenheiro Civil Edson Mitsuhide Tsuhako

ESCALA:  
1:350.000

DATA:  
18/02/2004

MAPA:  
06

## HIDROGRAFIA



### NOTA EXPLICATIVA:

Mapa digital cedido pelo CBH-SMT (composição com modelo de sobreamento analítico)

### DISSERTAÇÃO:

"Seleção preliminar de locais potenciais à implantação de aterros sanitários na sub-bacia hidrográfica da Represa de Itaparanga (Bacia dos Rios Sorocaba e Médio Tietê)"

AUTOR:

Engenheiro Civil Edson Mitsuhide Tshako

ESCALA:

1:350.000

DATA:

18/02/2004

MAPA:

07

Da era Proterozóico Superior são identificadas as zonas Miloníticas formadas por rochas miloníticas, incluindo protomilonitos, milonitos, ultramilonitos e localmente rochas cataclásticas, ou seja, rochas originadas de grandes esforços geológicos. As rochas granitóides são rochas graníticas – granitos dos maciços São Roque, Ibiúna e Caucaia de constituição equigranular a inequigranular, porfiróide (granulação preferencial média a grossa).

Da era Proterozóico Inferior são identificadas as rochas Metasedimentares do Grupo São Roque (PSsr) – Metarritimitos, sericitas filitos-metassiltitos, rochas calcosilicéticas, metabasitos foliados, rochas Metasedimentares do complexo Embu (Pie) – rochas normalmente de estruturas bandada com intercalações da biotita gnaisses com ou sem sillimanita

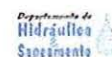
Observam-se, também, importantes áreas de cisalhamento como a zona de cisalhamento de Pirapora e Taxaquara que delimitam áreas de afloramento das rochas do Proterozóico inferior as meta-sedimentares do grupo São Roque, rochas estas de grande fragilidade a erosão e infiltração.

Nota-se, também, um grupo de rochas que aparece localizada às margens da represa, chamada de Hornfels, sendo estas rochas metassedimentares afetadas por metamorfismo de contato.

### **3.2.6. Geomorfologia**

De acordo com **Garcia et al. (2002)**, a bacia hidrográfica formadora do lago da represa de Itupararanga está praticamente contida dentro da feição geomorfológica conhecida como Planalto de Ibiúna. As formas de relevo se desenvolveram em rochas graníticas a granitóides e metavulcânicas, sendo, portanto, formas de desnudação na área de estudo. Formas com topos convexos, característicos deste embasamento, são também observados, assim como formas agradacionais, como as planícies flúvio-aluvionares e terraços aluvionares.

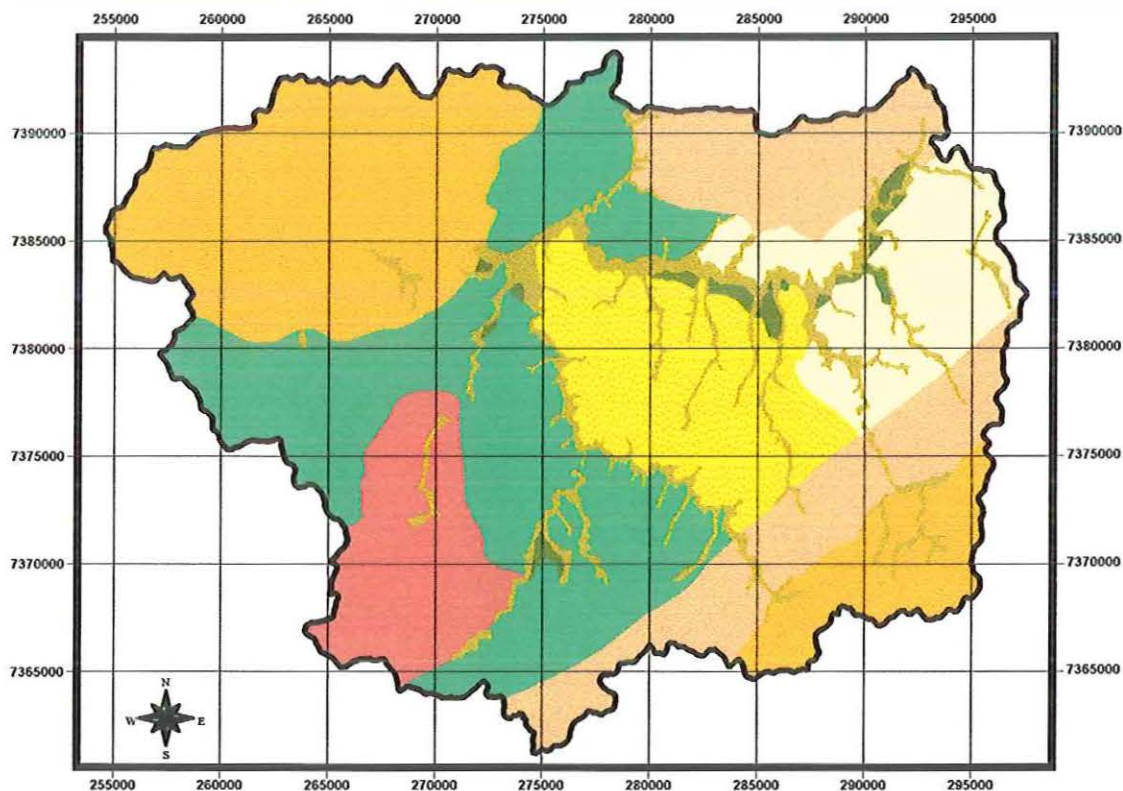
O mapa geomorfológico (**mapa 08**) apresenta dois grandes conjuntos de formas de relevo: decomposicionais e agradacionais. Essa classificação baseia-se no método de **Ross (1997)** o qual considera a fragilidade física do meio. Nas formas decomposicionais o primeiro índice representa a profundidade do topo ao fundo de vale de uma vertente. O segundo índice, por sua vez, é a distância entre os interflúvios.



Universidade de São Paulo

Universidade de São Paulo  
Escola de Engenharia de São Carlos  
Departamento de Hidráulica e Saneamento  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

## GEOMORFOLOGIA



LEGENDA:

Limites da bacia



Classificação geomorfológica pelo método de Ross (1998)

5000 0 5000 10000 15000 Meters

Projeção: UTM  
Datum Horizontal: Córrego Alegre

### NOTA EXPLICATIVA:

Mapa digital cedido pelo CBH-SMT, compilado do IBGE por Garcia et al. (2002)

### DISSERTAÇÃO:

"Seleção preliminar de locais potenciais à implantação de aterros sanitários na sub-bacia hidrográfica da Represa de Itupararanga (Bacia dos Rios Sorocaba e Médio Tietê)"

AUTOR:

Engenheiro Civil Edson Mitsuhide Tshako

ESCALA:

1:350.000

DATA:

18/02/2004

MAPA:

08

### 3.2.7. Pedologia

Produzido pelo IAC (Instituto Agronômico de Campinas), o mapa pedológico do Estado de São Paulo, escala 1:500000, segue, segundo **Embrapa (1999)**, o sistema brasileiro de classificação dos solos.

Através desse sistema, os seguintes tipos de solos foram observados para a região de estudo (**mapa 09**):

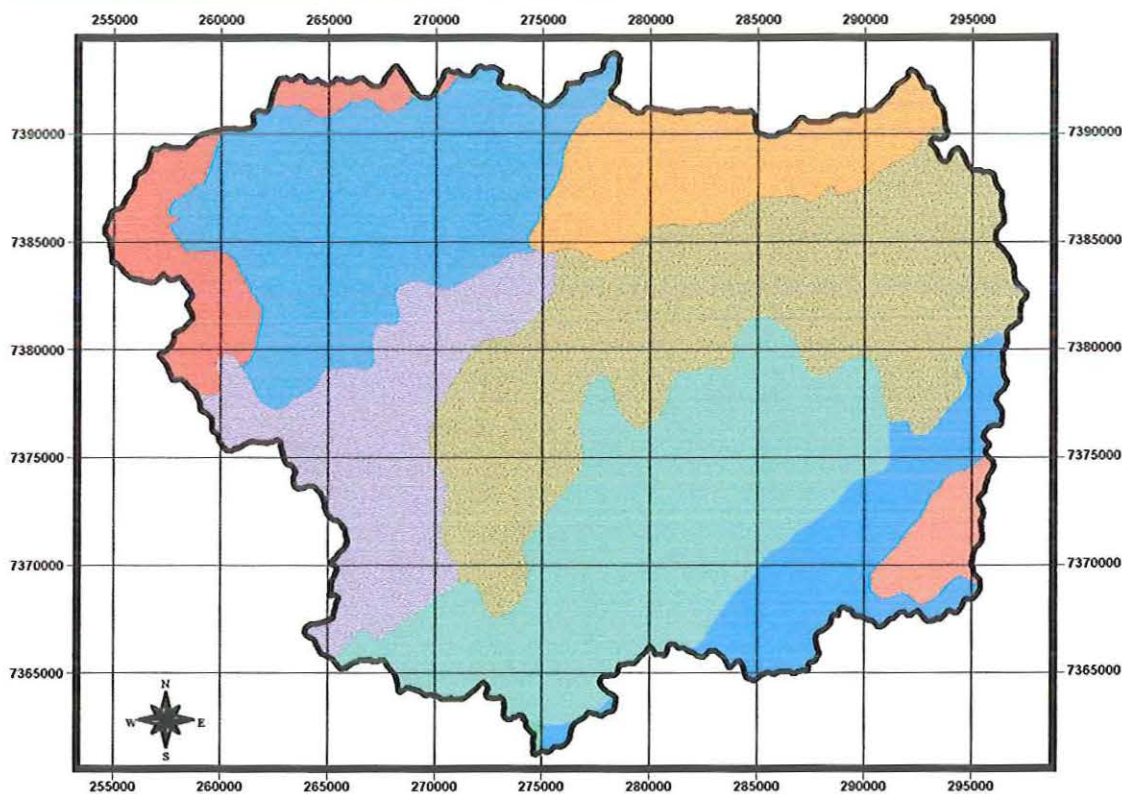
- Cx1: Cambissolo háplico distrófico, com horizonte A moderado, textura argilosa e situado em relevo forte ondulado;
- PVA18: Argissolo vermelho-amarelo distrófico, horizonte A moderado, textura média/argilosa a argilosa e relevo ondulado a forte ondulado;
- PVA19: Argilossolo vermelho-amarelo distrófico, com horizonte A moderado, textura média/argilosa a argilosa e relevo forte ondulado;
- PVA50: Argilossolo vermelho-amarelo distrófico, textura argilosa e média argilosa com latossolos vermelho-amarelos distróficos de textura argilosa, ambos com horizonte A moderado em relevo ondulado;
- PVA55: Argilossolo vermelho-amarelo distrófico, de textura argilosa e média/argilosa com fase rochosa e não rochosa em relevo forte ondulado. Presença de latossolo vermelho-amarelo distrófico de textura argilosa em relevo forte ondulado e montanhoso. Ambos possuem horizonte A moderado.
- LVA1: latossolo vermelho-amarelo distrófico, com horizonte A moderado, de textura argilosa em relevo forte ondulado;
- LVA17: latossolo vermelho-amarelo distrófico em relevo ondulado com presença de cambissolo háplico distrófico de textura argilosa e média fase não pedregosa e pedregosa. Ambos possuem horizonte A moderado em relevo forte ondulado e montanhoso;
- LVA41: latossolo vermelho-amarelo distrófico câmbico pouco profundo com horizonte A moderado, de textura argilosa em relevo forte ondulado. Presença de grupo de gleissolos distróficos de textura argilosa em relevo de várzea;
- LVA56: latossolo vermelho-amarelo distrófico pouco profundo com presença de latossolo vermelho-amarelo, ambos com textura argilosa em relevo forte ondulado. Nota-se, ainda, presença de cambissolo háplico Tb (argila de baixa reatividade) e cambissolos háplicos latossólicos, ambos de textura argilosa e



Universidade de São Paulo

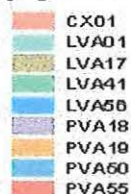
Universidade de São Paulo  
Escola de Engenharia de São Carlos  
Departamento de Hidráulica e Saneamento  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

## PEDOLOGIA



LEGENDA:

Limites da bacia



5000 0 5000 10000 15000 Meters

Projeção: UTM  
Datum Horizontal: Córrego Alegre

Tipos de solos  
(sistema brasileiro de classificação de solos)

### NOTA EXPLICATIVA:

Digitalização do mapa pedológico do Estado de S.P., escala 1:500000, do IAC (1999)

### DISSERTAÇÃO:

"Seleção preliminar de locais potenciais à implantação de aterros sanitários na sub-bacia hidrográfica da Represa de Itupararanga (Bacia dos Rios Sorocaba e Médio Tietê)"

AUTOR:

Engenheiro Civil Edson Mitsuhide Tshako

ESCALA:

1:350.000

DATA:

18/02/2004

MAPA:

09

argilosa com cascalho em relevo montanhoso, todos distróficos com horizonte A moderado.

### 3.2.8. *Vegetação*

A região de estudo é formada, principalmente, pela Mata Atlântica, porém, esta sofreu grandes alterações provocadas pelo homem. Segundo o Instituto Florestal (IF) em pesquisa realizada em 2000, a região administrativa de Sorocaba conserva a segunda maior área de remanescentes da Mata Atlântica no Estado de São Paulo, perdendo somente para a região litorânea paulista.

**Garcia et al. (2002)** observaram que, apesar da situação crítica dos remanescentes de mata nos limites da bacia em estudo, esses mantêm uma fisionomia florestal muitas vezes imponente, com árvores de grande porte, freqüentemente com mais de 10 metros de altura.

Na caracterização ambiental realizada por **Garcia et al. (2002)**, estes classificaram, através de levantamento aerofotogramétrico, quatro tipos de vegetação. São eles:

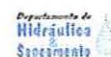
- Campos: ocupando 26km<sup>2</sup> (2,84% da área da bacia);
- Campos sujos e capoeiras: responsável por 121,6km<sup>2</sup> (13%);
- Mata: formando 237,4km<sup>2</sup> (25,35%) e
- Várzea: 18,7km<sup>2</sup> (2,0% do total da bacia)

Através do **mapa 04**, uso e ocupação do solo, é possível observar os fragmentos de vegetação mencionados.

### 3.2.9. *Sistema viário*

O sistema viário é bem desenvolvido na porção leste da bacia, principalmente devido a proximidade com a capital paulista, como pode ser conferido no **mapa 10**, malha rodoviária.

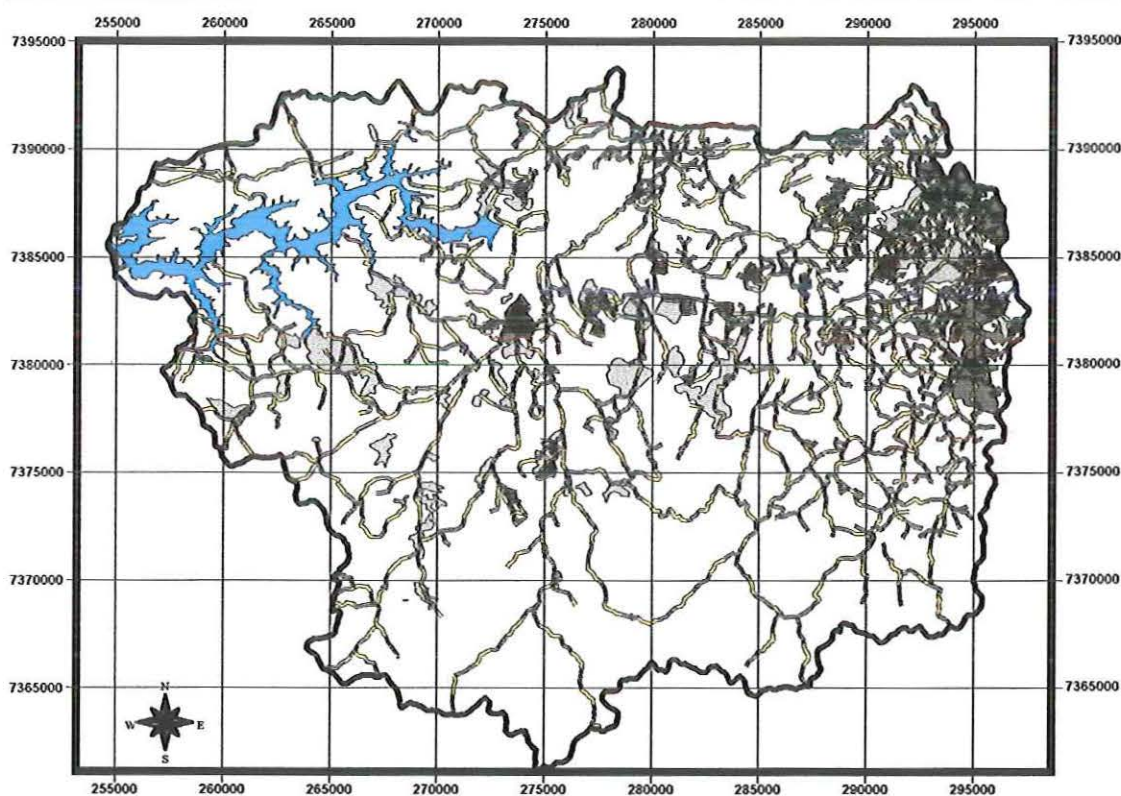
A principal rodovia da região é a SP-250, em processo de duplicação, porém, a área é cortada por várias rodovias estaduais e municipais, muitas delas asfaltadas, fatores estes que contribuem significativamente para a expansão urbana e, conseqüentemente, na aceleração da degradação ambiental.



Universidade de São Paulo

Universidade de São Paulo  
Escola de Engenharia de São Carlos  
Departamento de Hidráulica e Saneamento  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

## SISTEMA VIÁRIO



LEGENDA:

- Limites da bacia
- Represa
- Rodovia
- Área fortemente urbanizada
- Área fracamente urbanizada

5000 0 5000 10000 15000 Meters

Projeção: UTM  
Datum Horizontal: Córrego Alegre

### NOTA EXPLICATIVA:

Mapa digital cedido pelo CBH-SMT, compilado por Garcia et al. (2002)

### DISSERTAÇÃO:

"Seleção preliminar de locais potenciais à implantação de aterros sanitários na sub-bacia hidrográfica da Represa de Itapararanga (Bacia dos Rios Sorocaba e Médio Tietê)"

AUTOR:  
Engenheiro Civil Edson Mitsuhide Tshako

ESCALA:  
1:350.000

DATA:  
18/02/2004

MAPA:  
10

### ***3.2.10. A situação dos resíduos sólidos urbanos nos municípios da bacia de Itupararanga***

A destinação final do lixo doméstico na bacia hidrográfica de Itupararanga representa uma das principais fontes de poluição, sendo um dos seus maiores problemas ambientais. Considerando que há uma tendência no Estado de São Paulo do aumento na taxa de geração de lixo, principalmente devido ao enorme volume de embalagens utilizadas nos diversos setores da economia e sendo que os municípios na sua maioria não possuem sistemas adequados de disposição final, fica evidenciado a existência de um problema ambiental instalado e com potencial de se agravar (Garcia et al., 2002). No caso dos municípios pertencentes a bacia hidrográfica de Itupararanga, este quadro também pode ser observado. Percebe-se que 75% dos municípios (Alumínio, Cotia, Ibiúna, Mairinque, Piedade e Vargem Grande Paulista) não atendem as exigências mínimas de localização, infraestrutura e operação do lixo doméstico. O município de São Roque, por sua vez, atende parcialmente as exigências mínimas e somente Votorantim apresenta um sistema de tratamento do lixo doméstico com garantias suficientes de proteção ambiental.

Um fato preocupante foi constatado no município de Ibiúna, onde o lixão localiza-se a menos de 500 metros à montante do ponto de captação de água de abastecimento, as margens do rio Sorocabuçu, um dos principais afluentes da represa de Itupararanga.

### ***3.3. Descrição da metodologia***

O desenvolvimento metodológico deste trabalho constou de quatro etapas, descritas a seguir:

#### ***3.2.1. 1ª ETAPA: Coleta de dados***

Esta etapa, geralmente considerada a mais dispendiosa, exigiu a busca do maior número possível de informações mapeadas sobre a região de estudo. Com o apoio do CBH/SMT, que já possuía parte do material necessário para a realização do projeto, o custo foi bastante reduzido. Como descrito anteriormente, os mapas digitalizados cedidos foram: divisão geopolítica, hidrográfico, fragilidade ambiental, geológico (incompleto), geomorfológico, rodoviário, topográfico e uso e ocupação do solo, todos na escala 1:50.000.

Como em muitas regiões do Brasil, a área em questão não possui um estudo detalhado dos solos existentes, portanto, o mapa pedológico utilizado foi o fornecido pelo IAC (Instituto Agronômico de Campinas), na escala 1:500.000, situação esta que limita uma seleção mais precisa dos locais ideais para aterros sanitários.

Junto a CEMA foi obtida a Carta Geotécnica do Estado de São Paulo, produzida pelo IPT, em 1994. A carta utilizada foi “Processos do meio físico importantes para a previsão do comportamento geotécnico dos terrenos ante o seu uso”. A carta “Risco potencial de poluição saneamento *in situ*”, a qual adverte sobre o perigo potencial de contaminação dos aquíferos em alto, moderado, reduzido e sem informações, não pôde ser aproveitada porque a área de estudo abrange uma região classificada como sendo sem informações. O mesmo ocorreu com os mapas e cartas produzidos pela CETESB, este, porém, mais recentes (publicados em 2000).

### 3.2.2. 2ª ETAPA: Conversão digital das informações

Garcia et al. (2002) utilizaram o software GIS Ilwis 2.2 (da International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation) para caracterizar ambientalmente a bacia hidrográfica da represa de Itupararanga sendo necessária, portanto, a conversão desses arquivos para o Idrisi. Por falta de compatibilidade entre os programas, durante a conversão não foi possível importar os atributos dos mapas. A conversão do formato Ilwis para Idrisi foi realizado no IGC/USP, as demais conversões, no LabSigeo/UFV,

O processo de conversão, geralmente, é demorado e sujeito a erros. Dependendo do formato em que se encontra o arquivo, o processo de conversão pode envolver mais de um software como esquematizado na figura 41.

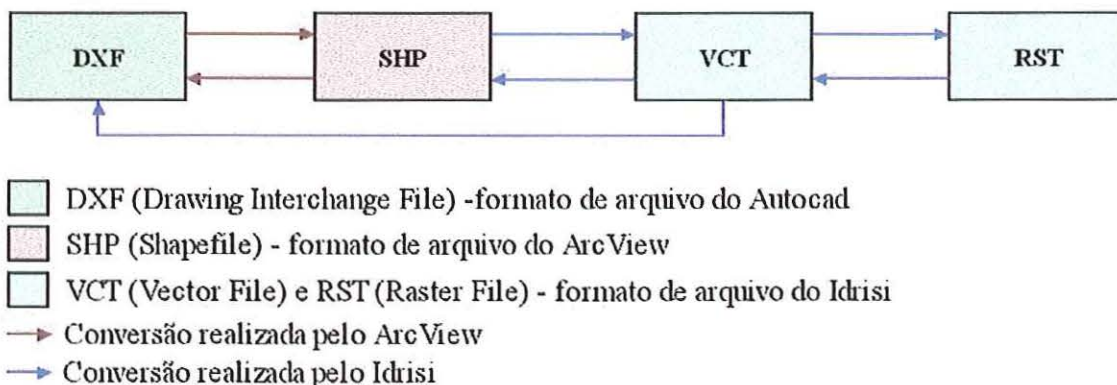


Figura 41 – Esquema de conversão dos diferentes formatos de arquivos

O passo seguinte à conversão é a correção das feições, ou seja, a edição de pontos, linhas e polígonos, na forma vetorial, dos mapas obtidos. Para esse fim, utilizou-se o Autocad 2000 e o CartaLinx.

Com o auxílio do ArcView, foi refeita a edição dos atributos de todos os mapas para, posteriormente, serem importados pelo Idrisi.

O mapa topográfico (curvas de níveis), depois de corrigido os erros encontrados, foi utilizado para gerar o modelo de elevação digital por meio da malha triangular irregular, processo este presente no Idrisi, através do módulo *TIN*, e o modelo de sombreamento analítico, realizado no ArcView.

Em relação ao mapa hidrográfico, os cursos d'água foram classificados de acordo com sua ordem sendo que os de ordem 1 correspondem aos córregos e suas nascentes, os de ordem 2 e 3, aos riachos e ribeirões e os de ordem 4 ou superior, aos rios.

A Carta Geotécnica do Estado de São Paulo e o mapa pedológico do IAC, os quais estavam no formato analógico (impresso) foram convertidos para o formato digital por meio da mesa digitalizadora e do software CartaLinx. A correção das feições, quando necessário, foi feita com o uso do Autocad e a edição dos atributos, através do ArcView.

### **3.2.3. 3ª ETAPA: Análises espaciais baseadas em critérios múltiplos**

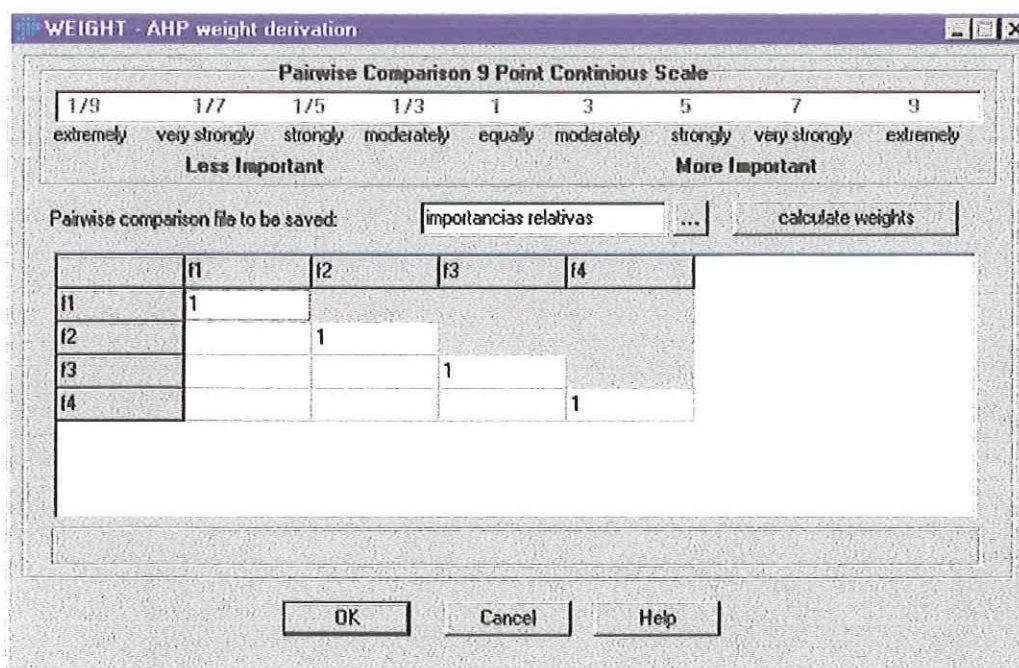
O software Idrisi32, versão I32.22, é, atualmente, um dos mais indicados e utilizados para análises multi-critério. O potencial da ferramenta é muito grande e, como processos finais de agregação, estão disponibilizadas a aproximação booleana, a combinação linear ponderada (WLC) e a média ponderada ordenada (OWA).

Nos sistemas de informações geográficas a lógica fuzzy pode ser implementada através de rotinas computacionais chamadas de objetos fuzzy (alguns sistemas já possuem módulos fuzzy, baseados na aplicação universal desta lógica, entre eles, o GIS Idrisi32 I32.22, utilizado nesta etapa).

Na avaliação de pesos para os critérios foi desenvolvida uma correlação e uma ponderação envolvendo rotinas de apoio a decisão em SIG utilizando o Idrisi32 I32.22. Foi proposta uma relação de importância entre os fatores envolvidos no processo. Essa relação envolveu um conjunto de suposições sobre os fatores que permitiu, além de qualificar o porque da importância de um em detrimento do outro, também quantificar

essa importância. Isso advém da necessidade de atribuir diferentes valores relativos a cada um dos fatores no processo de agregação.

Neste trabalho, optou-se por trabalhar com o método par-a-par (Pairwise Comparison), presente no algoritmo do programa utilizado nas análises. O módulo *WEIGHT* (vide **figura 42**) utiliza esta técnica de comparação de pares para desenvolver um conjunto de pesos e uma razão de consistência. A razão indica qualquer inconsistência que tenha ocorrido durante o processo de comparação.



**Figura 42** – Tela de entrada das importâncias relativas entre os fatores no módulo *WEIGHT* do programa Idrisi.

O módulo *WEIGHT* permite ajustes repetidos à comparação e relaciona os novos pesos e razão de consistência para cada interação.

Após identificado a relação de importância entre os fatores ambientais, operacionais e sócio-econômicos para a combinação de critérios, procedeu-se ao processo de agregação utilizando tanto o módulo *MCE-WLC* (**figura 43**) quanto o módulo *MCE-OWA* (**figura 44**). O resultado foi uma imagem de adequabilidade caracterizada pelos critérios apresentados e, principalmente, pela técnica de agregação utilizada.

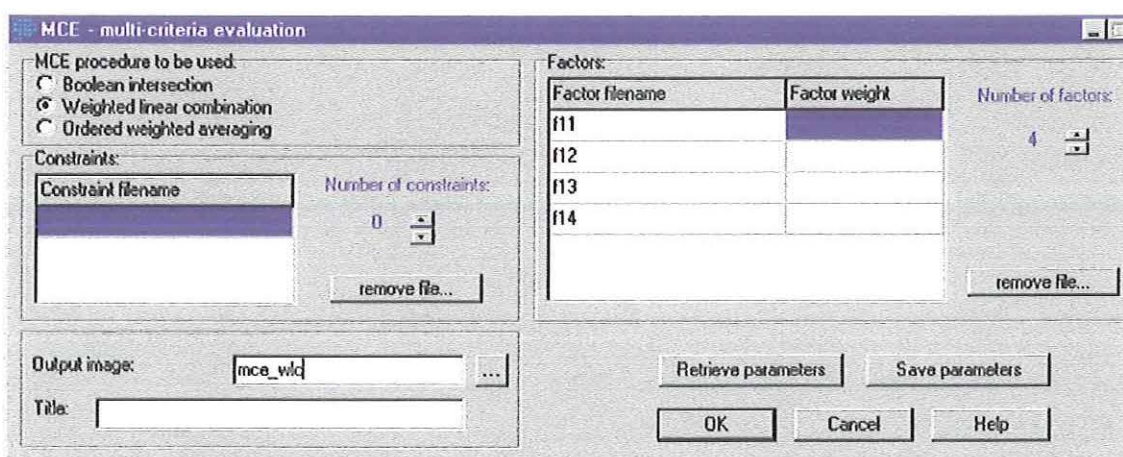


Figura 43 – Tela de entrada dos fatores e restrições no módulo MCE-WLC do programa Idrisi 32.

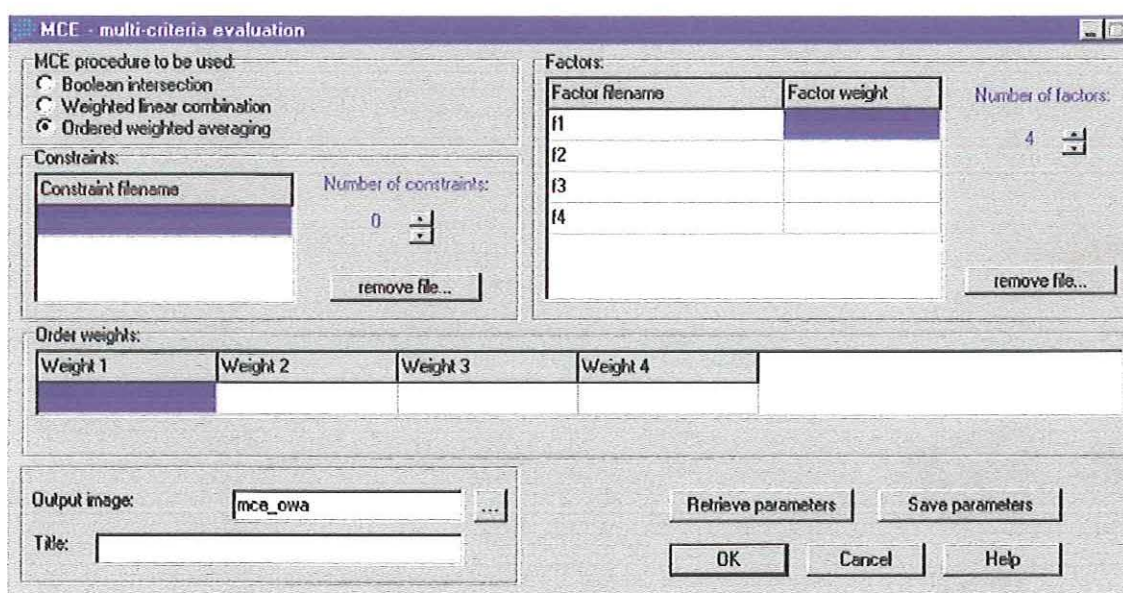


Figura 44 – Tela de entrada dos fatores e restrições no módulo MCE-OWA do programa Idrisi 32

### 3.2.3.1. Descrição das restrições consideradas

As restrições foram necessárias para excluir completamente as áreas que não podem ser consideradas na imagem final de adequabilidade dos locais potenciais para a implantação de aterros sanitários na região de estudo.

No Idrisi são utilizados dois módulos distintos, *BUFFER* e *RECLASS*, para criar as áreas inaptas, ou seja, que assumem valor zero (0), também conhecida como zona de exclusão ou, simplesmente, *buffer*.

O módulo *BUFFER* gera uma imagem booleana caracterizada por uma área conhecida como alvo (*target*), uma outra ao redor conhecida como *buffer zone* e a última como *non-buffer zone*.

*RECLASS*, por sua vez, simplesmente reclassifica as áreas em zero (0), não-aptas, ou um (1), aptas.

No total foram assumidas onze restrições descritas a seguir, onde RA representa restrição ambiental, RS, restrição social e RT, restrição técnica:

**a) Restrição hidrografia (RA01)**

A *NBR13896/1997* recomenda distância mínima de 200 metros de qualquer corpo d' água, portanto, foi criada uma zona de exclusão obedecendo essa distância para proteger o manancial em caso de falhas do sistema de proteção ambiental dos aterros ou, quase improvável, de enchentes que atinjam a área do aterro.

Apenas os cursos d'água de ordem 01 não foram considerados na análise espacial das imagens.

O módulo *BUFFER* foi utilizado para criar a zona de exclusão, onde as áreas dentro da zona assumem valor zero (não aptas) e fora assume valor um (aptas).

**b) Restrição represa (RA02)**

A *NBR13896/1997* recomenda distância mínima de 200 metros (para cada margem), porém, foi criada uma zona de exclusão de 500 metros para proteger os corpos d' água em caso de falhas do sistema de proteção ambiental dos aterros ou, quase improvável, de enchentes que atinjam a área do aterro. A adoção de uma distância maior do que a recomendada é justificada pelo uso da represa para abastecimento público e pela legislação que considera os entornos da represa como uma APA, porém, sem mencionar valores de distâncias.

O módulo *BUFFER* foi utilizado para criar a zona de exclusão, onde as áreas internas a zona assumem valor zero (não aptas) e fora assumem valor um (aptas).

**c) Restrição áreas de preservação (RA03)**

As áreas relativas as matas, campos sujos e capoeiras e campos por caracterizarem áreas de preservação ambiental foram excluídas da seleção de locais para aterros sanitários, isto é, considerou-se como áreas de exclusão. O processo de criação do buffer foi feito através do *RECLASS*.

**d) Restrição nos entornos das matas (RA04)**

Com a finalidade de proteger a flora e fauna dos impactos (poluição sonora, por exemplo) produzidos pela proximidade de um aterro sanitário optou-se por criar, com o

módulo *BUFFER*, uma faixa de proteção de 200 metros (adotado arbitrariamente) em torno das matas.

***e) Restrição áreas fortemente e fracamente urbanizadas (RS01)***

Para ambas, considerou-se a distância mínima de 500 metros dos núcleos populacionais recomendada pela **NBR 13896/1997**.

O módulo *BUFFER* foi usado para criar as áreas de exclusão.

***f) Restrição uso e ocupação do solo (RS02)***

Em relação ao mapa de uso e ocupação do solo, as únicas áreas consideradas aptas à implantação de aterros são aquelas ocupadas por culturas. As demais inviabilizam o empreendimento pelo alto custo de desapropriação, como as ocupadas por chácaras, por motivos ambientais (áreas de preservação) ou por serem constituídas de núcleos populacionais. Através do módulo *RECLASS*, as áreas de cultura assumiram valor um (1).

***g) Restrição declividade (RT01)***

Seguindo as recomendações da **NBR13896/1997**, áreas com declividade entre 1% e 30% foram consideradas aptas. Fora dessa faixa, considerou-se não aptas.

Com o auxílio do módulo *RECLASS*, foi feita uma reclassificação das áreas sendo que, para as áreas aptas, assumiu-se o valor um e para as não aptas, valor zero.

***h) Restrição sistema viário (RT02)***

Adotou-se a distância mínima de 200 metros (para cada lado). A zona de exclusão tem por objetivos principais: evitar a poluição visual e atender a legislação rodoviária, entre elas, a obrigação de manter uma faixa mínima de 80 metros de largura a partir do bordo de cada lado da pista (faixa de domínio).

O processo foi análogo ao utilizado na restrição da hidrografia e da represa.

***i) Restrição geomorfologia (RT03)***

As formas geomorfológicas classificadas como planícies fluvio-aluvionares (PFA) e terrenos aluvionares (TF) foram consideradas inaptas e assumiram valor zero através do módulo *RECLASS*.

**j) Restrição carta geotécnica (RT04)**

As áreas consideradas suscetíveis às inundações, recalques, assoreamento e solapamento das margens dos rios assumiram valor zero com vistas a eliminar ou minimizar os riscos de contaminação das águas superficiais e subterrâneas ou comprometimento das estruturas do aterro. O processo utilizado foi feito pelo *RECLASS*.

**k) Restrição distância máxima de 15.000 metros dos núcleos populacionais (RT05)**

Por critério econômico, adotou-se a distância máxima de 15.000 metros dos núcleos populacionais. Acima desse valor, as áreas são consideradas inaptas (valor zero) devido ao alto custo de transporte .

O módulo *BUFFER* foi usado para criar as áreas de exclusão.

**3.2.3.2. Descrição dos fatores considerados**

Os fatores considerados nas análises espaciais foram as classes de declividade, a Carta Geotécnica do Estado de São Paulo, o uso e ocupação do solo, a distância do sistema viário, a pedologia, a geomorfologia, a distância dos núcleos urbanos, a hidrografia e a represa. Foram divididas em fatores ambientais (FA), fatores sociais (FS) e fatores técnicos (FT)

As funções do conjunto fuzzy foram utilizadas para normalizar (padronizar) os fatores numa escala contínua de adequabilidade, variando de 0 (menos adequada) a 255 (mais adequada), entretanto, alguns fatores foram normalizados categoricamente, isto é, utilizou-se funções fuzzy definidas pelo usuário, no que diz respeito a adequabilidade.

**a) Distância dos corpos d'água (FA01)**

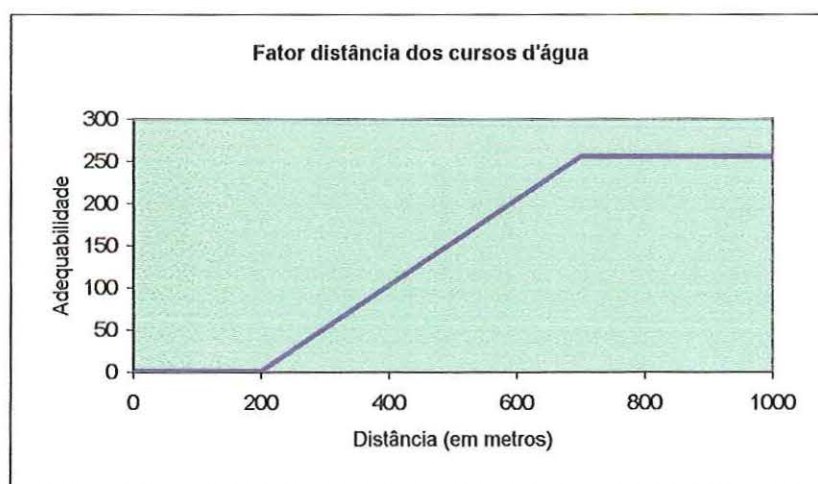
Os cursos d'água de ordem 1, representados, em sua maioria, por córregos, foram desconsiderados na análise espacial deste estudo, pois técnicas de engenharia permitem desviar os cursos para fora da área do local de disposição de resíduos sólidos sem onerar significativamente a implantação do aterro. Cursos d' água de ordem 2 e superior foram tratados igualmente na análise.

Com exceção da represa, a qual foi avaliada a parte, manteve-se a distância mínima de 200 metros dos corpos d'água. Para distâncias acima de 700 metros atribuiu-se a adequabilidade máxima (255).

Segundo **Pfeiffer (2001)**, Bolívia e países da Comunidade Européia adotam distâncias mínimas de 500 metros de qualquer corpo d'água. No Estado da Geórgia (EUA), a distância mínima de mananciais é de 3.220 metros.

A distância de 700 metros foi adotada arbitrariamente, principalmente por não haver estudos detalhados sobre o regime dos rios e das possíveis áreas de inundação existentes no local.

A processo de padronização foi realizada, primeiramente, com o módulo *DISTANCE* gerando um mapa de distâncias dos corpos da água. Com o módulo *FUZZY* e a função linear crescente monotônica (**gráfico 06**), obteve-se uma imagem de adequabilidade representada pelo **mapa 11**.



**Gráfico 06:** Gráfico representativo da padronização do fator distância dos cursos d'água

#### **b) Distância da represa (FA02)**

Como mencionado anteriormente, as áreas no entorno da represa foram consideradas, recentemente, como área de proteção ambiental (APA), porém, estudos sobre a largura que essa área ocupará não foram definidas.

A distância mínima considerada foi de 500 metros e a máxima de 3000 metros, sendo que esta última recebeu adequabilidade máxima (255) e prevê a faixa em que a APA ocupará futuramente.

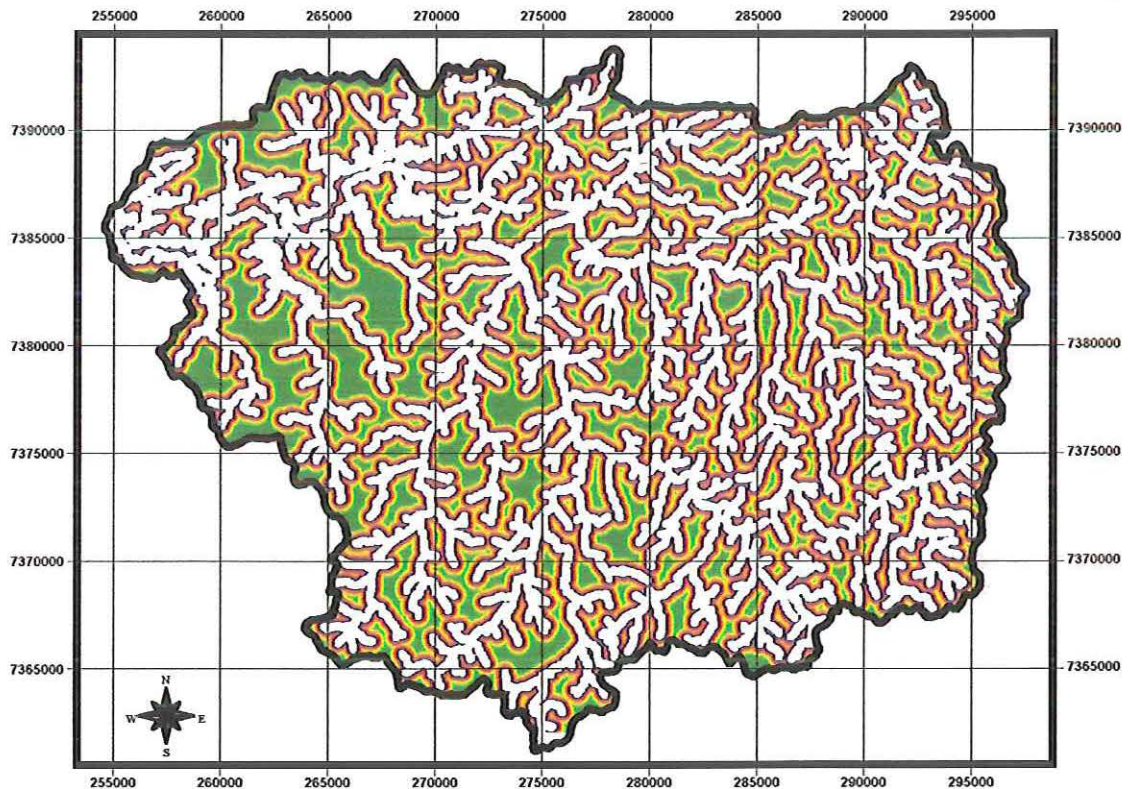
O procedimento de padronização foi análogo ao utilizado para a hidrografia, adotando-se a função linear crescente e (**gráfico 07**), como resultado, obteve-se o **mapa 12**.



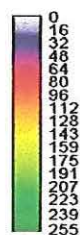
Universidade de São Paulo

Universidade de São Paulo  
Escola de Engenharia de São Carlos  
Departamento de Hidráulica e Saneamento  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

## FATOR HIDROGRAFIA



LEGENDA:



Adequabilidade (0 - 255)

5000 0 5000 10000 15000 Meters

Projeção: UTM  
Datum Horizontal: Córrego Alegre

### NOTA EXPLICATIVA:

Mapa obtido a partir da análise espacial desenvolvida no software Idrisi32 132.22

### DISSERTAÇÃO:

"Seleção preliminar de locais potenciais à implantação de aterros sanitários na sub-bacia hidrográfica da Represa de Itupararanga (Bacia dos Rios Sorocaba e Médio Tietê)"

AUTOR:

Engenheiro Civil Edson Mitsuhide Tshako

ESCALA:

1:350.000

DATA:

18/02/2004

MAPA:

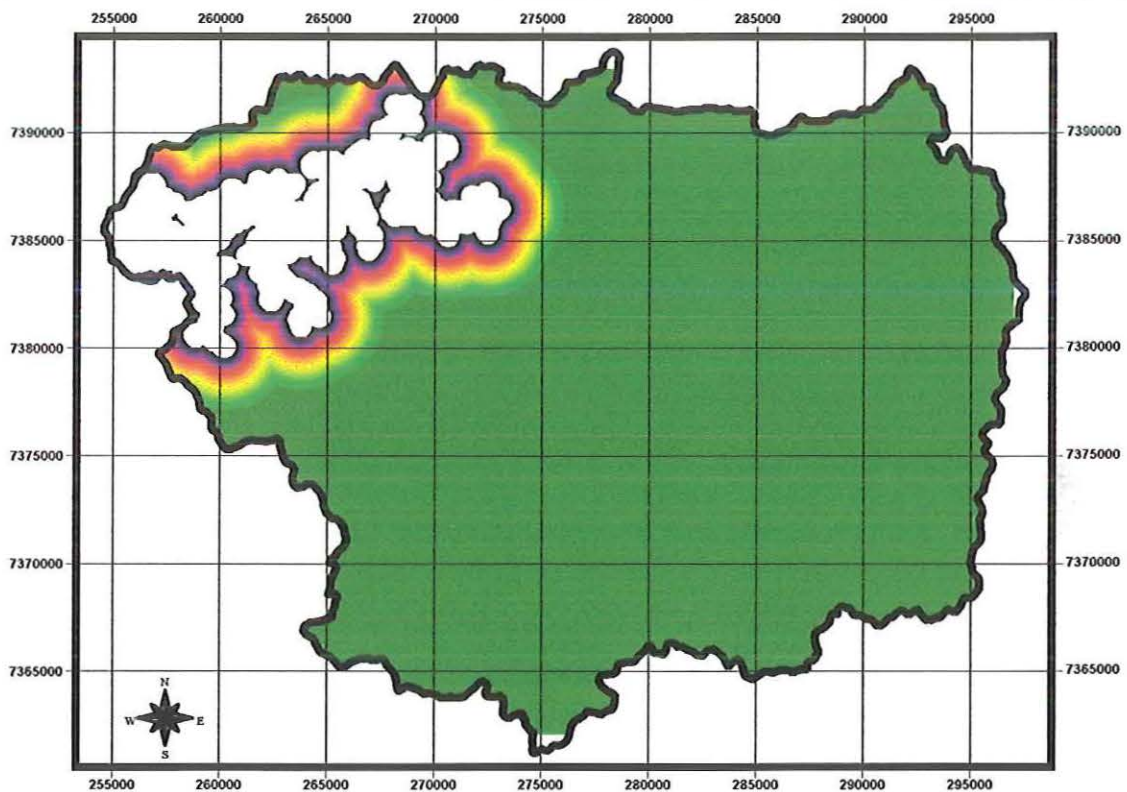
11



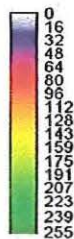
Universidade de São Paulo

Universidade de São Paulo  
Escola de Engenharia de São Carlos  
Departamento de Hidráulica e Saneamento  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

## FATOR REPRESA



LEGENDA:



Adequabilidade (0 - 255)

5000 0 5000 10000 15000 Meters

Projeção: UTM  
Datum Horizontal: Córrego Alegre

### NOTA EXPLICATIVA:

Mapa obtido a partir da análise espacial desenvolvida no software Idrisi32 132.22

### DISSERTAÇÃO:

"Seleção preliminar de locais potenciais à implantação de aterros sanitários na sub-bacia hidrográfica da Represa de Itupararanga (Bacia dos Rios Sorocaba e Médio Tietê)"

AUTOR:  
Engenheiro Civil Edson Mitsuhide Tsuhako

ESCALA:  
1:350.000

DATA:  
18/02/2004

MAPA:  
12

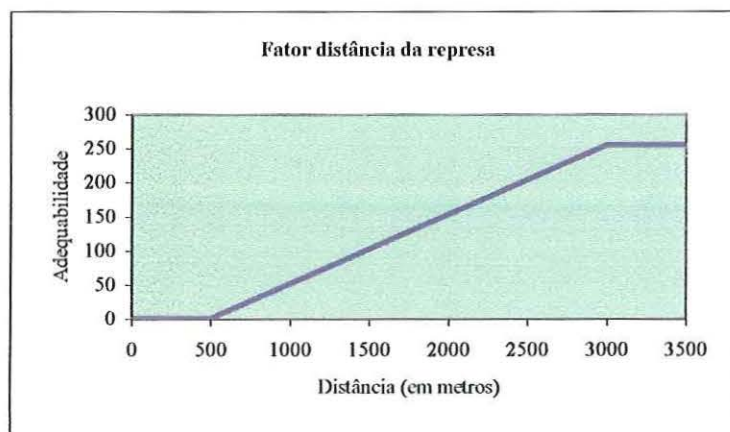


Gráfico 07: Gráfico representativo da padronização do fator distância da represa

*c) Uso e ocupação do solo (FS01)*

Como descrito anteriormente e conforme ilustrado no **mapa 04**, **Garcia et al. (2002)** identificaram nove classes de uso e ocupação do solo:

- Classe 1: campo;
- Classe 2: campo sujo e capoeira;
- Classe 3: mata;
- Classe 4: área de várzea;
- Classe 5: área fracamente urbanizada ou de expansão urbana;
- Classe 6: área fortemente urbanizada;
- Classe 7: área de cultura;
- Classe 8: chácaras;
- Classe 9: represa.

Na normalização dos fatores, as classes 1, 2 e 3 recebeu adequabilidade zero por serem áreas protegidas pela legislação ambiental. A classe 4 descarta-se pela inviabilidade, tanto técnica, como ambiental, por constituir áreas de inundação e de lençol freático raso. As classes 5 e 6, por constituírem núcleos urbanos também foi dada a adequabilidade zero. A classe 8, relativas as chácaras de alto padrão, recebeu a adequabilidade zero devido ao alto custo necessário no caso de desapropriação dessas áreas. A área ocupada pela represa, que constitui a classe 9, foi descartada por razões óbvias.

As possíveis áreas para aterro sanitário, portanto, recaíram sobre a classe 7 representada por áreas de culturas e esta recebeu adequabilidade máxima 255.

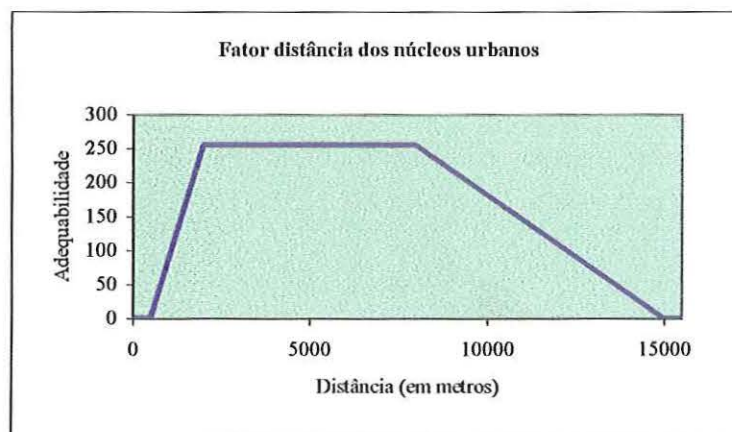
Para a padronização, novamente utilizou-se o módulo *RECLASS* do Idrisi e obteve-se o **mapa 13**.

**d) Distância dos núcleos urbanos (FS02)**

O fator distância dos núcleos urbanos utiliza quatro pontos de controle através de uma função linear (**gráfico 08**).

O primeiro ponto corresponde as exigências da **NBR 13896/1997** de 500 metros de distância de qualquer núcleo populacional. O segundo, de 2000 metros, prevê uma distância segura à expansão urbana, atribuindo-se adequabilidade ótima (255) que se estende até o valor de 8000 metros (terceiro ponto de controle) o qual, a partir de então, decresce linearmente devido ao custo de transporte dos resíduos sólidos, tornando proibitivo (adequabilidade zero) às distâncias maiores do que 15000 metros (quarto ponto de controle).

Com auxílio do módulo *DISTANCE* e do módulo *FUZZY*, procedeu-se a imagem (**mapa 14**) representando o fator distância dos núcleos urbanos (áreas fortemente e fracamente povoadas).



**Gráfico 08:** Gráfico representativo da padronização do fator distância dos núcleos urbanos

**e) Classes de declividade (FT01)**

A **NBR 13896/1997** recomenda declividades entre 1% e 30%. **Zuquete (1987)**, entretanto, cita como valores ideais, declividades entre 2% a 10%, sendo a melhor faixa entre 2% a 5%, portanto, para a área de estudo, foram consideradas seis classes de declividades:

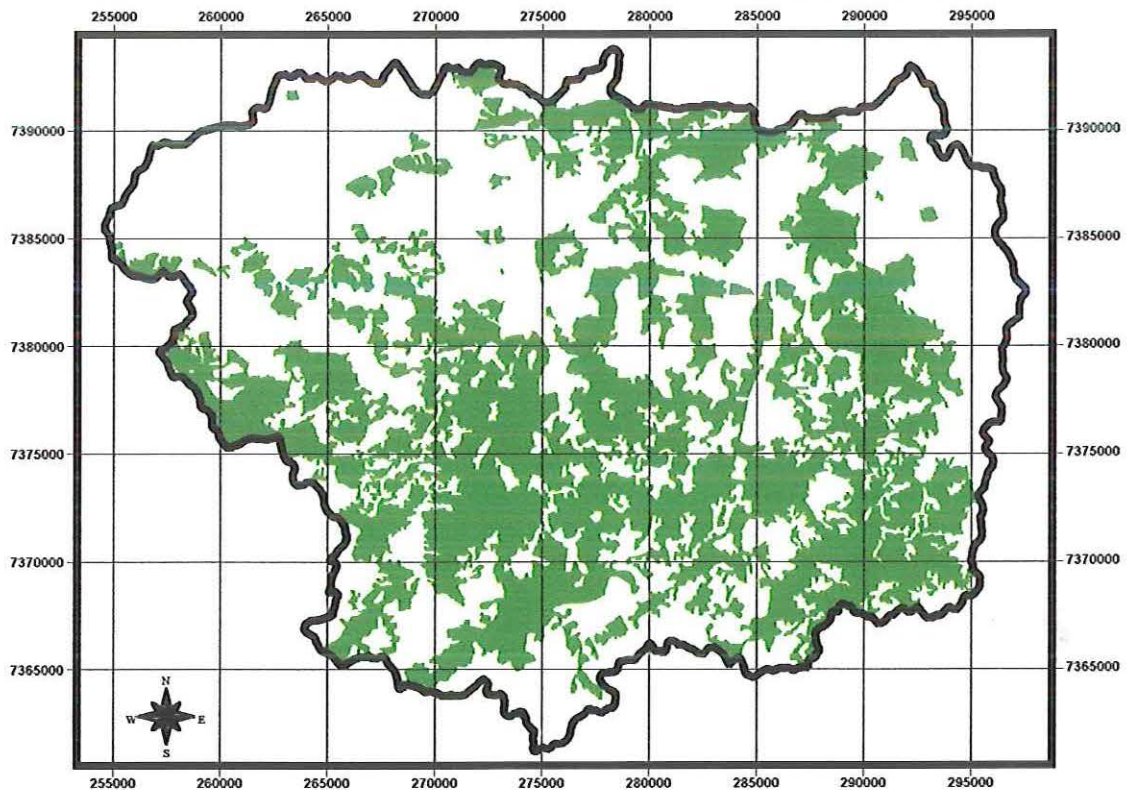
- Classe 1: menor de 1%;



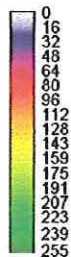
Universidade de São Paulo

Escola de Engenharia de São Carlos  
Departamento de Hidráulica e Saneamento  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

### FATOR USO E OCUPAÇÃO DO SOLO



LEGENDA:



Adequabilidade (0 - 255)

5000 0 5000 10000 15000 Meters

Projeção: UTM  
Datum Horizontal: Córrego Alegre

#### NOTA EXPLICATIVA:

Mapa obtido a partir da análise espacial desenvolvida no software Idrisi32 132.22

#### DISSERTAÇÃO:

"Seleção preliminar de locais potenciais à implantação de aterros sanitários na sub-bacia hidrográfica da Represa de Itupararanga (Bacia dos Rios Sorocaba e Médio Tietê)"

AUTOR:

Engenheiro Civil Edson Mitsuhide Tsuhako

ESCALA:

1:350.000

DATA:

18/02/2004

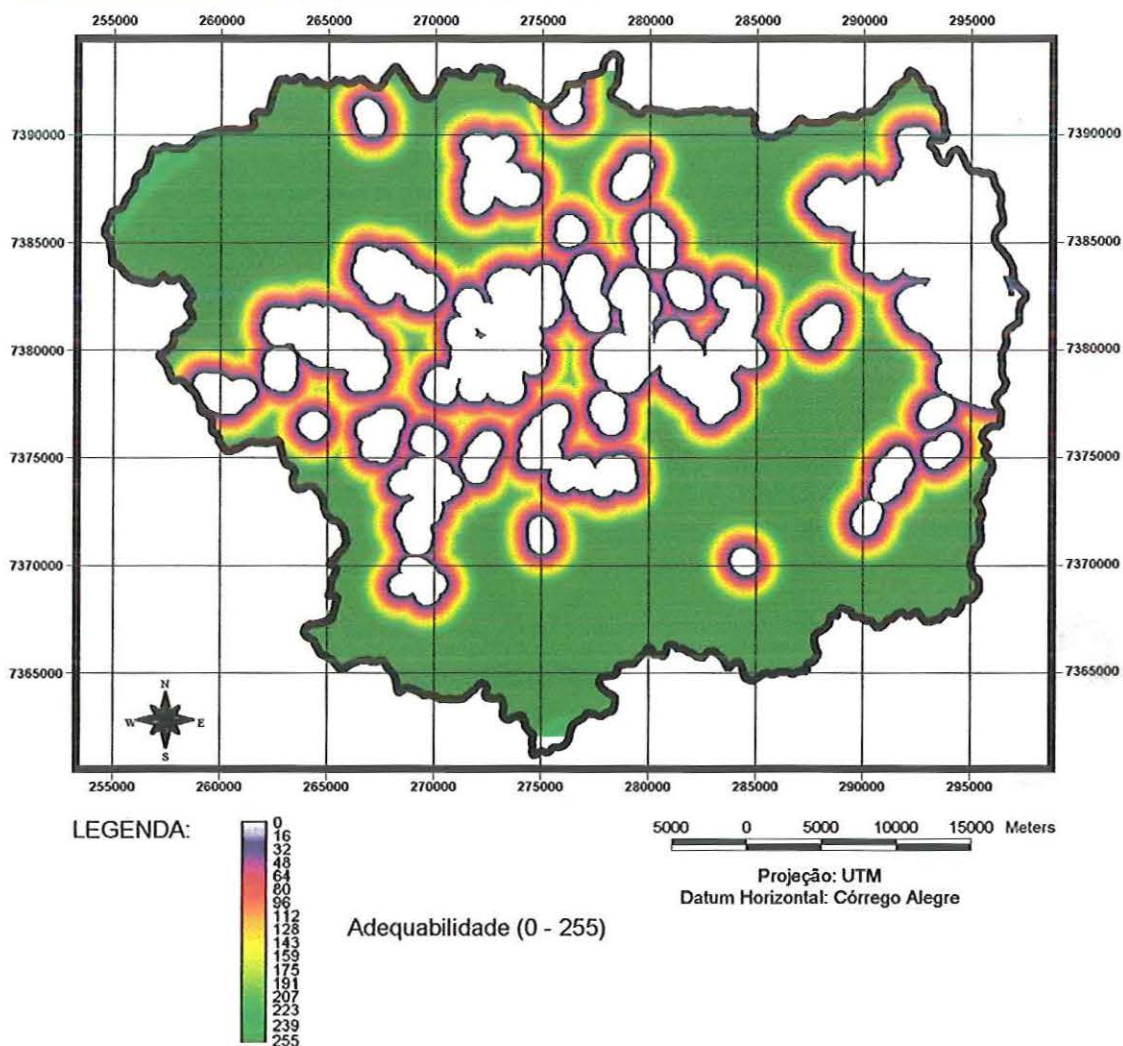
MAPA:

13



Universidade de São Paulo  
Escola de Engenharia de São Carlos  
Departamento de Hidráulica e Saneamento  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

### FATOR NÚCLEOS URBANOS



#### NOTA EXPLICATIVA:

Mapa obtido a partir da análise espacial desenvolvida no software Idrisi32 I32.22

#### DISSERTAÇÃO:

"Seleção preliminar de locais potenciais à implantação de aterros sanitários na sub-bacia hidrográfica da Represa de Itupararanga (Bacia dos Rios Sorocaba e Médio Tietê)"

AUTOR:

Engenheiro Civil Edson Mitsuhide Tshako

ESCALA:

1:350.000

DATA:

18/02/2004

MAPA:

14

- Classe 2: entre 1% e 5%;
- Classe 3: entre 5% e 10%;
- Classe 4: entre 10% e 20%;
- Classe 5: entre 20% e 30% e
- Classe 6: maior de 30%.

Os intervalos de declividade foram reescalados numa padronização categórica, ou seja, verificou-se os identificadores de cada intervalo de declividade e procedeu-se a uma reclassificação da imagem correspondente de acordo com as suas respectivas adequabilidades, através do módulo *RECLASS* do Idrisi.

Dessa forma, as regiões topograficamente desfavoráveis foram descartadas do contexto final da seleção, praticamente tornando-se restrições. As áreas favoráveis, ou seja, com declividades entre 1% e 30% foram reescaladas, como mostrado abaixo:

- Classe 2 (declividade entre 1% e 5%): adequabilidade 255;
- Classe 3 (declividade entre 5 a 10%): adequabilidade 230;
- Classe 4 (declividade entre 10% e 20%): adequabilidade 220;
- Classe 5 (declividade entre 20% e 30%): adequabilidade 200.

As áreas com declividades menores que 1% e maiores que 30% são automaticamente “zeradas” pelo Idrisi, isto é, a adequabilidade recebe o valor zero.

O resultado final foi uma imagem de adequabilidade representando a situação, como ilustrado no **mapa 15**.

#### ***f) Distância do sistema viário (FT02)***

A localização de aterros deve manter a distância mínima de 200 metros dos sistemas viários. Distâncias entre 500 metros e 1000 metros oneram sensivelmente os custos devido a necessidade de construção de acessos.

Objetivando padronizar, em termos de adequabilidade, a situação exposta, utilizou-se a função fuzzy linear simétrica, onde o primeiro ponto de controle corresponde a 200 metros, o segundo a 500 metros, o terceiro a 1000 metros e o quarto tende ao infinito.

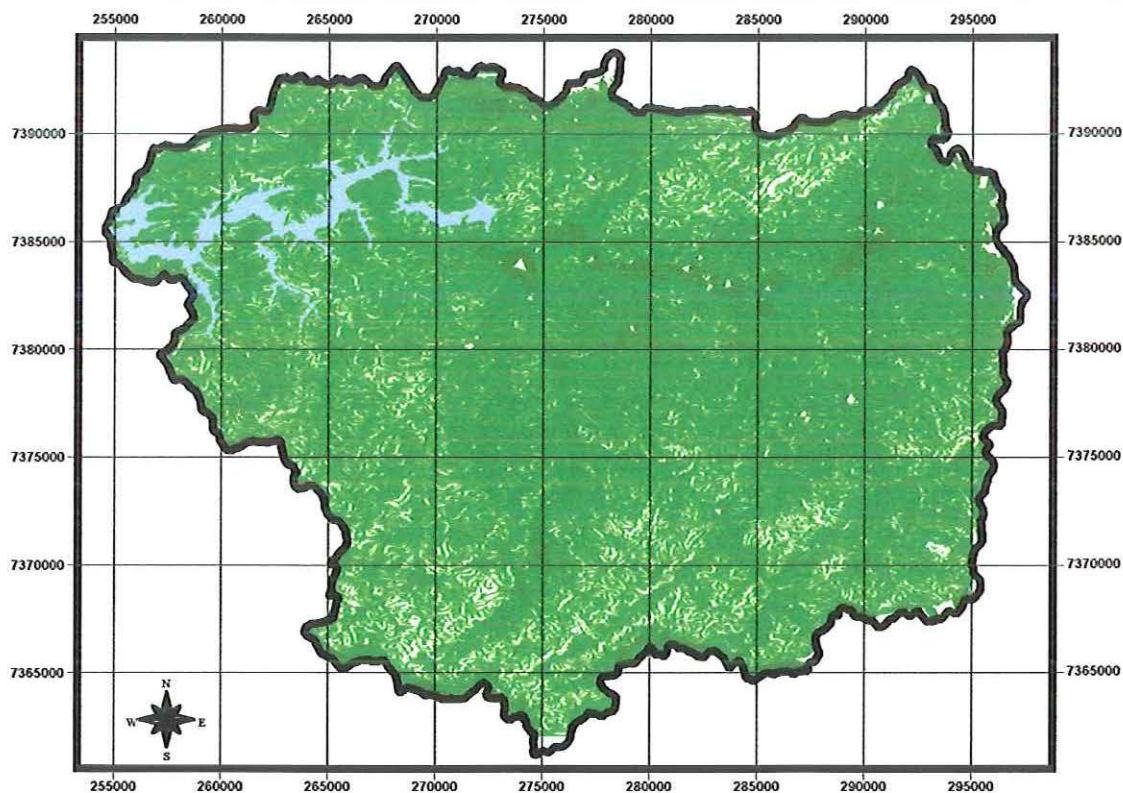
A **gráfico 09** mostra o gráfico representativo da função fuzzy utilizada para a padronização contínua de adequabilidade do fator distância das rodovias.



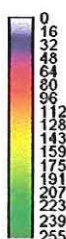
Universidade de São Paulo

Universidade de São Paulo  
Escola de Engenharia de São Carlos  
Departamento de Hidráulica e Saneamento  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

### FATOR CLASSES DE DECLIVIDADE



LEGENDA:



Adequabilidade (0 - 255)

5000 0 5000 10000 15000 Meters

Projeção: UTM  
Datum Horizontal: Córrego Alegre

#### NOTA EXPLICATIVA:

Mapa obtido a partir da análise espacial desenvolvida no software Idrisi32 132.22

#### DISSERTAÇÃO:

"Seleção preliminar de locais potenciais à implantação de aterros sanitários na sub-bacia hidrográfica da Represa de Itupararanga (Bacia dos Rios Sorocaba e Médio Tietê)"

AUTOR:

Engenheiro Civil Edson Mitsuhide Tsuhako

ESCALA:

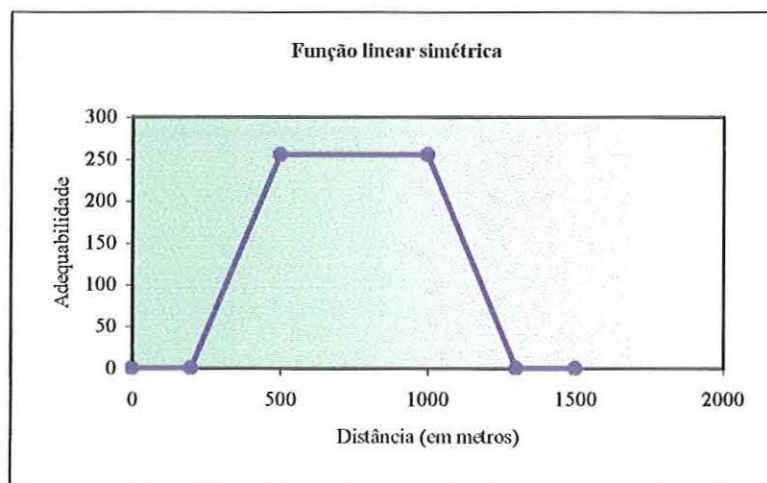
1:350.000

DATA:

18/02/2004

MAPA:

15



**Gráfico 09:** Gráfico representativo da padronização do fator distância da rodovia

Para a realização desta padronização, primeiramente foi gerada uma reclassificação através do módulo *RECLASS*, a partir da restrição relativa a distância mínima de 200 metros do sistema viário, procedeu-se, então, a geração de imagens relacionadas com a distância das localizações às rodovias, por meio do módulo *DISTANCE*. Esse módulo produz uma superfície contínua de valores da distância Euclidiana da característica que se deseja, com valores medidos em metros, neste caso. Por fim, com o módulo *FUZZY* e a função linear simétrica, obteve-se a imagem de adequabilidade do fator distância das rodovias.

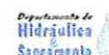
Como resultado final, obteve-se a imagem de adequabilidade ilustrada pelo **mapa 16**.

#### **g) Mapa geomorfológico (FT03)**

Segundo **Garcia et al. (2002)**, a classificação das formas baseou-se no método de **Ross (1997)**, na qual o autor classifica as formas de relevo de acordo com sua origem genética.

A classificação de **Ross (1997) apud Garcia et al. (2002)**, identifica dois grandes conjuntos: formas de agradação e formas de decomposição.

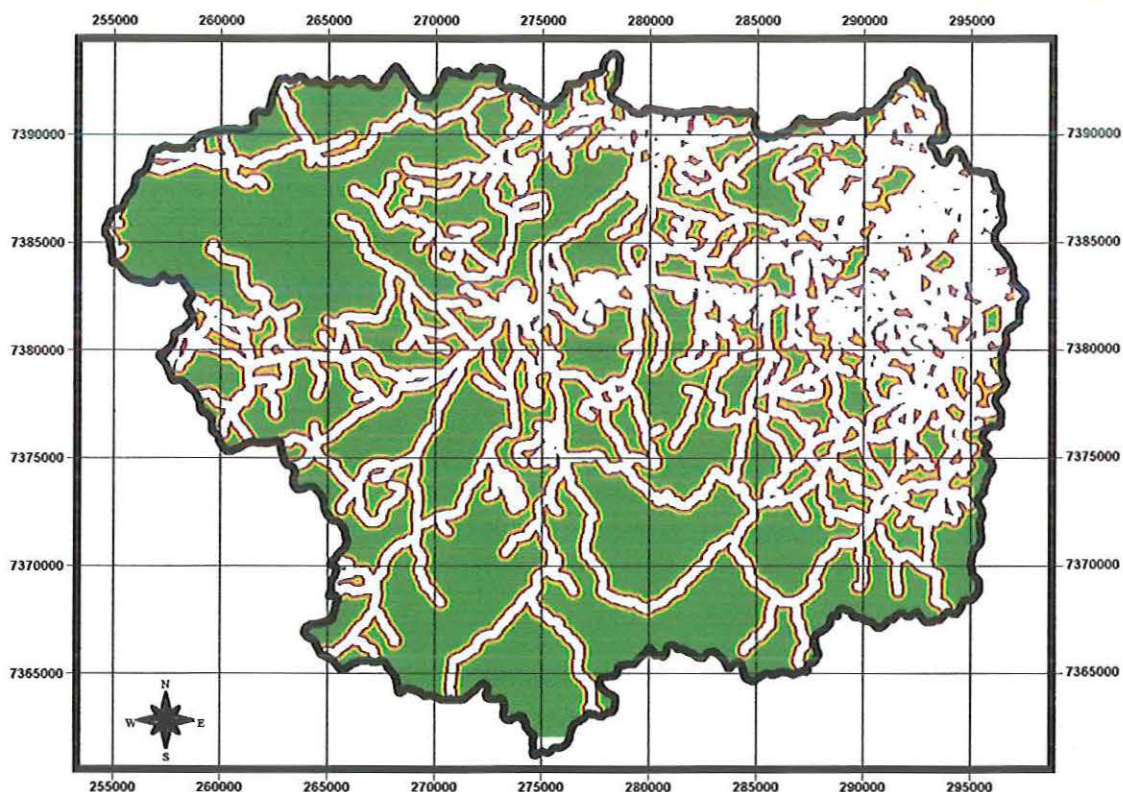
Nas formas decompositivas (DC) o primeiro índice entre 1 e 5 representam a profundidade do topo ao fundo de vale de uma vertente, o segundo índice, também de 1 a 5, representa a distância entre os interflúvios. Nessa relação, DC-11 representa a menor fragilidade física e DC-55 a maior fragilidade.



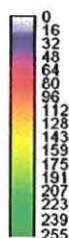
Universidade de São Paulo

Universidade de São Paulo  
Escola de Engenharia de São Carlos  
Departamento de Hidráulica e Saneamento  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

## FATOR SISTEMA VIÁRIO



LEGENDA:



Adequabilidade (0 - 255)

5000 0 5000 10000 15000 Meters

Projeção: UTM  
Datum Horizontal: Córrego Alegre

### NOTA EXPLICATIVA:

Mapa obtido a partir da análise espacial desenvolvida no software Idrisi32 I32.22

### DISSERTAÇÃO:

"Seleção preliminar de locais potenciais à implantação de aterros sanitários na sub-bacia hidrográfica da Represa de Itupararanga (Bacia dos Rios Sorocaba e Médio Tietê)"

AUTOR:

Engenheiro Civil Edson Mitsuhide Tshako

ESCALA:

1:350.000

DATA:

18/02/2004

MAPA:

16

Por sua vez, as formas agradacionais são representadas pelas planícies flúvio-aluvionares (PFA) e pelos terrenos aluvionares (TA)

A partir dessa classificação procedeu-se ao processo de normalização (**tabela 08**) no qual a maior adequabilidade é dada a DC-11 (menor fragilidade física) e a menor a DC-55 (maior fragilidade física). Valores intermediários descrevem linearmente entre DC-11 a DC-55. PFA e TA receberam adequabilidade zero por representarem áreas sujeitas a inundações e lençóis freáticos rasos. O resultado dessa padronização está representada pelo **mapa 17**.

**Tabela 08:** Adequabilidade atribuída aos índices de fragilidade física

Índice de fragilidade física e adequabilidade atribuída								
Tipo	DC-23	DC-24	DC-33	DC-34	DC-43	DC-44	PFA	TA
Adequabilidade	185	175	135	105	65	55	0	0

#### *h) Mapa pedológico do Estado de São Paulo (FT04)*

O fator pedológico apresenta os latossolos como os mais ideais, principalmente por apresentarem textura argilosa (mais de 35% de argila em sua composição). Os argissolos caracterizados pela textura média (até 35% de argila em sua composição) receberam adequabilidade intermediária e os cambissolos, adequabilidade baixa pela pouca espessura da camada desse tipo de solo.

A presença de pedregulhos, cascalhos ou outros materiais rochosos de maior granulometria tiveram sua adequabilidade reduzida, pois interferem na permeabilidade, ou seja, facilitam a percolação das águas pluviais.

Relevos considerados ondulados (declives moderados, entre 8% a 20%) foram considerados os melhores por abrigarem uma maior camada de solo intemperizado em relação àqueles considerados forte ondulados (declive entre 20% a 45%) e montanhoso (declive entre 45% a 75%).

Ao processo de normalização, atribuiu-se adequabilidades (**tabela 09**), aos tipos de solo existentes na região:

**Tabela 09:** adequabilidade atribuída ao fator pedológico

Padronização do fator pedológico									
Solo	LVA1	LVA17	LVA41	LVA56	PVA50	PVA18	PVA19	PVA55	CXI
Adequabilidade	255	240	225	210	200	180	160	145	80

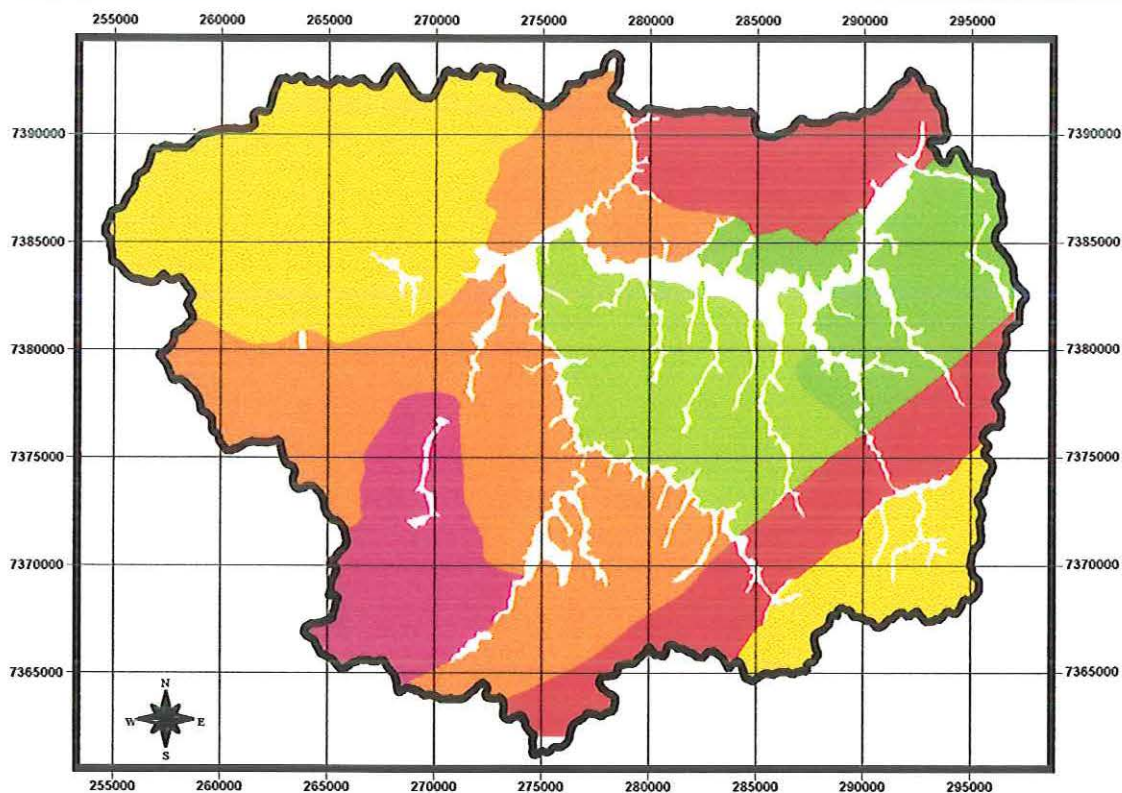


**USP**  
Universidade de São Paulo

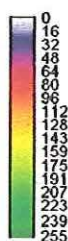


Universidade de São Paulo  
Escola de Engenharia de São Carlos  
Departamento de Hidráulica e Saneamento  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

## FATOR GEOMORFOLOGIA



LEGENDA:



Adequabilidade (0 - 255)

5000 0 5000 10000 15000 Meters

Projeção: UTM  
Datum Horizontal: Córrego Alegre

### NOTA EXPLICATIVA:

Mapa obtido a partir da análise espacial desenvolvida no software Idrisi32 132.22

### DISSERTAÇÃO:

"Seleção preliminar de locais potenciais à implantação de aterros sanitários na sub-bacia hidrográfica da Represa de Itupararanga (Bacia dos Rios Sorocaba e Médio Tietê)"

AUTOR:

Engenheiro Civil Edson Mitsuhide Tshako

ESCALA:

1:350.000

DATA:

18/02/2004

MAPA:

17

O resultado final foi a imagem de adequabilidade representada pelo **mapa 18**.

*i) Carta Geotécnica do Estado de São Paulo (FT05)*

A Carta Geotécnica do Estado de São Paulo foi publicada pelo IPT em 1994. Sua finalidade principal é a relação entre os processos do meio físico e a previsão de comportamento geotécnico dos terrenos ante a seu uso. A folha utilizada foi a de São Paulo, na qual a bacia hidrográfica da represa de Itupararanga está inclusa.

Na região foram verificados três comportamentos possíveis ante ao uso do solo, descritos a seguir e ilustrado no **mapa 19**:

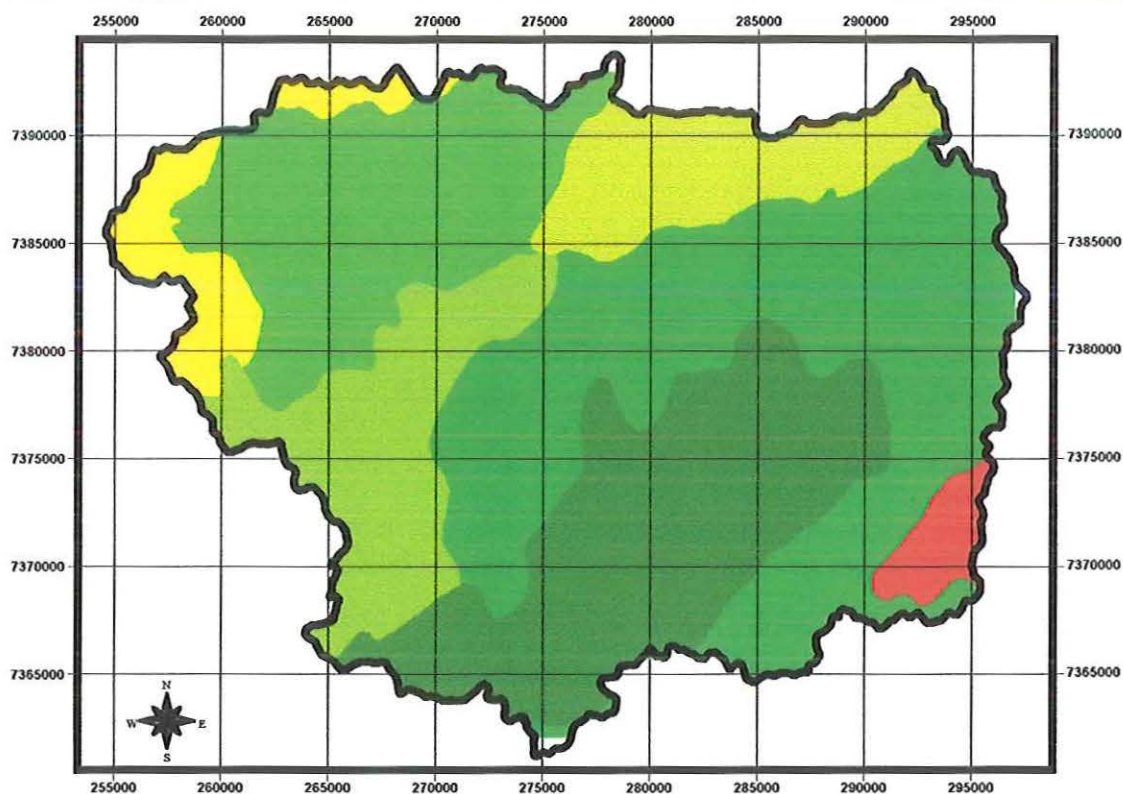
- Comportamento 1 (Alta suscetibilidade a inundações, recalques, assoreamento e solapamento das margens dos rios): caracterizados por terrenos praticamente planos (declividades inferiores a 5%); nível de água raso; solos sedimentares aluvionares recentes, com eventuais presenças de camadas de turfa ou argilas orgânicas moles; materiais com baixa capacidade de suporte; inundações fluviais (associadas aos períodos de cheia); inundações pluviais (provocadas pela dificuldade de escoamento das águas de chuva, antes de estas atingirem os cursos d' água); recalques excessivos; dificuldades eventuais de escavação pela instabilidade das paredes;
- Comportamento 2 (Alta suscetibilidade a escorregamentos (naturais e induzidos): áreas caracterizadas por declividades superiores a 20%; encostas com perfil predominantemente retilíneas; queda e rolamento de blocos; escorregamentos e deslocamento rochosos; rastejo nas encostas; escorregamentos e potencialidade para geração de corridas de massa restrita a alguns anfiteatros; solo superficial argiloso com espessura em torno de 1 metro; solos de alteração siltoso com espessuras geralmente inferiores a 5 metros;
- Comportamento 3 (Alta suscetibilidade a erosão nos solos subsuperficiais induzida por movimentos de terra): região caracterizada por encostas com declividades predominantes entre 20% e 70%; nível d' água muito profundo, porém, podem-se registrar surgências d' água em cortes; solo superficial argiloso, vermelho, laterizado, com 1 metro de espessura; solo de alteração predominantemente siltoso; erosão acelerada por sulcos e ravinas; assoreamento nas drenagens e reservatórios devido a erosão causada pela



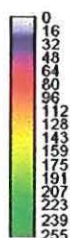
Universidade de São Paulo

Universidade de São Paulo  
Escola de Engenharia de São Carlos  
Departamento de Hidráulica e Saneamento  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

## FATOR PEDOLOGIA



LEGENDA:



Adequabilidade (0 - 255)

5000 0 5000 10000 15000 Meters

Projeção: UTM  
Datum Horizontal: Córrego Alegre

### NOTA EXPLICATIVA:

Mapa obtido a partir da análise espacial desenvolvida no software Idrisi32 I32.22

### DISSERTAÇÃO:

"Seleção preliminar de locais potenciais à implantação de aterros sanitários na sub-bacia hidrográfica da Represa de Itupararanga (Bacia dos Rios Sorocaba e Médio Tietê)"

AUTOR:

Engenheiro Civil Edson Mitsuhide Tsuhako

ESCALA:

1:350.000

DATA:

18/02/2004

MAPA:

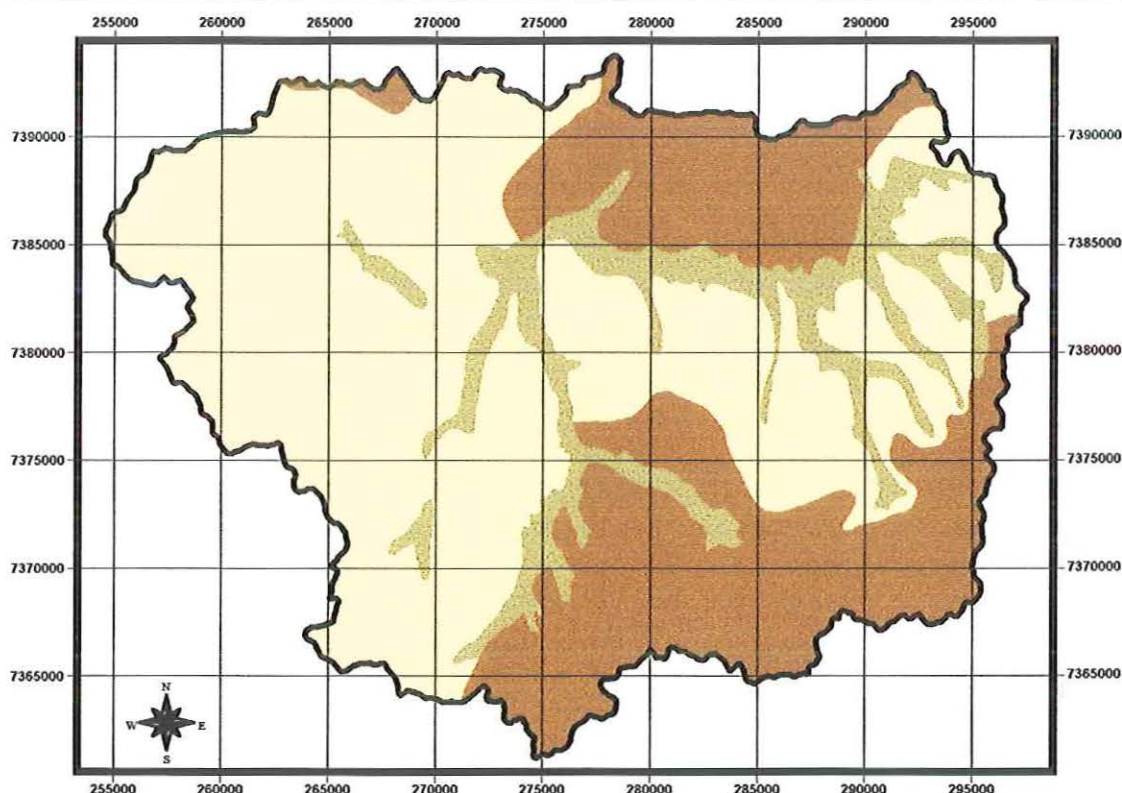
18



Universidade de São Paulo

Universidade de São Paulo  
Escola de Engenharia de São Carlos  
Departamento de Hidráulica e Saneamento  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

## CARTA GEOTÉCNICA



LEGENDA:

5000 0 5000 10000 15000 Meters

Projeção: UTM  
Datum Horizontal: Córrego Alegre

Limites da bacia

- Alta suscetibilidade a inundações, recalques, assoreamento e solapamento das margens dos rios
- Alta suscetibilidade a escorregamentos (naturais e induzidos)
- Alta suscetibilidade a erosão nos solos subsuperficiais induzido por movimento de terra

### NOTA EXPLICATIVA:

Digitalização da carta geotécnica produzida por Nakazawa et al. (1994)

### DISSERTAÇÃO:

"Seleção preliminar de locais potenciais à implantação de aterros sanitários na sub-bacia hidrográfica da Represa de Itupararanga (Bacia dos Rios Sorocaba e Médio Tietê)"

AUTOR:  
Engenheiro Civil Edson Mitsuhide Tshako

ESCALA:  
1:350.000

DATA:  
18/02/2004

MAPA:  
19

ocupação urbana e pelo lançamento de entulhos e resíduos nos sistemas de drenagem.

Analogamente a padronização das classes de declividade, a normalização para a Carta Geotécnica foi reescalada categoricamente utilizando o módulo RECLASS, como mostrado a seguir:

- Comportamento 1 (Alta suscetibilidade a inundações, recalques, assoreamento e solapamento das margens dos rios): adequabilidade zero;
- Comportamento 2 (Alta suscetibilidade a escorregamentos (naturais e induzidos): adequabilidade 100;
- Comportamento 3 (Alta suscetibilidade a erosão nos solos subsuperficiais induzida por movimentos de terra): adequabilidade 180.

Aparentemente a área de estudo não reúne condições favoráveis no quesito geotécnico, porém, vale lembrar que a Carta Geotécnica foi elaborada na escala 1:500.000, isto é, não apresenta um estudo detalhado da região como seria em uma escala maior como, por exemplo, 1:50.000.

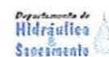
O **mapa 20** representa a imagem final de adequabilidade em que o fator considerado foi a Carta Geotécnica do Estado de São Paulo.

#### ***3.2.3.3. Agregação dos critérios***

Os nove fatores foram agregados após atribuição de suas importâncias relativas e, posteriormente, cálculo dos pesos ponderados.

A **tabela 10** apresenta a distribuição das importâncias relativas consideradas para estes fatores, objetivando a localização de áreas para aterro sanitário, onde:

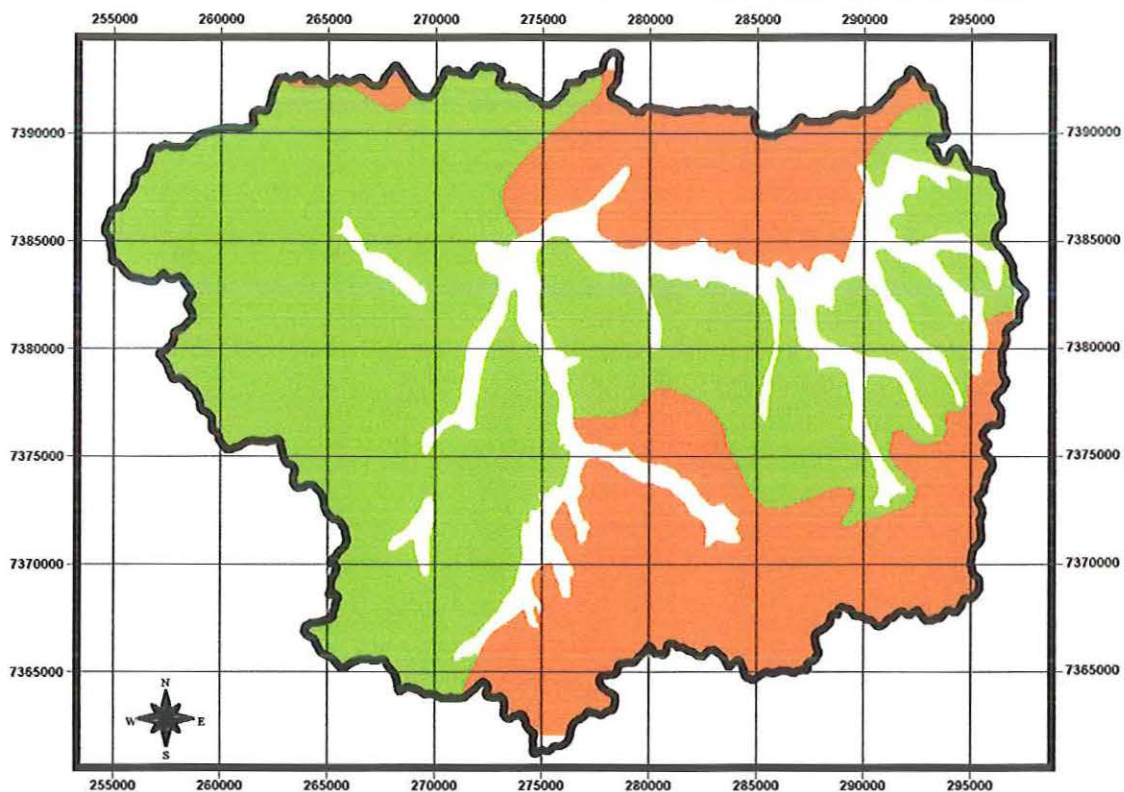
- FA01 → distância dos corpos d'água;
- FA02 → distância da represa;
- FS01 → uso e ocupação do solo;
- FS02 → distância dos núcleos urbanos;
- FT01 → classes de declividade;
- FT02 → distância do sistema viário;
- FT03 → mapa geomorfológico;
- FT04 → mapa pedológico do Estado de São Paulo e



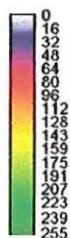
Universidade de São Paulo

Universidade de São Paulo  
Escola de Engenharia de São Carlos  
Departamento de Hidráulica e Saneamento  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

### FATOR CARTA GEOTÉCNICA



LEGENDA:



Adequabilidade (0 - 255)

5000 0 5000 10000 15000 Meters

Projeção: UTM  
Datum Horizontal: Córrego Alegre

#### NOTA EXPLICATIVA:

Mapa obtido a partir da análise espacial desenvolvida no software Idrisi32 I32.22

#### DISSERTAÇÃO:

"Seleção preliminar de locais potenciais à implantação de aterros sanitários na sub-bacia hidrográfica da Represa de Itupararanga (Bacia dos Rios Sorocaba e Médio Tietê)"

AUTOR:

Engenheiro Civil Edson Mitsuhide Tshako

ESCALA:

1:350.000

DATA:

18/02/2004

MAPA:

20

- FT05 → carta geotécnica do IPT.

Para a agregação dos fatores utilizou-se o módulo *WEIGHT* do programa Idrisi. Este módulo utiliza uma técnica de comparação par-a-par de fatores para desenvolver um conjunto de pesos ponderados cujo somatório é igual a um. Os fatores são comparados dois a dois em termos de sua importância relativa.

**Tabela 10:** Importâncias relativas entre os fatores técnicos

Fatores	FT02	FS01	FT04	FT01	FT05	FS02	FT03	FA1	FA02
FT02	1								
FS01	½	1							
FT04	½	½	1						
FT01	½	½	½	1					
FT05	1/3	1/3	½	½	1				
FS02	¼	¼	1/3	1/3	½	1			
FT03	¼	¼	1/3	¼	1/3	1/3	1		
FA01	1/7	1/7	¼	¼	1/3	1/3	½	1	
FA02	1/7	1/7	¼	¼	1/3	1/3	½	½	1

O resultado do cálculo dos pesos ponderados, ou pesos dos fatores, mostra a relação entre os fatores considerados no processo de agregação dos mesmos objetivando a seleção de áreas adequadas para a disposição de resíduos sólidos urbanos (tabela 11).

**Tabela 11:** pesos ordenados obtidos pelo processo de agregação

Pesos ponderados para cada fator								
FT02	FS01	FT04	FT01	FT05	FS02	FT03	FA01	FA02
0,26	0,21	0,15	0,12	0,09	0,07	0,04	0,03	0,03

O procedimento de análise multicritério por combinação linear ponderada (WLC) foi utilizado para o cálculo da média ponderada para cada pixel da imagem. Através deste procedimento, cada fator é multiplicado pelo seu respectivo peso, eles são somados e a soma é dividida pelo número de fatores. A média ponderada é calculada para cada pixel da imagem. Esta técnica permite colocar a análise exatamente entre o *And* (risco mínimo ou aversão ao risco) e o *Or* (risco máximo ou risco extremo), ou seja, o nível de risco assumido na análise é médio e o grau de compensação entre os fatores é total (vide figura 35, item 2.9.2.3).

O fluxograma da **figura 45** representa as etapas da agregação dos critérios (restrições e fatores) para se obter os cenários finais de seleção.

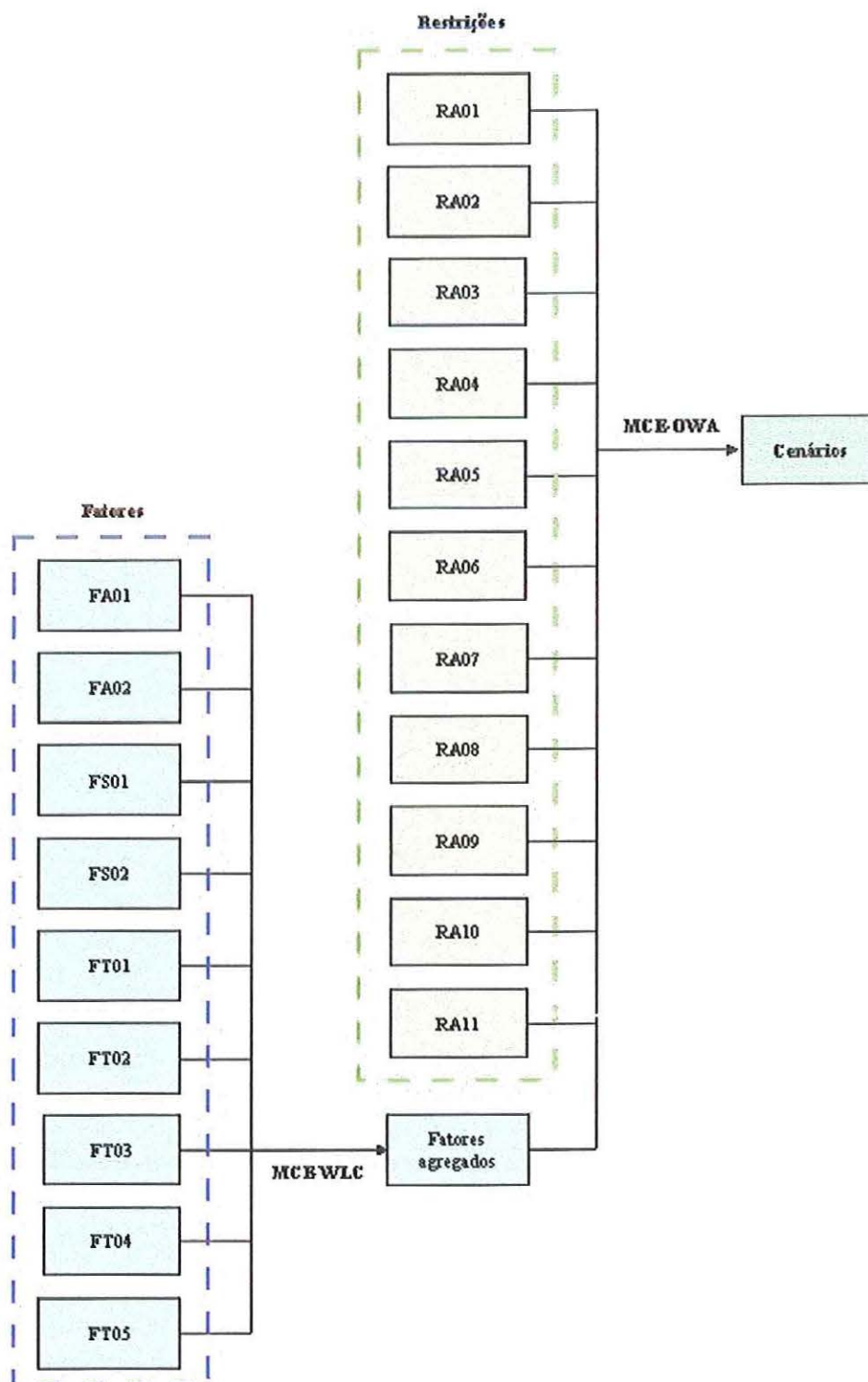


Figura 45: Fluxograma do processo de agregação de fatores e restrições

### 3.2.3.4. Mapas finais das áreas selecionadas

Para a geração dos mapas finais (ou cenários) das áreas selecionadas de acordo com um certo grau de adequabilidade pré-definido, as restrições booleanas foram consideradas e as adequabilidades ao final do processo de agregação, pelo procedimento OWA, modificaram-se devido a operação de multiplicação do produto das restrições.

Nesta etapa, os fatores foram combinados, aplicando-se um peso a cada um deles (pesos ponderados ou pesos dos fatores), seguido por uma adição dos resultados.

Em seguida, um segundo conjunto de pesos (pesos ordenados) foi aplicado, permitindo controlar o nível do risco assumido na análise e o grau de compensação entre os fatores.

A atitude de risco da análise e o grau de compensação entre os fatores foram medidos, respectivamente, pelas variáveis RISCO e COMPENSAÇÃO dada pelas Equações 3 e 4 (item 2.9.2.3).

Quanto menor o nível do risco assumido na análise, menor será o número de localizações adequadas encontradas para o objetivo especificado ao final do processo de agregação entre os fatores e as restrições necessárias. E, conseqüentemente, quanto maior o nível do risco assumido na análise, maior será o número destas localizações.

No caso da compensação entre os fatores, quanto menor o seu grau, menor será o número de localizações adequadas encontradas para um objetivo específico no cenário final de adequabilidade. E, conseqüentemente, quanto maior o seu grau, maior será o número destas localizações.

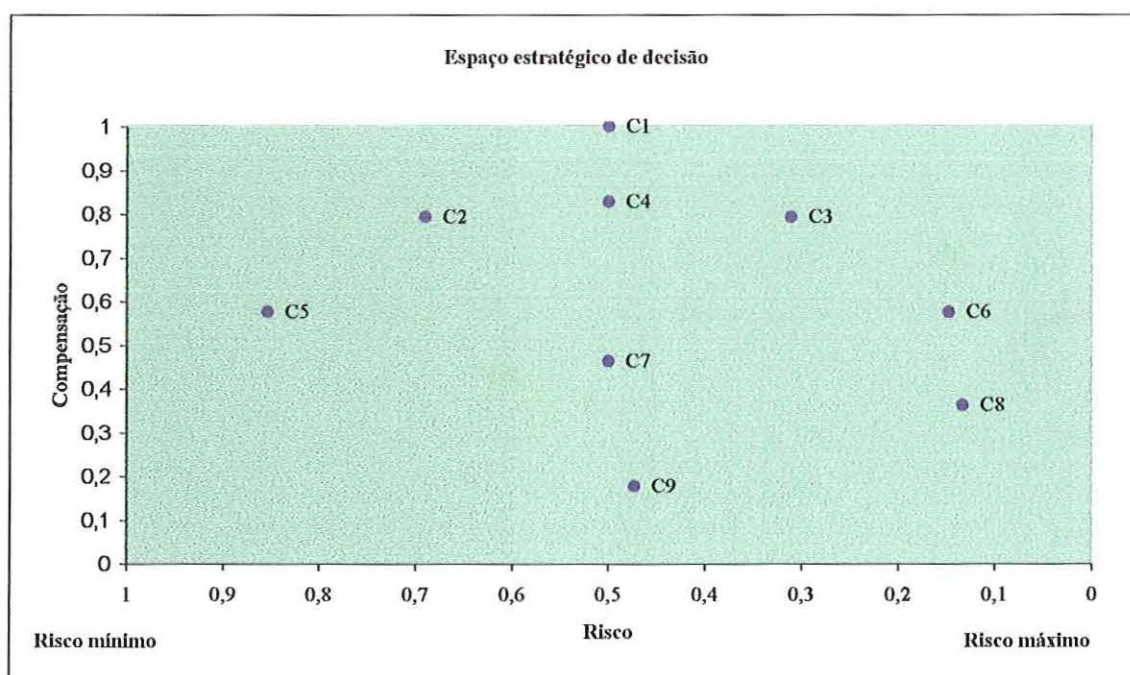
Para a bacia hidrográfica de Itupararanga foram propostos nove cenários obtidos a partir da variação dos níveis de risco e compensação entre os fatores, conforme mostrado na **tabela 12**.

**Tabela 12:** Cenários finais propostos

Cenários	Posição e valor dos pesos ordenados									RISCO	COMPENSAÇÃO
	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°		
C1	0,111	0,111	0,111	0,111	0,111	0,111	0,111	0,111	0,111	0,50	1,00
C2	0,215	0,185	0,160	0,135	0,110	0,090	0,060	0,035	0,010	0,69	0,79
C3	0,010	0,035	0,060	0,090	0,110	0,135	0,160	0,185	0,215	0,31	0,79
C4	0,050	0,075	0,100	0,175	0,200	0,175	0,100	0,075	0,050	0,50	0,83
C5	0,400	0,250	0,175	0,125	0,050	0	0	0	0	0,85	0,58
C6	0	0	0	0	0,050	0,125	0,175	0,250	0,400	0,15	0,58
C7	0,425	0,050	0,025	0	0	0	0,025	0,050	0,425	0,5	0,46
C8	0,010	0,015	0,025	0,035	0,045	0,055	0,065	0,075	0,675	0,13	0,36
C9	0	0	0	0	0,835	0,125	0,030	0,005	0,005	0,47	0,18

O **gráfico 10** mostra a posição dos cenários no espaço estratégico de decisão e, como pode ser observado em relação aos níveis de risco e graus de compensação assumidos, tem-se:

- Cenário 1 (C1): risco médio e compensação total
- Cenário 2 (C2): risco médio a mínimo e compensação alta
- Cenário 3 (C3): risco médio a máximo e compensação alta
- Cenário 4 (C4): risco médio e compensação alta
- Cenário 5 (C5): risco mínimo e compensação parcial
- Cenário 6 (C6): risco máximo e compensação parcial
- Cenário 7 (C7): risco médio e compensação parcial
- Cenário 8 (C8): risco máximo e compensação baixa
- Cenário 9 (C9): risco médio e compensação baixa



**Gráfico 10** : Posição dos cenários no espaço estratégico de decisão

Os **mapas 21 a 29** ilustram os nove cenários finais propostos, C1 a C9, respectivamente, e cada cenário é discutido no Capítulo 4, em Resultados e Discussão, deste trabalho.

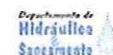
Para cada um dos cenários foi feita uma condição para selecionar as áreas com um certo grau de adequabilidade e com áreas maiores que 20 hectares, mais do que

suficiente para receber o lixo de uma população de 180.000 habitantes durante o período de 10 anos (vida útil recomendada pela **NBR13896/1997**). Esse processo foi feito com o auxílio da macro *SITSELECT* presente no programa Idrisi.

#### **3.2.4. 4ª ETAPA: Avaliação e proposição das soluções possíveis**

Dentre as áreas selecionadas, é dada prioridade àquelas que obtiveram a maior adequabilidade possível na escala contínua de 0 a 255.

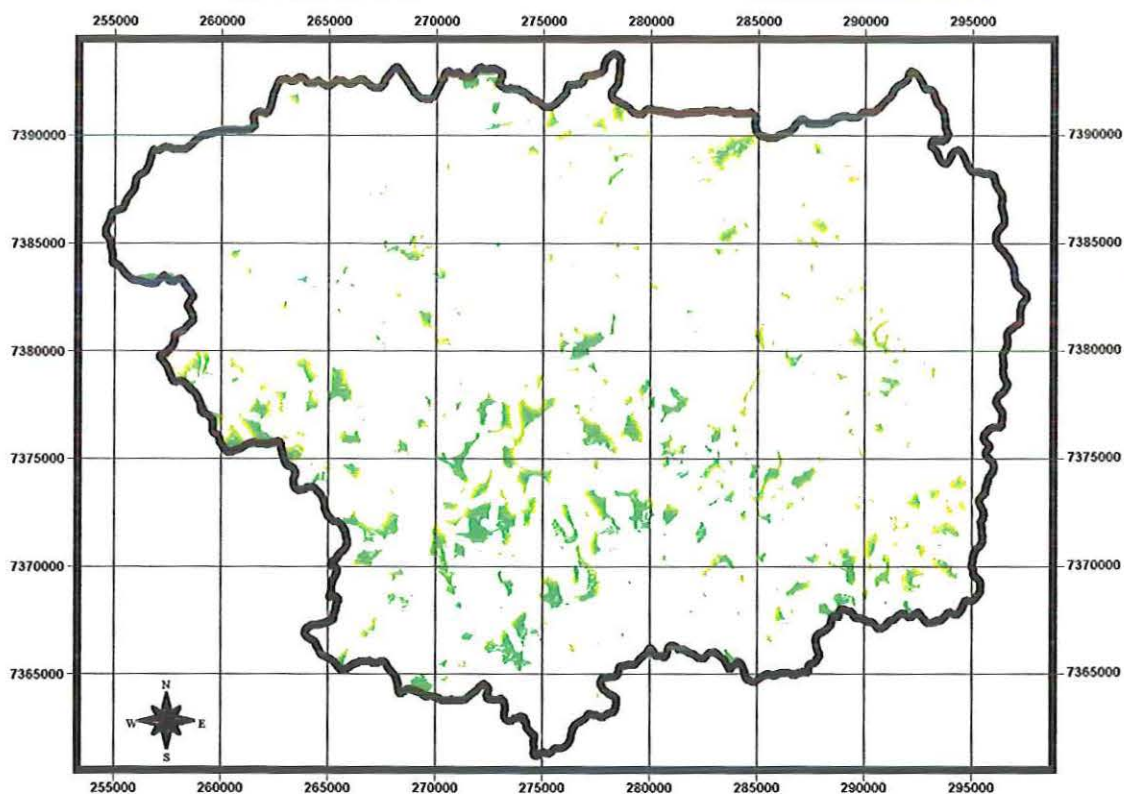
A seleção final (definitiva) entre as áreas propostas será realizada somente após um estudo detalhado *in loco* envolvendo, principalmente, prospecção geotécnica e RAP ou EIA/RIMA.



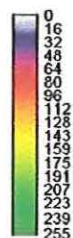
Universidade de São Paulo

Universidade de São Paulo  
Escola de Engenharia de São Carlos  
Departamento de Hidráulica e Saneamento  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

### CENÁRIO 01 (C1)



LEGENDA:



Adequabilidade (0 - 255)

5000 0 5000 10000 15000 Meters

Projeção: UTM  
Datum Horizontal: Córrego Alegre

#### NOTA EXPLICATIVA:

Mapa obtido a partir da análise espacial desenvolvida no software Idrisi32 132.22

#### DISSERTAÇÃO:

"Seleção preliminar de locais potenciais à implantação de aterros sanitários na sub-bacia hidrográfica da Represa de Itapararanga (Bacia dos Rios Sorocaba e Médio Tietê)"

AUTOR:

Engenheiro Civil Edson Mitsuhide Tsuhako

ESCALA:

1:350.000

DATA:

18/02/2004

MAPA:

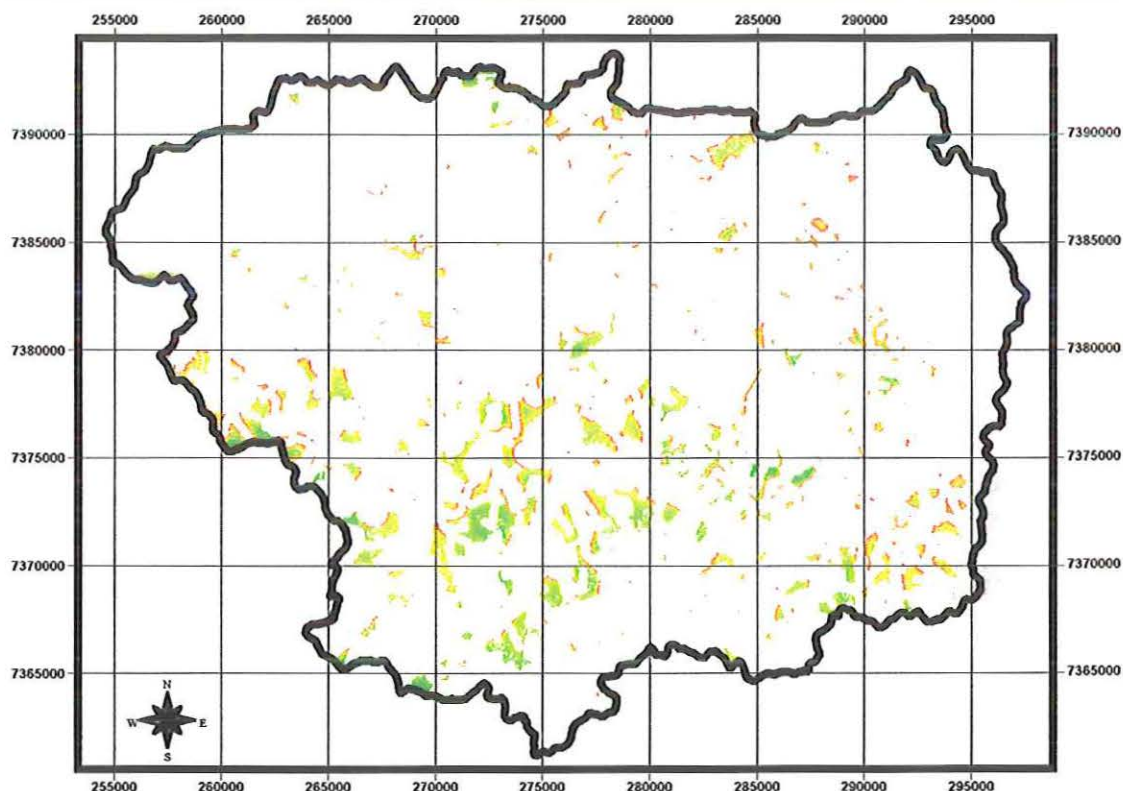
21



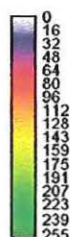
Universidade de São Paulo

Universidade de São Paulo  
Escola de Engenharia de São Carlos  
Departamento de Hidráulica e Saneamento  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

### CENÁRIO 02 (C2)



LEGENDA:



Adequabilidade (0 - 255)

5000 0 5000 10000 15000 Meters

Projeção: UTM  
Datum Horizontal: Córrego Alegre

#### NOTA EXPLICATIVA:

Mapa obtido a partir da análise espacial desenvolvida no software Idrisi32 I32.22

#### DISSERTAÇÃO:

"Seleção preliminar de locais potenciais à implantação de aterros sanitários na sub-bacia hidrográfica da Represa de Itupararanga (Bacia dos Rios Sorocaba e Médio Tietê)"

AUTOR:

Engenheiro Civil Edson Mitsuhide Tshako

ESCALA:

1:350.000

DATA:

18/02/2004

MAPA:

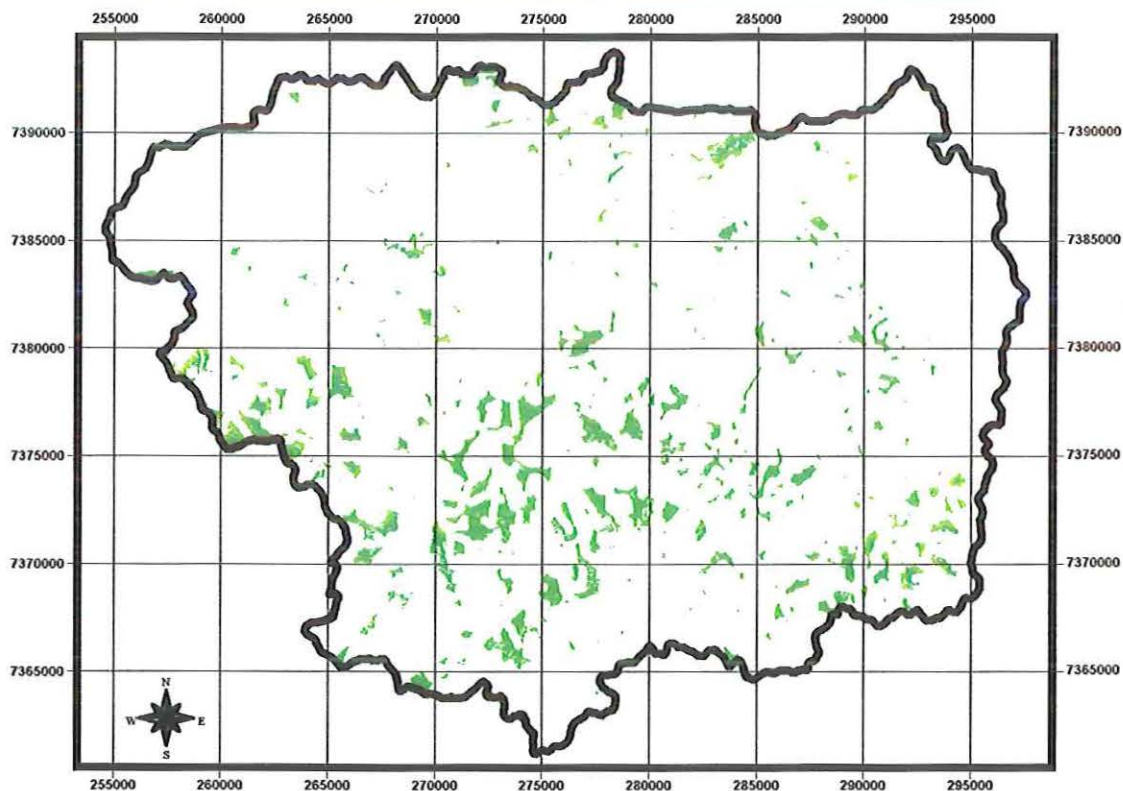
22



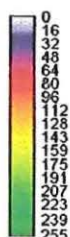
Universidade de São Paulo

Universidade de São Paulo  
Escola de Engenharia de São Carlos  
Departamento de Hidráulica e Saneamento  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

### CENÁRIO 03 (C3)



LEGENDA:



Adequabilidade (0 - 255)

5000 0 5000 10000 15000 Meters

Projeção: UTM  
Datum Horizontal: Córrego Alegre

#### NOTA EXPLICATIVA:

Mapa obtido a partir da análise espacial desenvolvida no software Idrisi32 I32.22

#### DISSERTAÇÃO:

"Seleção preliminar de locais potenciais à implantação de aterros sanitários na sub-bacia hidrográfica da Represa de Itupararanga (Bacia dos Rios Sorocaba e Médio Tietê)"

AUTOR:

Engenheiro Civil Edson Mitsuhide Tshako

ESCALA:

1:350.000

DATA:

18/02/2004

MAPA:

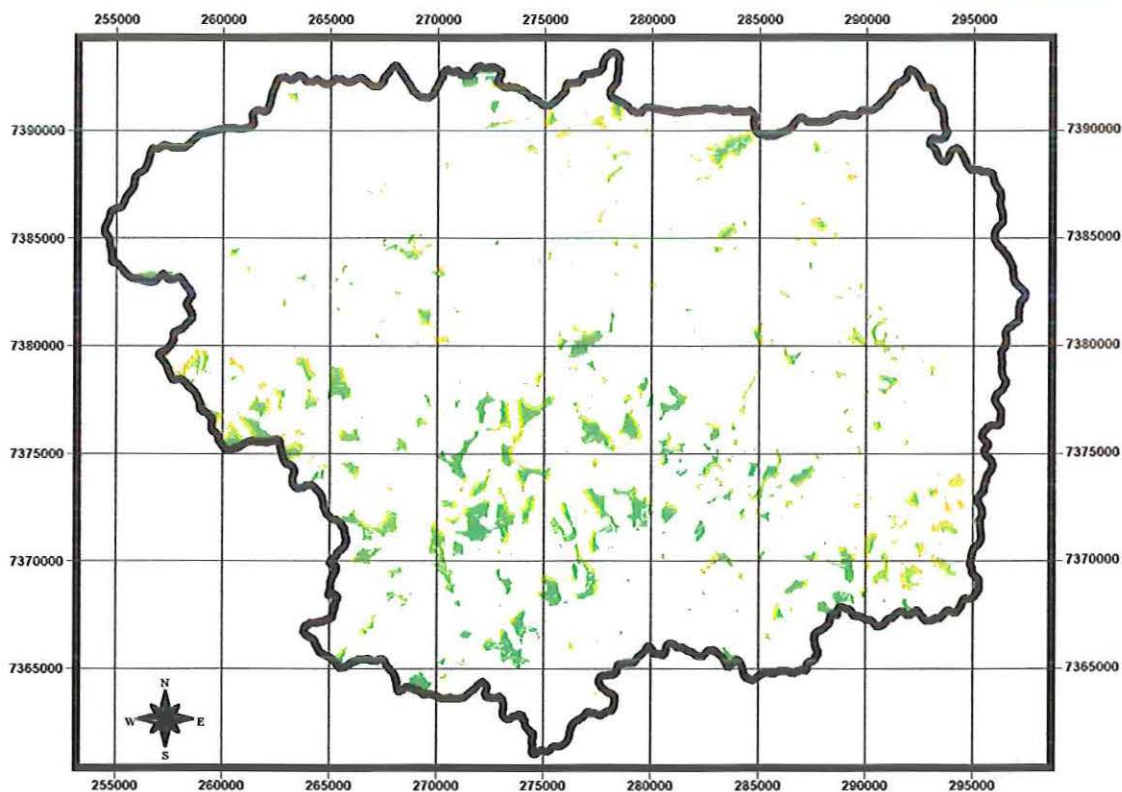
23



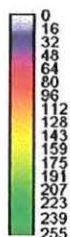
Universidade de São Paulo

Universidade de São Paulo  
Escola de Engenharia de São Carlos  
Departamento de Hidráulica e Saneamento  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

### CENÁRIO 04 (C4)



LEGENDA:



Adequabilidade (0 - 255)

5000 0 5000 10000 15000 Meters

Projeção: UTM  
Datum Horizontal: Córrego Alegre

#### NOTA EXPLICATIVA:

Mapa obtido a partir da análise espacial desenvolvida no software Idrisi32 132.22

#### DISSERTAÇÃO:

"Seleção preliminar de locais potenciais à implantação de aterros sanitários na sub-bacia hidrográfica da Represa de Itupararanga (Bacia dos Rios Sorocaba e Médio Tietê)"

AUTOR:

Engenheiro Civil Edson Mitsuhide Tsuhako

ESCALA:

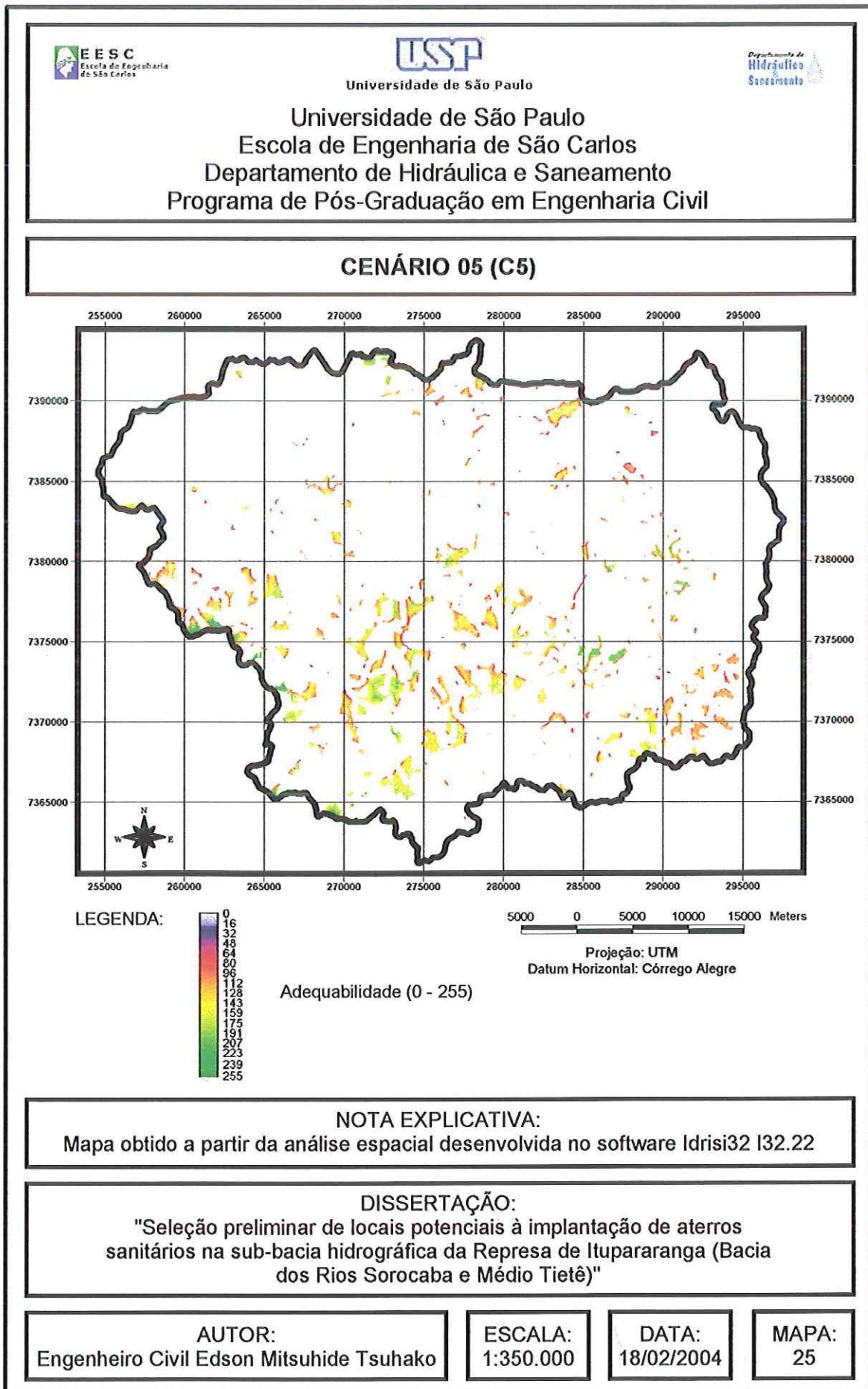
1:350.000

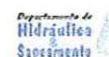
DATA:

18/02/2004

MAPA:

24

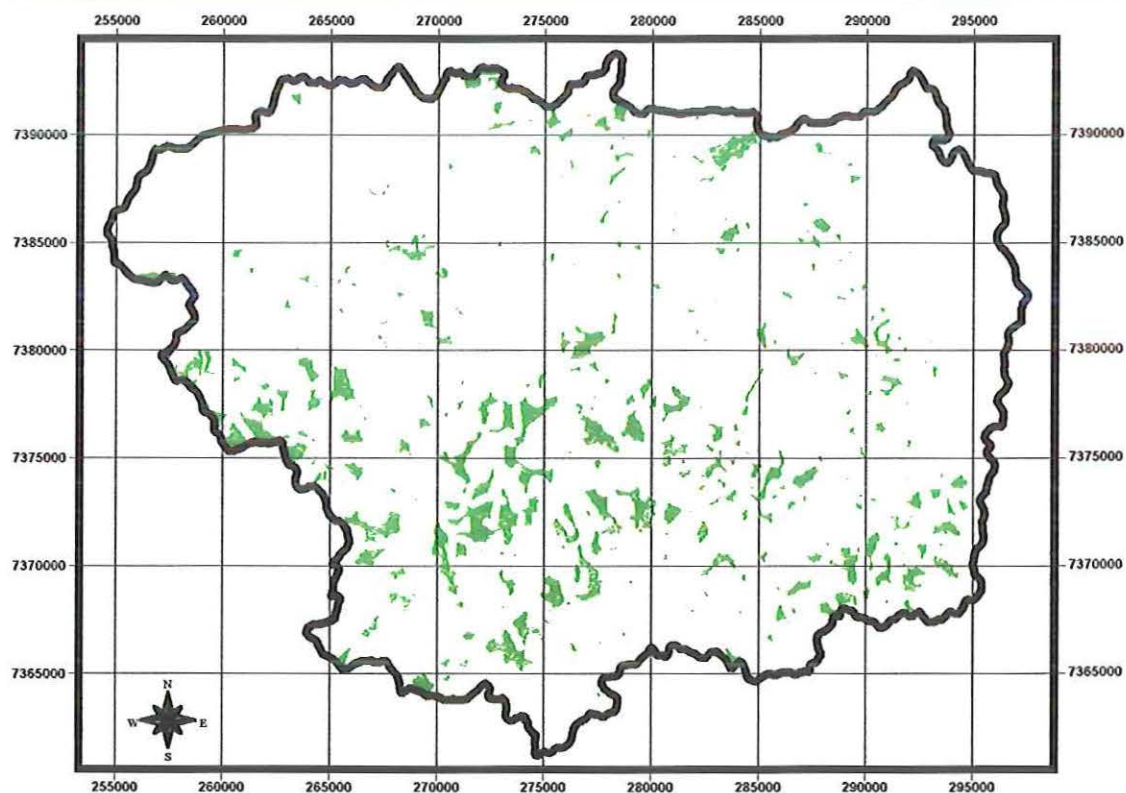




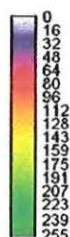
Universidade de São Paulo

Universidade de São Paulo  
Escola de Engenharia de São Carlos  
Departamento de Hidráulica e Saneamento  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

### CENÁRIO 06 (C6)



LEGENDA:



Adequabilidade (0 - 255)

5000 0 5000 10000 15000 Meters

Projeção: UTM  
Datum Horizontal: Córrego Alegre

#### NOTA EXPLICATIVA:

Mapa obtido a partir da análise espacial desenvolvida no software Idrisi32 I32.22

#### DISSERTAÇÃO:

"Seleção preliminar de locais potenciais à implantação de aterros sanitários na sub-bacia hidrográfica da Represa de Itupararanga (Bacia dos Rios Sorocaba e Médio Tietê)"

AUTOR:

Engenheiro Civil Edson Mitsuhide Tsuhako

ESCALA:

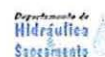
1:350.000

DATA:

18/02/2004

MAPA:

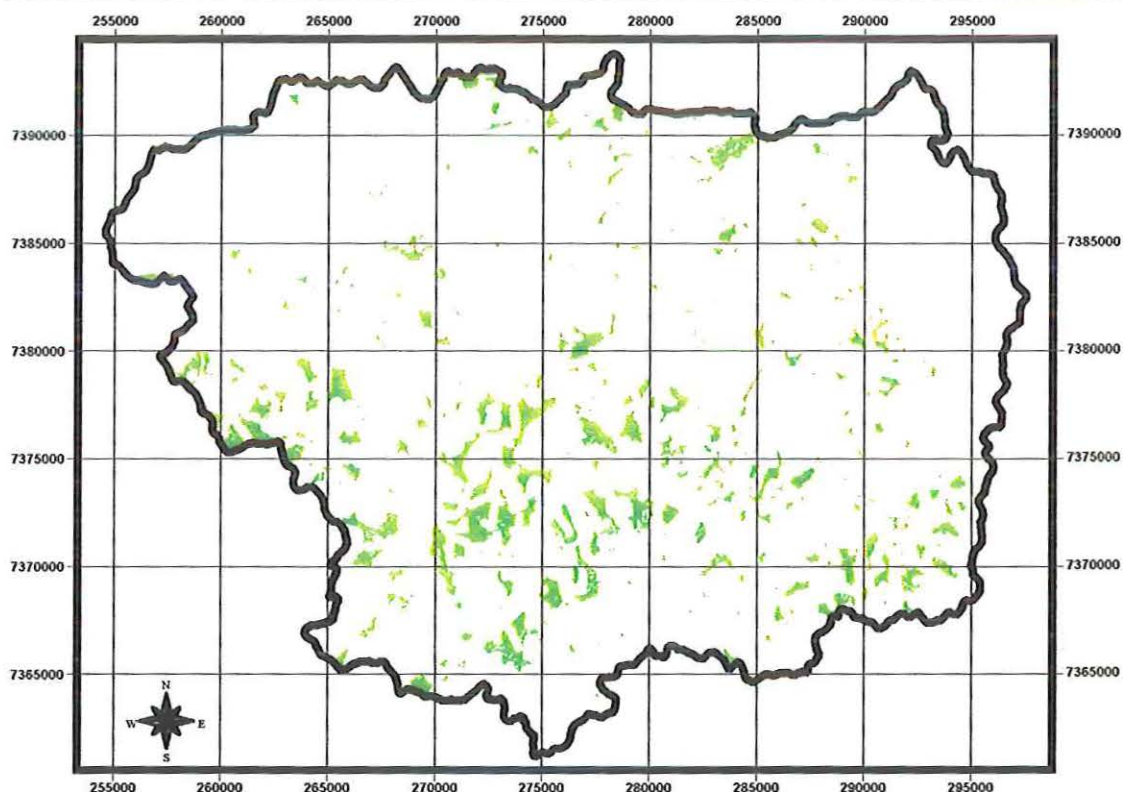
26



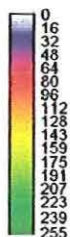
Universidade de São Paulo

Universidade de São Paulo  
Escola de Engenharia de São Carlos  
Departamento de Hidráulica e Saneamento  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

### CENÁRIO 07 (C7)



LEGENDA:



Adequabilidade (0 - 255)

5000 0 5000 10000 15000 Meters

Projeção: UTM  
Datum Horizontal: Córrego Alegre

#### NOTA EXPLICATIVA:

Mapa obtido a partir da análise espacial desenvolvida no software Idrisi32 I32.22

#### DISSERTAÇÃO:

"Seleção preliminar de locais potenciais à implantação de aterros sanitários na sub-bacia hidrográfica da Represa de Itupararanga (Bacia dos Rios Sorocaba e Médio Tietê)"

AUTOR:  
Engenheiro Civil Edson Mitsuhide Tshako

ESCALA:  
1:350.000

DATA:  
18/02/2004

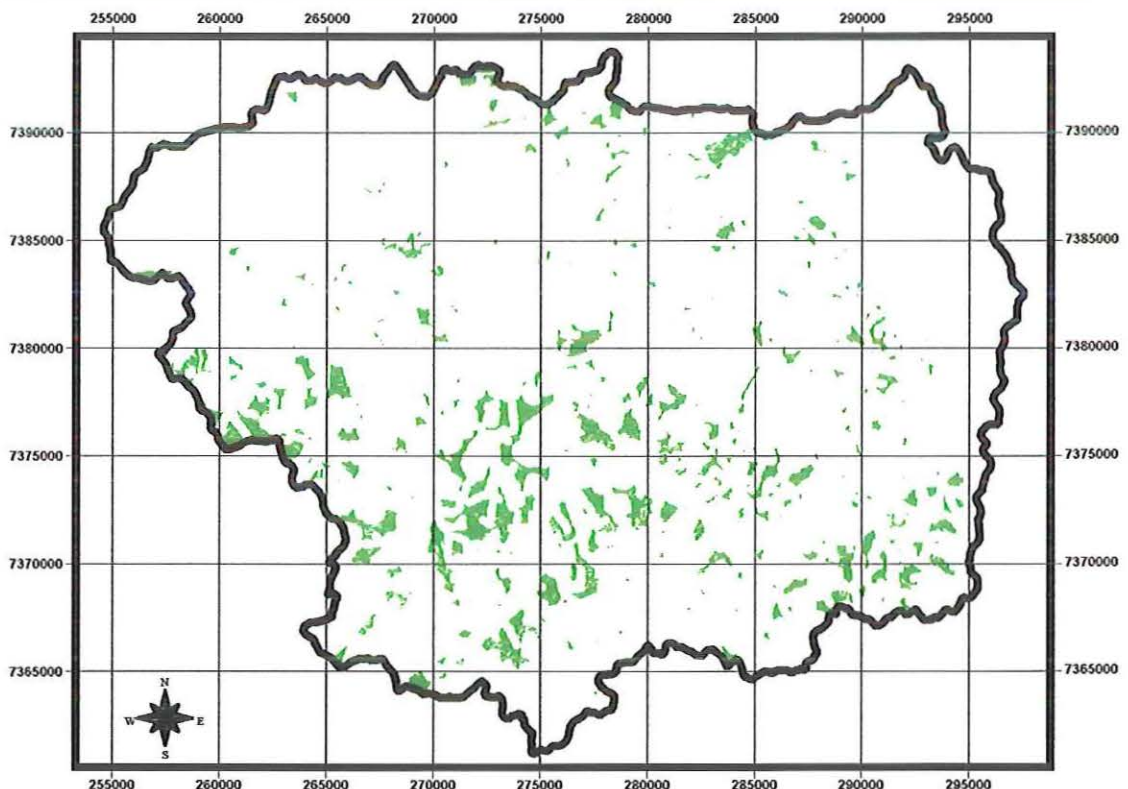
MAPA:  
27



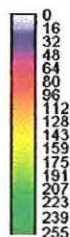
Universidade de São Paulo

Universidade de São Paulo  
Escola de Engenharia de São Carlos  
Departamento de Hidráulica e Saneamento  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

### CENÁRIO 08 (C8)



LEGENDA:



Adequabilidade (0 - 255)

5000 0 5000 10000 15000 Meters

Projeção: UTM  
Datum Horizontal: Córrego Alegre

#### NOTA EXPLICATIVA:

Mapa obtido a partir da análise espacial desenvolvida no software Idrisi32 132.22

#### DISSERTAÇÃO:

"Seleção preliminar de locais potenciais à implantação de aterros sanitários na sub-bacia hidrográfica da Represa de Itupararanga (Bacia dos Rios Sorocaba e Médio Tietê)"

AUTOR:

Engenheiro Civil Edson Mitsuhide Tsuhako

ESCALA:

1:350.000

DATA:

18/02/2004

MAPA:

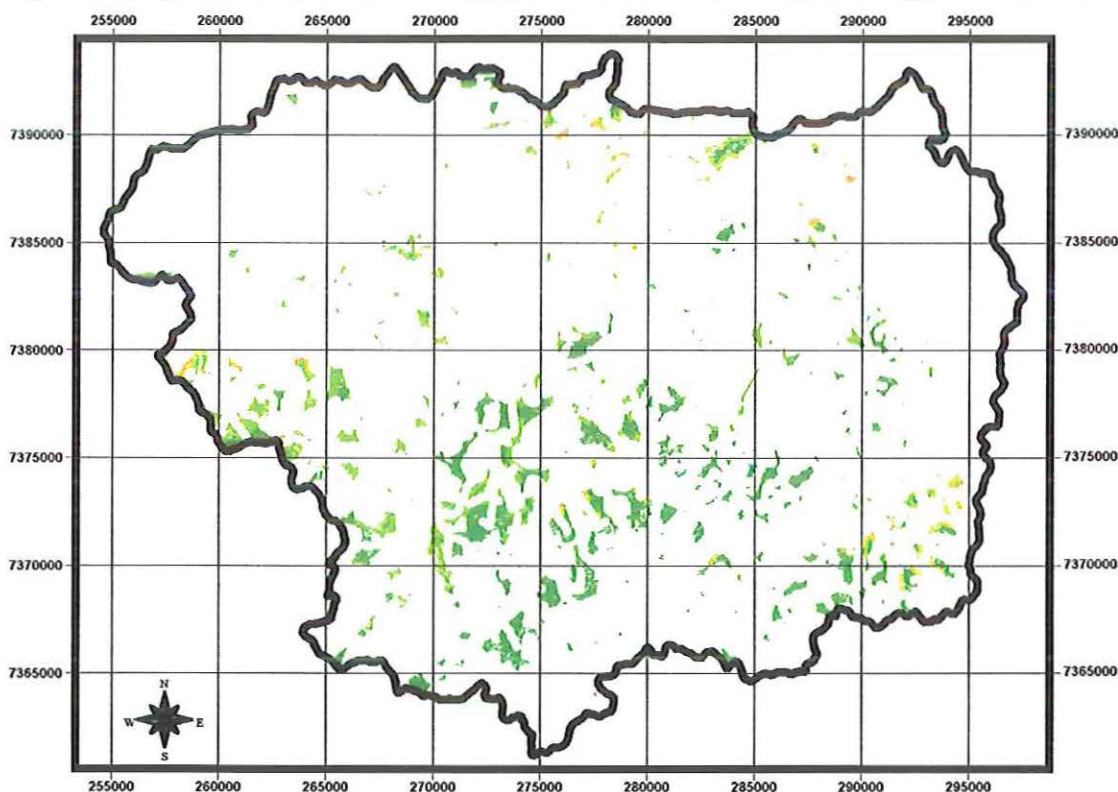
28



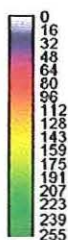
Universidade de São Paulo

Universidade de São Paulo  
Escola de Engenharia de São Carlos  
Departamento de Hidráulica e Saneamento  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

### CENÁRIO 09 (C9)



LEGENDA:



Adequabilidade (0 - 255)

5000 0 5000 10000 15000 Meters

Projeção: UTM  
Datum Horizontal: Córrego Alegre

#### NOTA EXPLICATIVA:

Mapa obtido a partir da análise espacial desenvolvida no software Idrisi32 I32.22

#### DISSERTAÇÃO:

"Seleção preliminar de locais potenciais à implantação de aterros sanitários na sub-bacia hidrográfica da Represa de Itupararanga (Bacia dos Rios Sorocaba e Médio Tietê)"

AUTOR:

Engenheiro Civil Edson Mitsuhide Tshako

ESCALA:

1:350.000

DATA:

18/02/2004

MAPA:

29

---

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os cenários finais (**mapas 21 a 29**), como explicitado anteriormente, são resultantes da agregação dos critérios (restrições e fatores).

As restrições, seguindo a lógica booleana, garantem a exclusão total das áreas desejadas, como a distância de 200 metros dos rios, pois, nesses pontos, os pixels nas imagens, assumem valor zero.

O mesmo processo não ocorre com os fatores, pois a imagem de adequabilidade final, caso não fosse considerada as restrições, seria uma média ponderada dos pixels de todos os fatores, ou seja, se para uma das imagens o mesmo pixel for diferente de zero, o resultado final também será diferente de zero, expressa em termos de adequabilidade, de acordo com a lógica fuzzy.

Nos cenários obtidos, os fatores foram ordenados, em ordem crescente, de acordo com sua importância relativa. Sendo que o fator distância do sistema viário foi assumido como o mais importante seguido dos fatores uso e ocupação do solo, pedologia, declividade, carta técnica, distância dos núcleos urbanos, geomorfologia, distância dos cursos d'água e, por fim, distância das represas. O resultado do cálculo dos pesos dos fatores foi apresentado na **tabela 11** (página 137).

Os fatores distâncias dos cursos d'água e da represa foram considerados os menos importantes, no cálculo dos pesos, pelo fato de terem restrições (zonas de buffer) garantindo o cumprimento das condições adotadas (200 metros para cursos d'água e 500 metros para a represa).

Ao fator distância do sistema viário, por motivos econômicos, considerou-se como o mais vital, pois a viabilidade de implantação de aterros sanitários está diretamente ligada ao custo de transporte dos resíduos sólidos urbanos. Existe, também, o fator técnico relacionado às condições ou existência de acessos ao futuro aterro. Vias

mal conservadas ou de terra exigiriam a recuperação ou construção de novas estradas, tornando proibitivo sua instalação.

O fator uso e ocupação do solo está relacionado ao custo de desapropriação, no caso da municipalidade não possuir terreno próprio, o qual reúna as condições adequadas à disposição de lixo. Na área de estudo, optou-se por restringir os locais às áreas de cultura, geralmente com valor venal mais acessível a um acordo de desapropriação.

A pedologia, por sua vez, exerce relativa importância na escolha de áreas ideais para um aterro sanitário, principalmente onde houverem jazidas próximas de solo ideal à cobertura diária do aterro e como barreira impermeabilizante. Atualmente existem outras técnicas alternativas, tais como uso de capas plásticas substituindo a terra de cobertura e mantas geotêxteis na impermeabilização de bases e laterais do aterro. A escala pequena do mapa utilizado, 1:500.000, contribuiu na menor importância em relação aos outros fatores.

Ligado à fatores técnicos, a declividade influi na escolha do método de operação do aterro (método da vala, área ou rampa) e está relacionada aos custos de aquisição de maquinários para movimento de terra, no caso das municipalidades não possui-los. Como a região situa-se em declividades predominantemente entre 1% a 30% (valores recomendado pela **NBR13896/1997**) considerou este fator como de média importância em relação aos demais.

A carta geotécnica produzida pelo IPT está em uma escala relativamente pequena, 1:500.000, o que torna sua utilização um tanto imprecisa na seleção de áreas, caso fosse atribuída uma maior importância a ela. Apesar disso, é possível observar três comportamentos diferentes do solo e que não devem ser desprezados no planejamento de uso e ocupação do solo. No processo de seleção, foi utilizado para suprir a ausência do mapa geológico da área de estudo.

A distância segura (mínima) entre aterro sanitário e núcleos urbanos foi garantida na restrição com a criação de um buffer de 500 metros, recomendada pela **NBR13896/1997**. Outra restrição foi a distância máxima de 15.000 metros para assegurar a viabilidade econômica de transporte dos resíduos. Como fator, considerou-se 2.000 metros como distância ideal dos núcleos urbanos. Por esses motivos este fator assumiu pouca importância relativa no cálculo dos pesos.

O fator geomorfologia teve sua importância bastante reduzida pela extrema subjetividade adotada arbitrariamente na distribuição de adequabilidade (valores entre 0

a 255) aos índices propostos por **Ross (1997)**. Como no presente trabalho foi atribuída adequabilidade 255 ao índice DC11 (baixa fragilidade física) e diminuindo gradativamente (linearmente) até DC55 (alta fragilidade física), isto é, não houve um critério que respeitasse a mesma interpretação da metodologia utilizada por Ross na classificação geomorfológica.

Com base nesses fatores, mais as restrições agregadas ao processo final, obteve-se nove cenários representados pelos **mapas 21 a 29**, cuja análise e comentários é feita a seguir.

#### **a) Cenário 01**

Neste cenário os pesos ordenados assumem igual valor (0,111) resultando como principais características risco médio (0,5) e compensação total (1,0). No **mapa 21** é possível observar que as melhores áreas situam-se porção centro-sul da bacia.

#### **b) Cenário 02**

Os pesos ordenados de maior valor foram deslocados para as primeiras posições (vide tabela 12, página 139), simulando uma postura conservadora em não assumir riscos. A imagem final (**mapa 22**) resultou em extensas áreas de baixa aptidão (abaixo de adequabilidade 175). O risco calculado foi de 0,69 (médio a mínimo) e a compensação, de 0,79 (alta).

#### **c) Cenário 03**

Os riscos assumidos nesta situação foram o inverso do cenário 02. O resultado foi uma imagem final (**mapa 23**) com extensas áreas de alta adequabilidade, algumas próximas da sede do município de Ibiúna. O risco é considerado médio a máximo (0,31) e a compensação alta (0,79).

#### **d) Cenário 04**

Caracterizado por risco médio (0,5) e compensação alta (0,83), o cenário 04 (**mapa 24**) resultou em áreas de média e alta adequabilidade concentradas no centro-sul da bacia e algumas poucas a sudeste.

Os maiores pesos ordenados foram deslocados para a carta geotécnica (0,2), núcleos urbanos (0,175) e declividade (0,175).

#### e) Cenário 05

Com os maiores pesos deslocados para os fatores de mais importante, obteve-se um cenário (**mapa 25**) de áreas com baixa adequabilidade refletindo uma posição extremamente conservadora, na qual o risco calculado foi de 0,85, considerada alta, e compensação parcial (0,58).

As melhores áreas, neste caso, localizam-se distante da sede do município de Ibiúna.

#### f) Cenário 06

Atribuindo peso ordenado zero aos fatores de maior importância (primeiras posições) e um peso grande as últimas posições (fatores menos importantes), a imagem final resultou extensas áreas de alta adequabilidade, a maioria situada na porção sul da bacia (vide **mapa 26**).

O risco calculado foi de 0,15 (alto) e compensação de 0,58 (parcial).

#### g) Cenário 07

Caracterizado por risco médio (0,5) e compensação parcial (0,46) o cenário (**mapa 27**) resultou em áreas de adequabilidade média a baixa com as melhores localizadas no extremo sul da bacia.

Nesta situação, apenas procurou-se simular a atribuição dos maiores pesos ordenados a primeira e última posições (ver **tabela 12**, página 139).

#### h) Cenário 08

Atribuindo-se um maior peso ordenado ao fator de menor importância (distância das represas), o resultado foi um cenário (**mapa 28**) com, praticamente, todas áreas apresentando alta adequabilidade e caracterizado por risco máximo (0,13) e compensação baixa (0,36).

#### i) Cenário 09

À carta geotécnica foi dado o maior peso sendo que, as primeiras posições receberam peso ordenado nulo. Obteve-se, assim, um cenário (**mapa 29**) caracterizado por risco médio (0,47) e baixa compensação.

As áreas mais adequadas, neste caso, situam-se do centro-sul ao extremo sul e algumas a sudeste da bacia.

Para a escolha final das áreas ideais, foram considerados os seguintes critérios:

- adequabilidade maior do que 220;
- área maior do que 20 hectares e
- localizadas dentro do município de Ibiúna.

Os cenários mais interessantes, pelas áreas de maior adequabilidade encontradas, são os representados pelos **mapas 23 e 28** (cenários 03 e 08, respectivamente). Para os demais é possível prever que serão poucas as áreas que satisfaçam a proposição apresentada, por isso serão automaticamente desconsiderados à seleção preliminar final.

Como se trata de uma proposta de seleção preliminar, ou seja, o objetivo é convergir (limitar) um estudo mais detalhado de uma grande área, no caso, a sub-bacia de Itupararanga, para os locais de menor extensão, porém, propícios à implantação de aterros sanitários, o cenário utilizado será o representado pelo **mapa 23**, por conter áreas de alta adequabilidade, caracterizado por risco médio a alto e uma alta compensação entre os fatores e, portanto, maior quantidade de áreas consideradas ideais.

Através da macro *SITeselect*, presente no Idrisi, obteve-se o **mapa 30**, no qual foi realizada uma composição com o sistema viário e os núcleos urbanos.

Analisando o **mapa 30**, nota-se que existem pelo menos três áreas em um raio de 5km da sede de Ibiúna, o que as torna propícias a um começo de investigação mais detalhada, principalmente prospecção geotécnica, além, é claro, de levantamento de outros dados básicos, porém essenciais e eliminatórios, tais como, valor venal da terra e existência de vias de acesso ao local.

Neste caso, o conceito de raio de busca (*search radius*) apresentado por **Bagchi (1994)** torna-se útil, principalmente se considerado que o fator distância dos centros geradores, em especial da sede do município, é importante no menor custo de transporte do lixo.

Para o município de Ibiúna é interessante limitar, inicialmente, a busca das melhores áreas em um raio de 5.000 metros da sede do município. Esgotadas as possibilidades, estende-se a busca a um raio de 6.000 metros e assim sucessivamente até que seja encontrado o local ideal à disposição de resíduos sólidos urbanos. Convém,

como mencionado anteriormente, limitar o raio de busca a uma distância máxima de 15.000 metros da sede do município.

Como os outros municípios que formam a bacia não possuem sede dentro dos limites da área de estudo, foi considerado apenas Ibiúna na seleção preliminar final, porém, é possível observar que existem locais de alta adequabilidade nos territórios de Piedade, Alumínio, São Roque e Cotia, entretanto, para uma melhor seleção de aterros sanitários nesses municípios, deve-se considerar suas áreas totais.

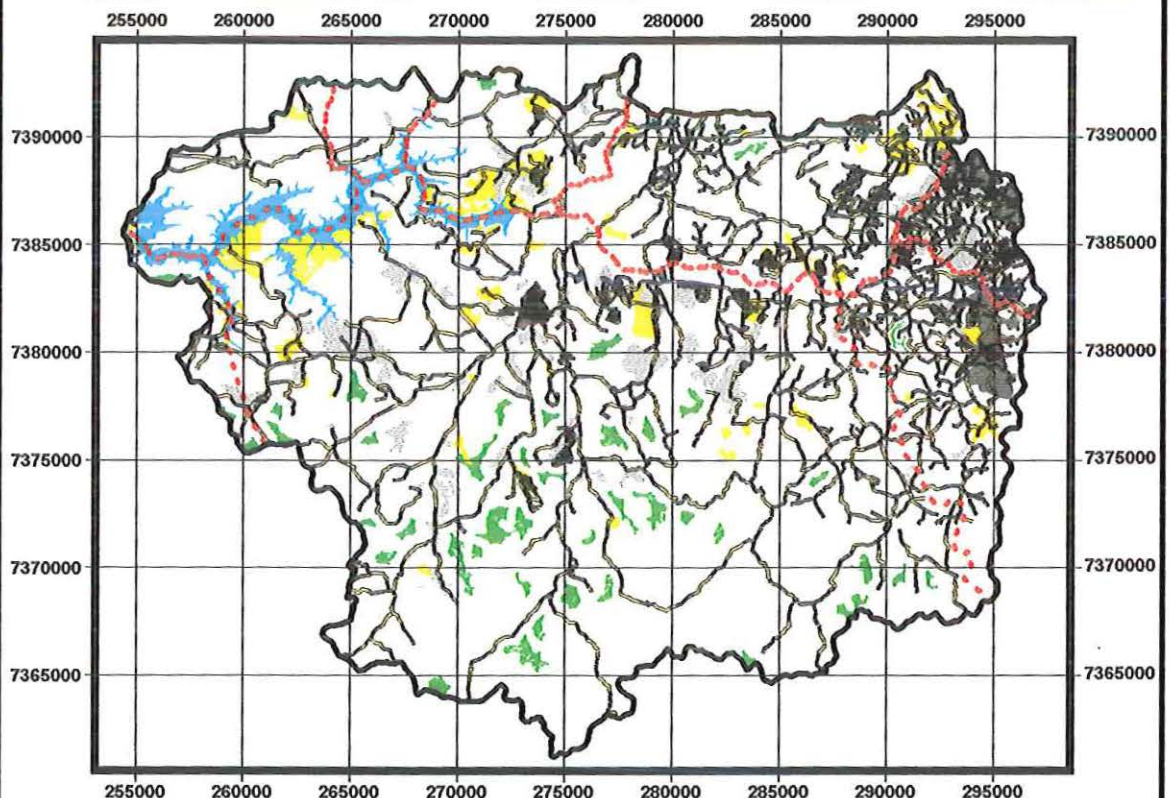
Ibiúna possui aproximadamente 60% de seu território dentro da sub-bacia de Itupararanga, sendo que o restante, 40%, é formado essencialmente por áreas de cultura e áreas de preservação ambiental, além de que, situam-se distante da sede municipal (mais de 15km).



Universidade de São Paulo

Universidade de São Paulo  
Escola de Engenharia de São Carlos  
Departamento de Hidráulica e Saneamento  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

### SELEÇÃO PRELIMINAR FINAL



LEGENDA:

- Limites da bacia
- Limites dos municípios
- Rodovia
- Represa de Itupararanga
- Área fortemente urbanizada
- Área fracamente urbanizada
- Chácara
- Áreas ideais

5000 0 5000 10000 15000 Meters

Projeção: UTM  
Datum Horizontal: Córrego Alegre

#### NOTA EXPLICATIVA:

Mapa obtido a partir da análise espacial desenvolvida no software Idrisi32 I32.22

#### DISSERTAÇÃO:

"Seleção preliminar de locais potenciais à implantação de aterros sanitários na sub-bacia hidrográfica da Represa de Itupararanga (Bacia dos Rios Sorocaba e Médio Tietê)"

AUTOR:

Engenheiro Civil Edson Mitsuhide Tshako

ESCALA:

1:350.000

DATA:

18/02/2004

MAPA:

30

---

## 5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

A seleção preliminar de áreas ideais à implantação de aterros sanitários, com o auxílio de sistemas de informação geográfica, mostra a viabilidade e potencialidade dessas ferramentas na solução de problemas complexos envolvendo extensas áreas, como é o caso da sub-bacia da represa de Itupararanga.

Ressalta-se, entretanto, que uma maior confiabilidade da metodologia está diretamente ligada às informações obtidas, ou seja, na aquisição de mapas atuais e de fontes confiáveis.

Analogamente, os critérios adotados também influenciarão na escolha final. Como visto, a padronização dos pesos é um tanto subjetivo e depende da experiência e, muitas vezes, do bom senso do profissional envolvido.

Ao objetivo proposto deste trabalho, seleção preliminar de áreas, o ideal seria o uso de mapas em escala 1:10.000 ou maior, porém, é aceitável a escala 1:50.000. Escalas menores, como 1:100.000, 1:250.000 ou 1:500.000, caso utilizados, deverão exercer, obrigatoriamente, um peso menor no cálculo dos pesos. Escalas 1:1.000.000 ou menor não deveriam ser permitidos neste caso.

A represa de Itupararanga e sua bacia de drenagem, como explicitado anteriormente, são de enorme importância à região, pois suas águas são utilizadas para abastecimento público, geração de energia hidrelétrica e irrigação de culturas. Ainda há o fator ambiental, pois em si, é um importante ecossistema o qual abriga uma extensa área de mata atlântica e uma infinidade de espécies da flora e fauna brasileira.

Apesar de tudo, a degradação ambiental é evidente na região, principalmente na porção leste da bacia, pela proximidade com a capital.

Os resíduos sólidos, nesse contexto, contribuem para acelerar os impactos na região, caso disposto incorretamente em locais selecionados sem critérios técnicos, como vem ocorrendo atualmente.

Mesmo dispondo de poucas informações, foi possível selecionar preliminarmente, em tempo relativamente curto e a um custo baixíssimo, prováveis locais favoráveis à implantação de um aterro sanitário no município de Ibiúna que, atualmente, faz uso de um lixão localizado próximo de núcleos urbanos (menos de 500 metros de distância) e de um ponto de captação de água para abastecimento.

Porém, para atestar a viabilidade e confiabilidade da metodologia, convém realizar prospecção geotécnica nos locais selecionados, mas, vale lembrar que, uma vez dispondo de informações confiáveis, os erros encontrados serão mínimos.

Dentro da realidade brasileira, é possível concluir que os sistemas de informação geográfica e a metodologia aplicada são uma ferramenta perfeitamente viável na seleção preliminar de áreas propícias à um aterro, sendo que, para uma escolha definitiva, como dito anteriormente, deverão ser executados ensaios *in situ*.

Baseado nos resultados obtidos sugere-se:

- contemplar a região de estudo com um mapeamento detalhado, pois observou-se a falta total de estudos hidrogeológicos e pedológicos. A ausência desses dados é um considerável fator limitante a metodologia utilizada;
- procurar diminuir a subjetividade na padronização dos pesos específicos para a seleção de áreas de aterro, através de normas como as elaboradas pela ABNT. Fatores como tipo de solos, geomorfologia, geologia, declividade, entre outros poderiam ter seus atributos normalizados, numa escala de 0 a 255, de acordo com adequabilidade favorável a implantação de aterros sanitários;
- a faixa de proteção ao longo dos corpos d'água exigida pela legislação brasileira deveria ser revisada. Dispondo de mapa topográfico, geológico e geomorfológico é possível delimitar as zonas ripárias, importantes ecossistemas na preservação dos recursos hídricos;
- elaborar estudos que avaliem o impacto dos aterros, inclusive após o encerramento dos mesmos, sobre a saúde na população local, com vistas a rever a distância de 500 metros recomendada atualmente;

- prever uma distância ambientalmente segura das áreas de preservação, com o objetivo de minimizar os impactos na flora e fauna. Sabe-se que, por exemplo, a presença de lixo nas proximidades diminui sensivelmente a permanência de certas espécies animais e, por outro lado, favorece a proliferação de outras, alterando o equilíbrio ecológico local;
- estudar a viabilidade de um consórcio entre os municípios que constituem a bacia com a finalidade de utilizar somente uma área para a disposição de resíduos sólidos urbanos. O município detentor do local selecionado à disposição de lixo receberia uma compensação ambiental dos consorciados. A grande vantagem é a captação dos recursos destinados a limpeza pública dos municípios consorciados em um único aterro, o qual poderia ser provido de estações de compostagem, centros de triagem e reciclagem com os custos rateados entre todos;
- caso existam mapas contendo os valores venais da terra, estes poderiam ser agregados ao presente trabalho, contribuindo para uma seleção mais precisa das áreas ideais.

---

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, F. S. (1999). *Uso de sistemas de informação geográfica na identificação de áreas potenciais para a instalação de aterros sanitários no Distrito Federal*. 131p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil. 1999;

ARAÚJO, S. M. V. G. (2002). Licenciamento ambiental e legislação. Disponível em: <<http://www.camara.gov.br>> Acesso em: 22 mar. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1984). *NBR 8418/1984: Apresentação de projetos de aterros de resíduos industriais perigosos – ARIP*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1985). *NBR 8.849/1985: Apresentação de projetos de aterros controlados de resíduos sólidos urbanos*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1987). *NBR 10.004/1987: Resíduos sólidos – classificação*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1987). *NBR 10.005/1987: Lixiviação de resíduos*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1987). *NBR 10.006/1987: Solubilização de resíduos*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1987). *NBR 10.007/1987: Amostragem de resíduos*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1987). *NBR 10.157/1987: Aterros de resíduos sólidos – critérios para projeto, construção e operação*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1992). *NBR 8.419/1992: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1993). *NBR 12.808/1993: Resíduos de serviço de saúde – classificação*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1997). *NBR 13.895/1997: Construção de poços de monitoramento e amostragem*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1997). *NBR 13.896/1997: Aterros de resíduos não perigosos – critérios para projeto, implantação e operação*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil;

BAGCHI, A. (1994). *Design, construction and monitoring of landfills*. 2.ed. New York: Wiley-Interscience. Cap.2, p.7-21;

BIDONE, F. R. A.; POVINELLI, J. (1999). *Conceitos básicos de resíduos sólidos*. Projeto REENGE. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil. 120p;

BROLLO, M. J.; SILVA, M. M. (2002). *Política e gestão ambiental em resíduos sólidos: revisão e análise sobre a atual situação no Brasil*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2002, João Pessoa, PB, Brasil. 27p.;

CALIJURI, M. L.; LORENTZ, J. F. (2003a). *Análise multicritério*. 57p. Laboratório de Sistema de Informação Geográfica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2003;

CALIJURI, M LÚCIA; LORENTZ, J. F. (2003b). *Fundamentos de sistemas de informação geográfica*. 57p. Laboratório de Sistema de Informação Geográfica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2003;

CALIJURI, M LÚCIA; LORENTZ, J. F. (2003c). *Análises espaciais com sistemas de informações geográficas*. 96p. Laboratório de Sistemas de Informação Geográfica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2003;

CHARNPRATHEEP, K.; QIMING, Z.; GANER, B. (1997). Preliminary landfill site screening using fuzzy geographical information systems. *Waste Management & Research*. v.15. p.197-215;

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (2003). Disponível em: <http://www.mma.gov.br>. Acesso em: 6 nov. 2003.

CONSONI, A. J.; SILVA, I. C.; GIMENEZ FILHO, A. (2000a). *Origem e composição do lixo*. In: D'ALMEIDA, M. L. O.; VILHENA, A. Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado. 2.ed. São Paulo: IPT/CEMPRE. Cap2, p.29-41;

CONSONI, A. J.; SILVA, I. C.; GIMENEZ FILHO, A. (2000b). *Disposição final do lixo*. In: D'ALMEIDA, M. L. O.; VILHENA, A. Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado. 2.ed. São Paulo: IPT/CEMPRE. Cap5, p.251-291;

CORSON, W. H. (1990). *The global ecology tomorrow coalition*. Tradução de Alexandre Gomes Camaru. 4.ed. São Paulo: Augustus;

CUNHA, M. A.; CONSONI, A. J. (1995). *Os estudos do meio físico na disposição de resíduos*. In: Curso de geologia aplicada ao meio ambiente, ABGE. Série meio ambiente;

D'ALMEIDA, M. L. O.; VILHENA, A. (Coord.) (2000). *Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado*. 2.ed. São Paulo: IPT/CEMPRE;

EASTMAN, J. R. (2001). *Idrisi for Windows: user's guide*. Worcester: Clark University. 2001;

EMBRAPA (1999). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 1.ed. Brasília: Embrapa

FRANTZIS, I. (1993). Methodology for municipal landfill sites selection. *Waste Management & Research*. v.11. p.441-451;

GARCIA, J. P. M. et al. (2002). *Caracterização geoambiental da bacia da represa de Itupararanga, bacia hidrográfica do rio Sorocaba, SP*. 195p. Comitê de bacias hidrográficas do rio Sorocaba e Médio Tietê. 2002;

GODOY, A. M. (1989). *Caracterização faciológica, petrográfica e geoquímica dos maciços Sorocaba e São Francisco, SP*. 220p. Tese (Doutorado). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil. 1989;

GRUPO CRISE (2003). *Teoria da decisão aplicada ao sistema raster*. Disponível em: <<http://www.igeo.pt>>. Acesso em: 6 jan. 2003;

HEITZMANN JR, J. F.; MARCHI, A. J.; TOBSCHALL, H. J. (1996). *Análise de metais pesados em solos ao redor do aterro sanitário de Pau Queimado, Piracicaba, São Paulo*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 8, 1996, Rio de Janeiro, 12p.;

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA (2002). Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB). Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em 15 jun. 2003;

JUCÁ, J. F. T. (2002). *Destinação final dos resíduos sólidos no Brasil: situação atual e perspectivas*. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 10, 2002, Braga, Portugal, 18p.;

KATAOKA, S. M. (2000). *Avaliação de áreas para disposição de resíduos: proposta de planilha para gerenciamento ambiental aplicado a aterro sanitário industrial*. 326p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil. 2000;

LIMA, L. M. Q. (1995). *Tratamento de lixo*. 2.ed. São Paulo: Hemus;

MAHLER, F. C.; LEITE, E. L. (1998). Metodologia de seleção de áreas para implantação de aterros sanitários. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, São Paulo, SP, Brasil, v.3, n.3, p. 155-160, jul/set;

MARQUES, G. N. (2002). *Seleção de áreas para aterros sanitários baseada em mapeamento geotécnico e analytic hierarchy process (AHP)*. 163p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil. 2002;

Mc BEAN, E. A.; ROVERS, F. A.; FARQUHAR, G. J. (1995). *Solid waste landfill engineering and design*. New Jersey: Prentice Hall Inc. Cap. 3, p.39-57;

MELO, A. L. O., (2001). *Avaliação e seleção de áreas para implantação de aterro sanitário utilizando lógica fuzzy e análise multi-critério: uma proposta metodológica. Aplicação ao Município de Cachoeiro de Itapemirim-ES*. 246p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil. 2001;

MENEZES, D. B. (1995). *Diagnóstico dos impactos ambientais de depósito de resíduos sólidos de São Carlos no meio físico*. 103p. Dissertação (Mestrado). Escola

de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil. 1995;

NAKAZAWA, V. A. (Coord), FREITAS, C. G. L., DINIZ, N. C. (1994). *Carta geotécnica do Estado de São Paulo: escala 1:500000*. São Paulo: IPT. 1.ed., v.2., 13 mapas;

OLIVEIRA, J. B.; CAMARGO, M. N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. (1999). Mapa pedológico do Estado de São Paulo: legenda expandida. 64p. Campinas: Instituto Agrônomo; Rio de Janeiro: Embrapa/Solos;

PFEIFFER, S. C. (2001). *Subsídios para a ponderação de fatores ambientais na localização de aterros de resíduos sólidos, utilizando o sistema de informações geográficas*. 103p. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil. 2001;

PEREIRA NETO, J. T. (1999). *Quanto vale nosso lixo*. 69p. Viçosa: Projeto Verde Vale.

RAFAELI NETO, S. V. (2000). *Um modelo conceitual de sistema de apoio à decisão espacial para a gestão de desastres por inundações*. 231p. Tese (Doutorado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil. 2000;

RAMOS, R. A. R.; MENDES, J. F. G. (2001). Avaliação da aptidão do solo para localização industrial: o caso de Valença. *Revista Engenharia Civil*, Minho, Portugal, n.10, p.7-29;

ROSS, J. L. S. (1997). Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo - escala 1:500.000. São Paulo: FFLCH/USP, IPT, FAPESP. 1.ed., 2.v.;

SARTORI, H. J. F. (1995). *Discussão sobre a caracterização física de resíduos sólidos domiciliares*. 98p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil. 1995;

SCHALCH, V.; LEITE, W. C. A.; FERNANDES JR., J. L.; CASTRO, M. C. A. A. (2000). *Gerenciamento de resíduos sólidos*. 205p. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil. 2000;

SIRVINSKAS, L. P. (2002). *Manual de direito ambiental*. São Paulo: Saraiva.

VOOGD, H., (1983). *Multicriteria evaluation for urban and regional planning*. London: Pion Ltd;

XAVIER, R. (2002). *Alternativas para o traçado do hiperanel rodoviário da região metropolitana de Belo Horizonte (MG), utilizando rotinas de apoio à decisão em SIG*. 161p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil. 2002;

YAGER, R. R. (1988). On ordered weighted averaging aggregation operators in multicriteria decision making. *IEEE Transactions on system, man, and cybernetics*. v.8, p.183-190;

YONG, R. N.; MOHAMED, A. M. O.; WARKENTIN, B. P. (1992). *Principles of contaminant transport in soils*. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 327p.;

ZUQUETE, L. V. (1987). *Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para as condições brasileiras*. 3.v., 673p. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil;

ZUQUETTE, L. V. (1993). *Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico: fundamentos e guia para elaboração*. 368p. Tese (Livre Docência). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil;

ZVEIBIL, V. Z (Coord.) (2001). *Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos*. Rio de Janeiro: IBAM.

---

## 7. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ASSIS, J. F. (1999). *Avaliação do uso de aterros como alternativa para disposição de resíduos sólidos domiciliares e industriais*. 126p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil;

FLORENZANO, T. G. (2002). *Imagens de satélite para estudos ambientais*. São Paulo: Oficina de Textos;

FONTES, A. F. (2001). *Sistema de informações geográficas: digitalização*. 18p. Apostila de curso. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil;

HAMADA, J.; CAVAGUTI, N. (1997). Formas de destinação de lixo doméstico em alguns municípios do interior do Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHÁRIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19, 1995, Goiânia, Goiás, Brasil. 11p.;

KAO, J.-J.; LIN, H.-Y.; CHEN, W.-Y. (1997). Network geographic information system for landfill siting. *Waste Management & Research*. v. 15. p.239-253;

LAARIBI, A.; CHEVALLIER, J. J.; MARTEL, J. M. (1996). A spatial decision aid: a multicriterion evaluation approach. *Computers, Environment and Urban Systems*. v.20. n.6 p.351-366;

LEITE, J. C.; ZUQUETTE, L. V. (1995). Prevenção da contaminação e poluição de aquíferos: a utilização de liners. *Geociências*. v.14. p.167-178;

LEITE, J. C.; ZUQUETTE, L. V. (1996). Atributos fundamentais à elaboração da carta de susceptibilidade à contaminação e poluição das águas subsuperficiais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 8, 1996, São Carlos, SP, Brasil. 11p.;

LIPORACI, S. R.; ZUQUETTE, L. V. (1995). Carta de zoneamento geotécnico geral utilizada para indicar áreas favoráveis à disposição de rejeitos. In: SIMPÓSIO SOBRE BARRAGENS DE REJEITOS E DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS, 3, 1995, Ouro Preto, MG, Brasil. 14p.;

LOPES, A. A. (2003). *Estudo da gestão e gerenciamento integrado dos resíduos sólidos urbanos no município de São Carlos (SP)*. 178p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil;

MACAMBIRA, I. Q. (2002). *Comportamento hidráulico de alguns solos lateríticos para uso como barreira impermeável*. 128p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil;

PIEIDADE JR., C. R. C. (2003). *Análise da potencialidade de alguns solos lateríticos para utilização em barreiras impermeáveis*. 97p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil;

PRADO, H. (1997). *Os solos dos Estado de São Paulo: mapas pedológicos*. Piracicaba: ESALQ;

RENGER, R.; CIMETTA, A.; PETTYGROVE, S.; ROGAN, S. (2002). Geographic information systems (GIS) as an evaluation tool. *American Journal of Evaluation*. v.23. n.4. p.469-479;

RESENDE, M.; CURTI, N.; REZENDE, S. B.; CORRÊA, G. F. (2002). *Pedologia: base para a distinção de ambientes*. 4 ed. Viçosa: NEPUT;

ROMA; W. N. L.; SOUZA, M. P. (2001). *Introdução aos sistemas de informação geográfica*. 49p. Apostila de curso. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil;

WEBER, E.; HASENACK, H. (2003). *Avaliação de áreas para a instalação de aterro sanitário através de análises em SIG com classificação contínua dos dados*. Disponível em <<http://www.ufrgs.br>> Acesso em 21 jul. 2003;

ZUQUETTE, L. V.; GANDOLFI, N. (1987). Mapeamento geotécnico aplicável a rejeitos sépticos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 5, 1987, São Paulo, SP, Brasil. 9p.;

ZUQUETTE, L. V.; GANDOLFI, N. (1990). Análise da relação entre disposição de rejeitos perigosos (baixa periculosidade) e meio físico (geológico) receptor. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA APLICADA E DO AMBIENTE, 7, 1990, Lisboa, Portugal. 17p.;

ZUQUETTE, L. V.; GANDOLFI, N. (1991). Análise da relação entre disposição de rejeitos de baixa periculosidade e meio geológico receptor. In: SIMPÓSIO SOBRE BARRAGENS DE REJEITOS E DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS, 3, 1991, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 12p.;

ZUQUETTE, L. V.; GANDOLFI, N. (1991). Problems and rules to select the landfill waste disposal sites Brazil. In: SYMPOSIUM INTERNATIONAL SUR LA GEOLOGIE URBAINE, 1, 1991, Sfax, Tunisia. 10p.;

ZUQUETTE, L. V.; PEJON, O. J.; SINELLI, O.; GANDOLFI, N. (1994). Methodology of specific engineering geological mapping for selection of sites for waste disposal. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY, 17, 1994, Lisboa, Portugal. 9p.;

ZUQUETTE, L. V.; PEJON, O. J.; SINELLI, O.; GANDOLFI, N. (1995). Carta de zoneamento geotécnico específico para disposição de resíduos da região de Ribeirão

Preto-SP. In: SIMPÓSIO SOBRE BARRAGENS DE REJEITOS E DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS, 3, 1995, Ouro Preto, MG, Brasil. 14p.;

ZUQUETE, L. V.; PEJON, O. J.; ELIS, V. R. (1997). Estudos geológicos-geotécnicos em área de disposição de resíduos sólidos urbanos – cidade de Ribeirão Preto (Brasil). Inn: CONGRESSO NACIONAL DE GEOTECNIA, 6, 1997, Lisboa, Portugal. 12p.