

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Campus de Rio Claro

**SELEÇÃO DE ÁREAS PARA IMPLANTAÇÃO DE ATERROS
SANITÁRIOS: ANÁLISE COMPARATIVA DE MÉTODOS**

Isabela Coutinho Lino

Orientador: Prof.Dr. José Alexandre J. Perinotto

Dissertação de Mestrado elaborada junto ao
Curso de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente
- Área de Concentração em Geociências e Meio Ambiente,
para obtenção do Título de Mestre em
Geociências e Meio Ambiente

Rio Claro (SP)
2007

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

604.6 Lino, Isabela Coutinho
L758r Seleção de áreas para implantação de aterros sanitários:
análise

comparativa de métodos / Isabela Coutinho Lino. –
Rio Claro: [s.n.], 2007
f. : il., gráfs., figs, mapas

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista,
Instituto de Geociências e Ciência Exatas
Orientador: José Alexandre de Jesus Perinotto

1. Resíduos. 2. Resíduos sólidos urbanos. 3. Aterros
sanitários. 4. Seleção de áreas. I. Título.

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI - Biblioteca da UNESP
Campus de Rio Claro/SP

Comissão Examinadora

Prof. Dr. José Alexandre J. Perinotto

Prof. Dr. Leandro Eugenio da Silva Cerri

Dr. Ângelo José Consoni

Mestranda: Isabela Coutinho Lino

Rio Claro, _____ de _____ de _____

Resultado:

Aos meus pais, Fátima e Ricardo, com minha eterna gratidão por terem dado o melhor de si para que eu chegasse até aqui...

... Ao Newton Flávio...

... a vocês, com amor, dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, Iemanjá e aos guias espirituais que me acompanharam e auxiliaram na realização desta pesquisa.

Ao CNPq pela bolsa de estudos concedida.

À minha família, por todo apoio, incentivo, compreensão e paciência.

Ao Prof. Dr. José Alexandre de J. Perinotto pela atenta orientação, dedicação, apoio, cuidadosa e pronta revisão dos manuscritos. E também por fornecer as condições materiais para a realização desta pesquisa. Meus sinceros agradecimentos.

Ao Prof. Dr. Leandro Eugenio da Silva Cerri (Léo), pela co-orientação (informal), pelo incentivo e por todas as idéias e contribuições, especialmente no Exame de Qualificação.

Ao Prof. Dr. José Eduardo Zaine, que, juntamente com o Prof. Leandro, me possibilitaram grande amadurecimento técnico-científico e pessoal com o convívio e com as participações nos projetos do Laboratório de Geologia de Engenharia e Meio Ambiente.

Ao Mateus Vidotti Ferreira, colega de curso, pela ajuda fundamental no software ArcGIS, tornando possível a realização desta pesquisa.

À querida Beatriz Lima de Paula (Bia), colega de pós-graduação, por toda ajuda prestada e pela agradável convivência.

Ao José Alberto Felipe Basílio, autor de um dos trabalhos analisados, pela presteza no envio dos materiais de sua dissertação, que facilitaram muito os trabalhos da presente pesquisa.

À Priscilla Nascimento Pegas, querida amiga, por todo apoio e incentivo, e por transmitir uma energia sempre positiva, especialmente nos momentos finais!

Ao Newton Flávio, meu noivo, meu agradecimento especial, por todo amor, compreensão, paciência, apoio e incentivo em muitos momentos dessa pesquisa; inclusive pela “participação especial” nas correções do Abstract.

A todos que de alguma forma contribuíram para que a pesquisa se tornasse possível.

*Não tenhas planos para a vida para não estragares
os planos que a vida tem para ti.*

Prof. Agostinho da Silva

SUMÁRIO

Índice.....	i
Índice de Ilustrações.....	iii
Lista de Abreviaturas e Siglas.....	v
Resumo.....	vi
Abstract.....	vii
1. Introdução.....	01
1.1 – Objetivo.....	04
2 – Revisão da Literatura.....	05
3 – Materiais e Métodos.....	39
4 – Resultados e Discussões.....	68
5 – Considerações Finais.....	75
6 - Referências Bibliográficas.....	77
7 – Anexos.....	82

ÍNDICE

1 - INTRODUÇÃO.....	1
1.1 – OBJETIVO.....	4
2 – REVISÃO DA LITERATURA.....	5
2.1. – Disposição final de resíduos sólidos urbanos.....	5
2.2 – Seleção de áreas para implantação de aterros sanitários.....	13
2.2.1 – Aspectos da legislação brasileira.....	14
2.2.2 – Critérios e métodos internacionais.....	18
2.2.3 – Critérios e métodos brasileiros.....	22
2.3 – Projetos de aterros sanitários.....	33
2.4 – Gerenciamento municipal conjunto: realidades e perspectivas.....	36
3 – MATERIAIS E MÉTODOS.....	39
3.1. – Detalhamento das etapas de trabalho.....	39
3.2 – Área de estudo.....	40
3.2.1 – Aspectos físicos.....	40
3.2.2 – Aspectos históricos e socioeconômicos.....	44
3.2.3 – Aspectos do gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos.....	46
3.3 - Métodos selecionados para análise comparativa.....	48
3.3.1 - Seleção de Áreas para Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos – IG-SMA (1999).....	49
3.3.2 - Proposta de Procedimentos para Seleção Preliminar de Áreas para Aterros Sanitários a partir de Cartas Geotécnicas – Basílio (2001).....	59
4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	68
4.1. – Análise comparativa entre IG-SMA (1999) e Basílio (2001).....	68
5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	75

6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77
7 – ANEXOS.....	82

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Modelo de aterro biorreator aeróbio.....	7
Figura 2 – Modelo de aterro biorreator anaeróbio.....	7
Figura 3 – Formas de destinação dos resíduos.....	10
Figura 4 – Destinação dos resíduos sólidos urbanos no Brasil.....	11
Figura 5 – Formas de destinação final dos resíduos sólidos urbanos no Brasil.....	11
Figura 6 – Porcentagem de resíduos domiciliares dispostos segundo os índices de qualidade dos aterros.....	12
Figura 7 – Porcentagem dos locais de disposição dos resíduos domiciliares dos municípios.....	12
Figura 8 – Quadro dos principais grupos de poluentes presentes no percolado de aterros sanitários e seus indicadores.....	13
Figura 9 – Quadro com recomendações internacionais de afastamentos mínimos para locais de disposição de resíduos sólidos urbanos.....	21
Figura 10 – Quadro de critérios para escolhas de áreas para implantação de aterros sanitários (CETESB, 1997).....	23
Figura 11 - Quadro de atributos da NBR 13896 (ABNT, 1997) para seleção de áreas para construção de aterros sanitários.....	24
Figura 12 – Quadro de critérios para pré-seleção de áreas para instalação de aterros sanitários – IPT / CEMPRE (2000).....	28
Figura 13 – Quadro com as exigências técnico-legais para seleção de áreas para disposição final de resíduos sólidos – IBAM (2001).....	31
Figura 14 – Quadro com atribuição de prioridade e pesos aos Critérios – IBAM (2001)	31
Figura 15 – Localização da área de estudo – Folha Campinas 1:50.000 (IBGE, 1974)..	42
Figura 16 – Substrato rochoso da Folha Campinas (IBGE, 1974) segundo Zquette e Gandolfi (1992).....	43
Figura 17 – Perfil geomorfológico do Estado de São Paulo segundo Ab’Saber (1956)..	44
Figura 18 – Imagem de satélite indicando a localização do Complexo Delta.....	48
Figura 19 – Região metropolitana de Campinas (SP).....	50
Figura 20 – Estratégia metodológica de IG-SMA (1999).....	51

Figura 21 – Quadro de categorias de uso e ocupação do solo definidas por IG-SMA (1999).....	52
Figura 22 – Compartimentos fisiográficos que ocorrem na área de estudo da presente pesquisa – IG-SMA (1999).....	55
Figura 23 – Avaliação das UBCs de interesse para a presente pesquisa em relação potencialidade para recebimento de resíduos sólidos – IG-SMA (1999).....	56
Figura 24 – Quadro de classes eliminadas para disposição de resíduos – IG-SMA (1999).....	57
Figura 25 – Mapa de potencialidade de recebimento de resíduos sólidos de IG-SMA (1999).....	58
Figura 26 – Quadro de atributos e classes para carta para disposição de resíduos segundo Zuquette et al. (1994).....	60
Figura 27 – Fluxograma da estratégia metodológica de Basílio (2001).....	61
Figura 28 – Quadro de unidades e atributos da Carta 1.....	62
Figura 29 – Quadro de unidades e atributos da Carta 2.....	62
Figura 30 – Quadro de unidades e atributos da Carta 3.....	63
Figura 31 – Quadro de unidades e atributos da Carta 4.....	65
Figura 32 – Quadro com a ordem de combinação das cartas, cartas resultantes e unidades sem restrições – Basílio (2001).....	66
Figura 33 – Carta 2.1.3.4.5 (orientativa) de Basílio (2001).....	67
Figura 34 – Quadro comparativo entre IG-SMA (1999) e Basílio (2001).....	69
Figura 35 – Mapa das áreas potenciais para disposição de resíduos segundo método de IG-SMA (1999).....	72
Figura 36 – Mapa das áreas potenciais para disposição de resíduos segundo método de Basílio (2001).....	73
Figura 37 – Mapa das áreas de interseção entre os métodos de IG-SMA (1999) e Basílio (2001).....	74

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

CEMPRE: Compromisso Empresarial para Reciclagem

CETESB: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

EIA: Estudo de Impacto Ambiental

RIMA: Relatório de Impacto no Meio Ambiente

EMPLASA: Empresa Metropolitana de Planejamento da Grande São Paulo S.A.

IBAM: Instituto Brasileiro de Administração Municipal

IG - SMA: Instituto Geológico / Secretaria de Estado do Meio Ambiente

IPT: Instituto de Pesquisa Tecnológica

NIMBY: *Not in my back yard*

ONU: Organização das Nações Unidas

PERS: Política Estadual de Resíduos Sólidos

PNSB: Pesquisa Nacional de Saneamento Básico

UBC: Unidade Básica de Compartimentação

U. S. EPA: *United States Environmental Protection Agency*

RESUMO

A disposição final dos resíduos sólidos urbanos esteve historicamente associada aos surtos epidêmicos que dizimaram milhares de pessoas nos centros urbanos. Contudo, apenas no século XIX iniciaram-se esforços para o desenvolvimento de métodos sanitários de disposição final. Ainda hoje, em países subdesenvolvidos predominam formas de disposição incorretas como “lixões” e “aterros controlados”, responsáveis por grande poluição ambiental e pela veiculação de doenças. Uma disposição final adequada dos resíduos sólidos urbanos se inicia com a escolha de locais favoráveis do ponto de vista ambiental. A presente pesquisa teve por objetivo comparar dois métodos de seleção de áreas para implantação de aterros sanitários: o de IG-SMA (1999), e o de Basílio (2001). Os referidos métodos foram escolhidos por terem sido desenvolvidos e aplicados em uma mesma área geográfica (região de Campinas - SP). A comparação por superposição mostrou que apesar da área geográfica ser a mesma, os resultados de ambos foram diferentes. O fato é explicado pela diferença de escalas, critérios, atributos e classes, e chegou-se à conclusão que o método de Basílio (2001) apresentou muito menos áreas favoráveis à disposição de resíduos do que IG-SMA (1999) por ser mais restritivo em seus critérios de seleção.

Palavras-chave: resíduos sólidos urbanos; aterros sanitários; seleção de áreas.

ABSTRACT

Historically, the incorrect waste disposal has been related to epidemics which resulted in thousand of deaths. Despite the efforts to develop sanitary disposal methods in the 19 century, even today, “uncontrolled dumps” are often found in undeveloped countries. These places are responsible for environment pollution and for several diseases. The process of adequate waste disposal begins with the selection of suitable landfill areas, based on environmental characteristics. The goal of this research was to compare two methods of landfill site selection: the first one developed by IG-SMA (1999), and the other by Basílio (2001). Both methods were developed and applied in the same area – region of Campinas, São Paulo State, Brazil and this fact explains the choice for them; the comparison was made by superposing maps. Despite the same geographic area, the result was very different and few areas in common were found; IG-SMA (1999) obtained more suitable areas than Basílio (2001). This has been attributed to scale, criteria and attribute differences and, as a conclusion, Basílio (2001) was considered more restrictive than IG-SMA (1999).

Key-words: municipal solid waste; landfill; site selection.

1. INTRODUÇÃO

A disposição final dos resíduos sólidos urbanos se constitui num dos problemas mais sérios da atualidade, pois está diretamente associada à qualidade ambiental e à saúde pública. Nesse contexto, países subdesenvolvidos (e em desenvolvimento) apresentam situação mais crítica, pois nestes ainda predominam formas inadequadas de disposição, como lixões e aterros controlados.

Nascimento (2001) considera que aterros controlados nada mais são do que “lixões maquiados”, por apresentarem praticamente os mesmos problemas ambientais que os lixões, como a poluição das águas, do solo e do ar. Brollo (2004) afirma que a prática da disposição inadequada advém de um passado sem planejamento ambiental, responsável por inúmeras áreas degradadas. Seja por desconhecimento dos efeitos nocivos das substâncias químicas no ambiente e na saúde, seja por negligência, as áreas degradadas, na maior parte das vezes abandonadas, tornaram-se passivos ambientais para as gerações presentes e futuras.

A forma correta de dispor os resíduos sólidos urbanos é em aterros sanitários, cuja construção, operação (e encerramento) baseiam-se em critérios de engenharia e normas operacionais específicas (IPT / CEMPRE, 2000). Contudo, no Brasil, apenas 13,8 % dos municípios dispõem seus resíduos em aterros sanitários, contra 63,6 % em lixões e 18,4 % em aterros controlados (IBGE¹, 2000). A situação melhora um pouco, se considerarmos que os 13,8 % dos municípios brasileiros que dispõem seus resíduos em aterros sanitários, são responsáveis por quase metade (47,1 %) do peso dos resíduos produzidos no Brasil (op. cit.).

¹ Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB).

Mas ainda assim a situação é crítica, pois a metade restante dos resíduos produzidos é disposta de forma inadequada, de modo disseminado pelo País.

Para Ferreira (2000), a introdução de novos produtos na vida moderna, e em quantidades crescentes, fez com que os resíduos domiciliares passassem a ser uma ameaça ao ambiente, e apresentassem itens classificados como perigosos. Dentre estes itens estão substâncias tóxicas, como os metais pesados, comumente presentes em pilhas, baterias e lâmpadas fluorescentes.

Mas não são apenas os materiais tóxicos presentes nos resíduos urbanos que representam perigos ao ambiente e à saúde pública (direta ou indiretamente). Vetores como moscas, baratas e ratos, principalmente, atraídos pela massa de lixo exposta (fonte de alimento e abrigo), transmitem diversos tipos de doenças. Segundo Organização das Nações Unidas (1992), 5,2 milhões de pessoas, sendo 4 milhões de crianças, morrem todo ano, em todo o mundo, por doenças relacionadas ao lixo.

Com base no exposto, a disposição final, enquanto última etapa do gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos, requer atenção especial. O primeiro passo para uma disposição final adequada inicia-se com a seleção de locais favoráveis para a implantação do aterro sanitário, do ponto de vista ambiental. Áreas adequadas, além de promoverem a proteção ao ambiente e à saúde pública, representam menores gastos com as etapas de implantação, operação e encerramento do empreendimento, proporcionando economia em todo o processo.

Segundo Langer (1995 apud BROLLO, 2001), para um terreno ser adequado à disposição de resíduos, este deve apresentar as seguintes características relativas ao meio abiótico: baixo fluxo de água subterrânea nos arredores da área de disposição; baixa permeabilidade; grande espessura e homogeneidade do material geológico, alta capacidade de retenção (adsorção) de compostos; baixa solubilidade química; baixa erodibilidade do substrato. Além dos atributos do meio físico, também devem ser observadas as características dos meios biótico e socioeconômico, mesmo que em etapas distintas no processo de seleção de áreas.

Como as características ambientais se diferem de uma região para outra, dentro de cada país (ou mesmo de cada Estado) surge a necessidade de desenvolver critérios, legislações e normas técnicas específicos para orientar a seleção de locais para disposição de resíduos.

Em nível internacional, a questão é objeto de pesquisas há algumas décadas. Nos Estados Unidos, por exemplo, em 1993, a agência ambiental americana – U. S. EPA (*Environmental Protection Agency*) sistematizou critérios regionais para seleção de áreas para

localização de aterros sanitários. Mas a preocupação com o desenvolvimento de métodos sanitários de disposição final data da década de 1940.

No Brasil, após alguns anos em desenvolvimento, em 1997 foi lançada a norma técnica relativa aos critérios de localização de aterros sanitários, a NBR 13896, da Associação Brasileira de Normas Técnicas. A partir do final dos anos 1990 há o crescente desenvolvimento e aprimoramento de métodos de seleção de áreas para implantação de aterros sanitários, devido, especialmente, ao maior acesso aos sistemas de informação geográfica, que possibilitaram o uso de diferentes técnicas de análise espacial.

Embora tenham o mesmo objetivo (a seleção de áreas para disposição final de resíduos sólidos), os métodos se diferem em relação ao tipo de abordagem, critérios e atributos, e, por conseguinte, apresentam resultados peculiares, que suscitaram o interesse para a presente pesquisa.

Entretanto, a comparação de métodos exige características comuns, que os tornem comparáveis. No caso da presente pesquisa, a motivação inicial foi a existência de dois métodos aplicados sobre uma mesma região geográfica (Campinas – SP). Isso explica a escolha por: *Seleção de Áreas para Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos*, desenvolvido por IG-SMA (1999), e *Proposta de Procedimentos para Seleção Preliminar de Áreas para Aterros Sanitários a partir de Cartas Geotécnicas*, desenvolvido por Basílio (2001), baseado em Zuquette (1993) e Zuquette et al. (1994). A partir dos mapas de ambos os métodos buscou-se a explicação para as diferenças apresentadas, por meio da comparação de suas abordagens, critérios e atributos.

Como atividade complementar, a presente pesquisa verificou a localização do atual aterro sanitário do município de Campinas - SP (Complexo Delta) em relação às áreas selecionadas pelos dois métodos como potenciais para o recebimento dos resíduos sólidos urbanos.

1.1 OBJETIVO

O objetivo da presente pesquisa é comparar dois métodos de seleção de áreas para implantação de aterros sanitários aplicados em uma mesma área geográfica (em escala regional), visando identificar os elementos que levaram às diferenças nos resultados observados.

Foram escolhidos dois métodos desenvolvidos e aplicados parcialmente na região de Campinas (SP), de modo a tornar a superposição possível. Os métodos selecionados foram: *Seleção de Áreas para Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos*, desenvolvido por IG-SMA (1999), e *Proposta de Procedimentos para Seleção Preliminar de Áreas para Aterros Sanitários a partir de Cartas Geotécnicas*, desenvolvido por Basílio (2001), baseado em Zuquette (1993) e Zuquette et al. (1994).

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Disposição final de resíduos sólidos urbanos

O conceito de resíduo sólido urbano utilizado na presente pesquisa provém da Política Estadual de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.300, 2006, Art. 6º.). Segundo a referida lei, resíduos sólidos urbanos são os provenientes de residências, estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços, da varrição, de podas e da limpeza de vias, logradouros públicos e sistemas de drenagem urbana. Embora os resíduos urbanos possam ser estudados sob diversos enfoques, na presente pesquisa o tema é restrito à escolha de locais para sua disposição final em aterros sanitários.

Segundo Hamer (2003), historicamente a disposição de resíduos no solo foi vista como um sistema de tratamento, devido à degradação. Porém, esse fenômeno (degradação) aumenta de forma espetacular o potencial de poluição de diversos resíduos (op. cit.). Segundo Sisino e Oliveira (2000), acreditava-se que o solo era um meio filtrante que tratava os resíduos sólidos e efluentes líquidos; porém, atualmente o solo é um reservatório de produtos químicos, e este é um compartimento ambiental que não se move ou se renova rapidamente.

O gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos envolve diversas etapas, sendo a disposição final, a última desse processo. Existem basicamente três formas de disposição final no solo, sendo duas inadequadas (lixão e aterro controlado) e uma adequada (aterro sanitário), descritas a seguir:

Lixão: a simples descarga dos resíduos sólidos sobre o solo, sem medidas de proteção ao ambiente ou à saúde pública (IPT / CEMPRE, 2000);

Aterro Controlado: Segundo a NBR 8849 (1985, apud ROHDE, 1989) é técnica de disposição de resíduos urbanos 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, cobrindo-os com uma camada de material inerte na conclusão de cada jornada de trabalho. Segundo IPT / CEMPRE (2000), trata-se de uma forma de disposição similar ao aterro sanitário, porém sem impermeabilização de base, nem sistemas de coleta e tratamento de percolato² e de biogás³, o que a caracteriza como totalmente inadequada, por não promover a proteção ao solo, às águas e ao ar.

Para Rohde (1989), a existência de aterros controlados e da norma “Apresentação de aterros controlados de resíduos sólidos urbanos” (NBR 8849 / 85) se constitui em uma “[...] verdadeira excrescência, uma vez que sobrepõe o fator econômico à ecologia, à técnica e à saúde pública”.

Aterro Sanitário: Segundo a NBR 8419 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (1992), é técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais (negativos). Este método utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à 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 necessário. Conta com impermeabilização de base e sistemas de coleta e tratamento de biogás e do líquido percolato.

Melo et al. (2002) afirmam que o comportamento dos resíduos depositados em aterros é semelhante a um biorreator, pois em condições ótimas, este provê a quebra completa da fração biodegradável do lixo. Segundo EPA⁴ há um tipo de aterro (*bioreactor landfill*) construído especificamente para acelerar a decomposição e a estabilização da matéria orgânica. Esse método utiliza a recirculação do líquido percolato na massa de lixo para promover a atividade microbiana, que pode operar na presença ou ausência de oxigênio segundo três tipos diferentes de aterro biorreator:

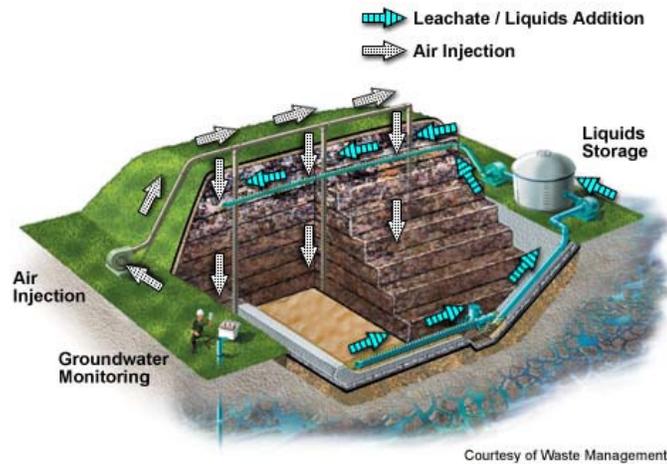
- Aeróbio: há a injeção de ar na massa de lixo por meio de poços horizontais e verticais, para promover a atividade microbiana aeróbia (Figura 1);

² Termo empregado para caracterizar a mistura entre o chorume (produzido pela decomposição do lixo) e a água de chuva que percola o aterro (IPT / CEMPRE, 2000).

³ Gás resultante da decomposição anaeróbica de biomassa, como, p. ex., lixo urbano (...), que pode ser usado como combustível devido ao seu alto teor de metano (Dicionário Aurélio Eletrônico Século XXI, 1999).

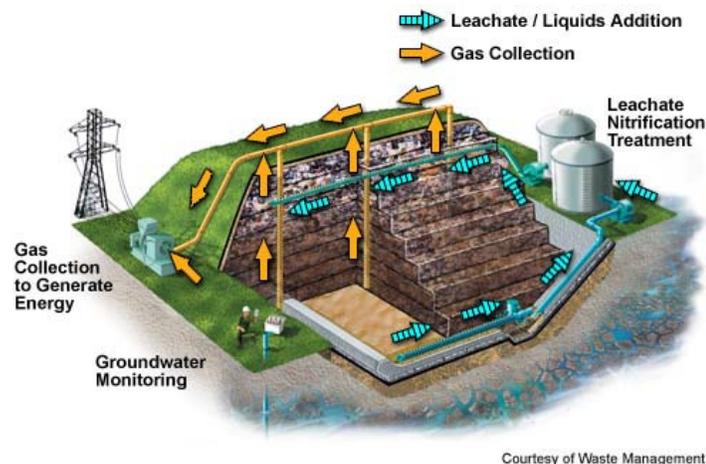
⁴ <<http://www.epa.gov/epaoswer/non-hw/muncpl/landfill/bioreactors.htm>>

- Anaeróbio: só há a injeção de umidade na massa de lixo, sob a forma de recirculação do percolado. O processo resulta na formação de biogás, que pode ser captado e aproveitado como fonte de energia (Figura 2) e;
- Híbrido: opera nas formas aeróbia e anaeróbia, acelerando a fase metanogênica comparado ao aterro aeróbio.



Fonte: EPA <<http://www.epa.gov/epaoswer/non-hw/muncpl/landfill/bioreactors.htm>>

Figura 1 - Modelo de aterro biorreator aeróbio.



Fonte: EPA <<http://www.epa.gov/epaoswer/non-hw/muncpl/landfill/bioreactors.htm>>

Figura 2 - Modelo de aterro biorreator anaeróbio.

Entre as vantagens do aterro biorreator para o aterro convencional, estão: decomposição biológica e estabilização em anos versus décadas no sistema tradicional; baixa toxicidade do

lixo para ambas as condições aeróbias / anaeróbias; redução dos custos de disposição do líquido percolado; ganho de 15 a 30 % do espaço do aterro devido ao aumento da densidade da massa de lixo; aumento significativo da geração de biogás que, quando capturado pode ser usado para geração de energia no local ou venda; redução do cuidado pós-fechamento do aterro (EPA⁵).

Pelas vantagens apresentadas, e devido à proteção que proporciona ao ambiente e (direta e indiretamente) à saúde pública, o aterro sanitário é a forma correta de disposição dos resíduos sólidos urbanos. Contudo, antes da disposição final, que é a última etapa do gerenciamento dos resíduos, recomenda-se a utilização de sistemas de tratamentos como forma de minimizar o uso do aterro e prolongar, conseqüentemente, a vida útil deste.

Os sistemas de tratamento incluem basicamente reciclagem, compostagem e incineração e são fontes importantes de recuperação de matéria-prima e energia. Dessa forma, aproveita-se ao máximo o resíduo, enviando para os aterros apenas os rejeitos ou resíduos últimos, aqueles cuja possibilidade de aproveitamento fora esgotada.

Nesse sentido, observa-se nos países desenvolvidos um melhor aproveitamento dos resíduos sob diversas formas de tratamento prévias à disposição final (Figura 3). Esse fato se justifica, em parte, pela dificuldade desses países em obterem novas áreas próximas aos centros urbanos (geradores de resíduos) para construção de aterros sanitários, o que os obriga a minimizar o resíduo a ser aterrado. Por outro lado, o nível cultural elevado da população permite controlar o mercado, por meio da pressão política, da escolha de produtos e embalagens menos agressivos ao ambiente, e boicote a produtos ambientalmente agressivos.

O exemplo do Brasil, enquanto país subdesenvolvido, demonstra a inexpressividade dos sistemas de tratamento prévios à disposição final (Figura 4). O fato de o aterramento ser a principal forma de disposição não é o único problema, pois em diversos países desenvolvidos essa forma também predomina. A questão principal está nas condições de disposição final, ou seja, nas “outras” formas que não sejam aterro sanitário (Figura 5). Isso porque dos 94,49% dos resíduos não tratados, apenas 36,18 % são dispostos em aterros sanitários, em condições supostamente adequadas. Os quase 60 % restantes são dispostos em aterros controlados, vazadouros a céu aberto (lixões) e vazadouros em áreas alagadas, em condições inadequadas.

A Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB acompanha, desde 1997, a situação da disposição dos resíduos domiciliares no Estado de São Paulo, por meio da aplicação de um questionário (ANEXO A) e da fiscalização desses locais. Segundo relatório

⁵ <<http://www.epa.gov/epaoswer/non-hw/muncpl/landfill/bioreactors.htm>>

Cetesb (2007), houve gradativa melhora nas condições de disposição final dos resíduos no Estado de São Paulo entre 1997 a 2006 (Figuras 6 e 7).

A Figura 6 indica melhora em relação à quantidade de resíduos dispostos adequadamente, passando de 10,9 % em 1997 para 80,7 % em 2006. Esse dado revela como aspecto positivo o fato da maior quantidade de resíduos ser destinada de forma adequada, porém, oculta sua concentração, pois apenas 9 municípios paulistas (acima de 500.000 habitantes) são responsáveis por 61,2 % dos resíduos gerados no Estado (CETESB, 2007).

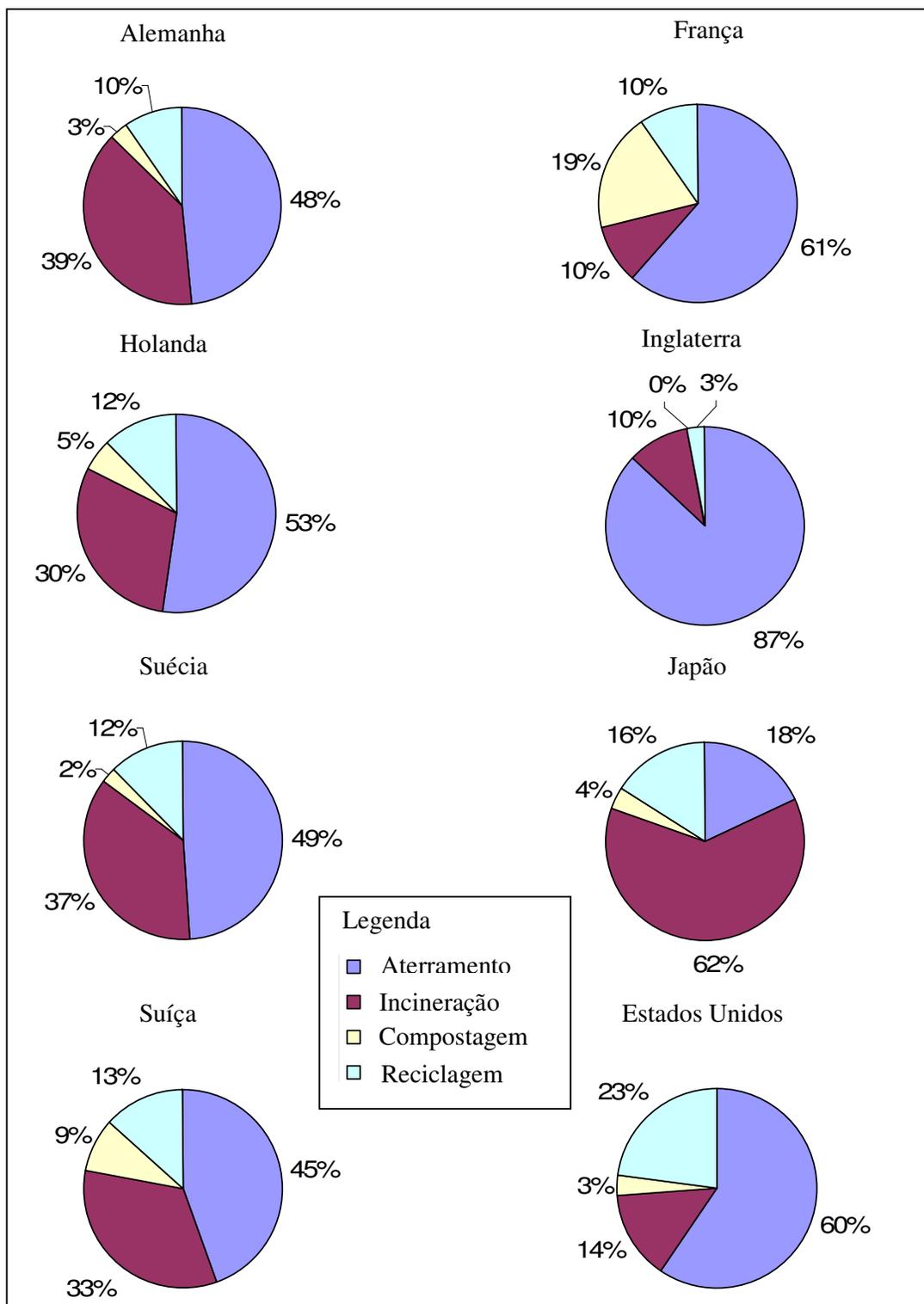
Em relação aos 645 municípios do Estado de São Paulo, apenas 47,8 % dispõe seus resíduos de forma adequada (Figura 7); ainda predominam as formas inadequadas e controladas de disposição, que somam 52,2 %. Apesar de longe do ideal, destaca-se o grande avanço observado desde 1997, quando 95,8 % dos municípios dispunham seus resíduos de forma inadequada ou controlada.

Embora não seja objetivo da presente pesquisa, observa-se a dúvida quanto ao conceito de disposição “adequada” na avaliação da Cetesb. Verificou-se, na prática, que o aterro controlado do município de Corumbataí (SP) foi enquadrado como condição adequada, colocando em dúvida os conceitos de “controlado” e “adequado”.

As formas incorretas de disposição final dos resíduos sólidos urbanos podem causar graves problemas de poluição ambiental (aos solos, águas e ar) e de saúde pública, por meio de doenças. Segundo CETESB (1997b), o lixo é um fator indireto de transmissão de doenças, por meio da ação de vetores (moscas, mosquitos, baratas e roedores), que encontram no lixo alimento e condições adequadas para sua proliferação.

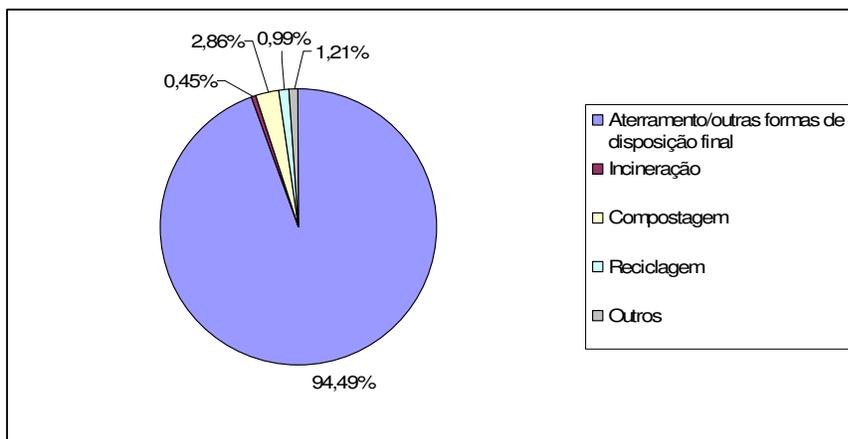
Em relação à poluição ambiental causada pelos resíduos sólidos urbanos, isso se deve à decomposição da matéria orgânica presente no lixo, que gera o biogás e o percolato, que é um líquido escuro, ácido e de alta demanda bioquímica de oxigênio (DBO), podendo esta atingir mais de 60.000 mg / l, que, em comparação ao esgoto doméstico (200 mg / l), é um valor muito elevado (TRESSOLDI e CONSONI, 1998). Segundo os autores (op. cit.), além da elevada DBO, que confere ao percolato considerável poder agressivo ao ambiente, devido à sua acidez, este ainda carrega metais presentes na massa de lixo, aumentando seu poder poluidor. Os principais grupos de poluentes presentes no percolato de aterros sanitários e seus indicadores estão descritos na Figura 8.

Para evitar a poluição devido à degradação da matéria orgânica sob condições anaeróbias, é necessário a coleta e tratamento do percolato e biogás gerados. Mesmo após o encerramento das atividades, há a necessidade do monitoramento do aterro por um tempo variável.



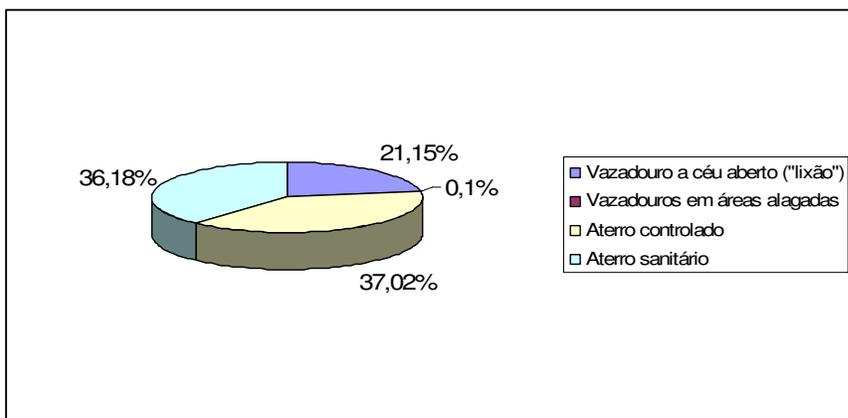
Fonte: Baseado em U.S. EPA (1997, apud IPT / CEMPRE, 2000).

Figura 3 – Formas de destinação dos resíduos.



Fonte: Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) – IBGE (2000).

Figura 4 - Destinação dos resíduos sólidos urbanos no Brasil.



Fonte: Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) - IBGE (2000).

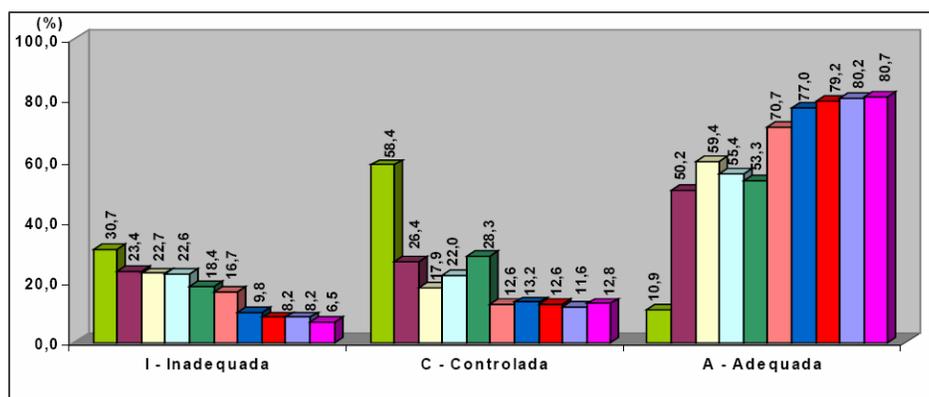
Figura 5 – Formas de disposição final dos resíduos sólidos urbanos no Brasil.

Segundo a NBR 13896 (ABNT, 1997), as águas subterrâneas devem ser monitoradas por um período de vinte anos após o fechamento da instalação, sendo que esse período pode ser reduzido – uma vez constatado o término da geração do percolado - ou, estendido, caso se acredite ser insuficiente. A agência de proteção ambiental americana (EPA) estabelece um período de monitoramento de trinta anos, podendo este ser reduzido ou estendido, da mesma forma que no sistema brasileiro.

Se por muito tempo a disposição final dos resíduos sólidos urbanos foi tratada com descaso, atualmente o assunto é pauta de discussões e está entre as principais preocupações das administrações públicas municipais. Segundo Ferreira (2000):

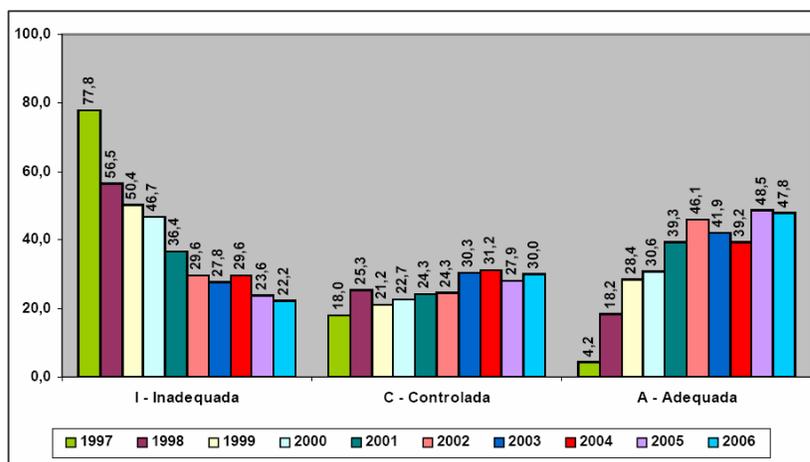
Até há [sic] poucos anos, os resíduos domiciliares eram considerados como de pequeno risco para o ambiente. Atualmente, [...], considera-se que os resíduos sólidos domiciliares representam uma ameaça à integridade do ambiente e contêm itens que podem ser classificados como perigosos. (FERREIRA, 2000, p. 22)

A proteção ao ambiente e conseqüentemente à saúde pública por meio da disposição final adequada dos resíduos sólidos urbanos se constitui a motivação principal da presente pesquisa.



Fonte: CETESB (2007).

Figura 6 - Porcentagem de resíduos domiciliares dispostos segundo os índices de qualidade dos aterros.



Fonte: CETESB (2007).

Figura 7 - Porcentagem dos locais de disposição dos resíduos domiciliares dos municípios.

Contaminantes	Principais Indicadores
Partículas sólidas	Sólidos em suspensão (SS), sólidos totais dissolvidos (STD), sólidos totais (ST), turbidez, cor.
Orgânicos	Oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO 5 dias), demanda química de oxigênio (DQO), SS, STD, ST, cor, turbidez, pH.
Orgânicos sintéticos	Carbono orgânico total (TOC), halogenados orgânicos totais (TOX), benzeno, tolueno, xileno, tricloroetileno (TCE), tetracloroetileno (TECE), tricloroetano (TCA), tetracloroetano, percloroetileno (PEC), bifenila policlorada (PCB), trihalometanos, aldrin, DDT, fenóis, etc.
Inorgânicos	Dureza CaCO ₃ , pH, SS, STD, ST, condutividade elétrica, turbidez, cor, cloretos, sulfatos, nitrito, nitrato, amônia, nitrogênio, fosfato, fluoreto, cianeto.
Metais	Hg, Cd, Cr, Ni, Zn, Pb, Cu, Fe, Mn, etc.
Radionuclídeos	Curies, tipos alfa, beta e gama
Biológicos	Coliformes fecais e totais, contagem de bactérias e de vírus

Fonte: Tressoldi e Consoni (1998).

Figura 8 – Quadro com os principais grupos de poluentes presentes no percolado de aterros sanitários e seus indicadores.

2.2 Seleção de áreas para implantação de aterros sanitários

Historicamente, a seleção de áreas para disposição final de resíduos sólidos urbanos foi feita muito mais com base na proximidade da área produtora dos resíduos e na disponibilidade de grandes cavas (de mineração), do que quaisquer outros critérios geológicos de adequabilidade (HAMER, 2003).

Nos Estados Unidos, datam da década de 1940 os primeiros esforços para o desenvolvimento de métodos sanitários de disposição de resíduos; e em 1993 a agência ambiental americana (*Environmental Protection Agency – EPA*) sistematizou critérios regionais para seleção de áreas para localização de aterros sanitários.

No Brasil, em 1997 foi lançada a norma técnica NBR 13896 (ABNT, 1997), referente aos critérios regionais para seleção de áreas para implantação de aterros sanitários. Os

critérios da referida norma são utilizados⁶ pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB, no processo de licenciamento de aterros sanitários.

A seleção de áreas para implantação de aterros sanitários é um processo complexo, pois envolve elementos do meio físico (abiótico), biótico e socioeconômico. Visando facilitar esse trabalho, pesquisadores e instituições vêm desenvolvendo métodos de seleção de áreas nos últimos anos, impulsionados especialmente pelo uso de sistemas de informações geográficas (SIGs), que permitem combinações complexas de fatores por meio do uso de geoestatística e geomatemática.

A seguir serão apresentados os aspectos legais e técnicos da seleção de áreas para implantação de aterros sanitários.

2.2.1 Aspectos da legislação brasileira

O Brasil ainda sofre com a ausência de diretrizes nacionais específicas para o setor de resíduos sólidos, uma vez que a Política Nacional de Resíduos Sólidos encontra-se em trâmite há mais de uma década. Contudo, apresentaremos a seguir, em nível hierárquico, a legislação direta ou indiretamente relacionada ao tema da presente pesquisa.

Em nível federal, destacam-se algumas Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA:

- Resolução CONAMA 01 / 1986: determina que o licenciamento de aterros sanitários, enquanto atividades modificadoras do meio ambiente, depende da elaboração de Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e respectivo Relatório de Impacto no Meio Ambiente (RIMA);
- Resoluções CONAMA 05 / 1988 e 237 / 1997: dispõem sobre a necessidade de licenciamento ambiental para as unidades de transferência, tratamento e disposição final de resíduos sólidos urbanos;
- Resolução CONAMA 308 / 2002: para municípios de pequeno porte (até trinta mil habitantes e geração diária de resíduos sólidos urbanos de até trinta toneladas) o órgão ambiental competente poderá dispensar o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Relatório

⁶ Informação obtida por telefone junto ao setor de licenciamento de aterros sanitários da CETESB (em julho / 2007).

de Impacto no Meio Ambiente (RIMA) na hipótese de ficar constatado por estudos técnicos que o empreendimento não causará significativa degradação ao meio ambiente.

Em nível estadual, existem diversas leis, decretos e resoluções direta ou indiretamente relacionadas aos resíduos sólidos urbanos e disposição final. Destacam-se entre elas:

- Lei nº 997 / 1976: dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente. Proíbe o lançamento ou liberação de poluentes nas águas, no ar ou no solo. Institui a obrigatoriedade da Licença Ambiental Prévia (LAP), Licença Ambiental de Instalação (LAI), e Licença Ambiental de Operação (LAO) para a instalação, construção, ampliação, operação ou funcionamento das fontes de poluição;
- Lei nº 6.134 / 1988: dispõe sobre a preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas. Só permite a condução ou lançamento de resíduos líquidos, sólidos ou gasosos de forma a não poluírem as águas subterrâneas;
- Lei nº 7.663 / 1991: normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos. Tem como um dos princípios o combate e a prevenção das causas e dos efeitos adversos da poluição;
- Lei nº 7.750 / 1992: Política Estadual de Saneamento. Tem como um dos princípios o ambiente salubre, indispensável à segurança sanitária e à melhoria da qualidade de vida, como direito de todos, devendo ser assegurado pelo Poder Público e pela coletividade;
- Lei nº 9.866 / 1997: dispõe sobre diretrizes e normas para proteção e recuperação das bacias hidrográficas dos mananciais de interesse regional do Estado de São Paulo;
- Lei nº 12.300 / 2006: institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos e define princípios e diretrizes. Tem como um dos objetivos reduzir a quantidade e nocividade dos resíduos sólidos e os problemas ambientais e de saúde pública gerados por eles; erradicar os lixões, aterros controlados, bota-foras e demais destinações inadequadas.

Os decretos estaduais de maior relevância para a presente pesquisa são os que regulamentam as leis sobre controle da poluição do meio ambiente e das águas subterrâneas (Leis nº 997 / 1976 e 6.134 / 1988, respectivamente), a seguir:

- Decreto Estadual nº 8.468 / 1976 (acrescido das modificações do Decreto Estadual nº 47.397 / 2002): regulamenta a Lei nº 997 / 1976. Proíbe o lançamento ou a liberação de poluentes nas águas, no ar ou no solo. Proíbe a queima ao ar livre de resíduos sólidos, líquidos ou qualquer outro material combustível. Não permite depositar, dispor, descarregar, enterrar, infiltrar ou acumular no solo resíduos poluentes; só permite o uso do

solo para destino final de resíduos de qualquer natureza desde que a disposição seja feita de forma adequada. Quando a disposição final exigir a execução de aterros sanitários deverão ser tomadas medidas adequadas para proteção das águas superficiais e subterrâneas, obedecendo-se normas a serem expedidas pela CETESB. Os sistemas de tratamento e disposição final de resíduos sólidos deverão obter as Licenças Prévias, de Instalação e de Operação. Determina que não seja expedida a Licença de Instalação quando houver indícios de que ocorrerá lançamento / liberação de poluentes nas águas, no ar ou no solo.

- Decreto Estadual nº 32.955 / 1991: regulamenta a Lei nº 6.134 / 1988. Determina que os resíduos sólidos, líquidos ou gasosos provenientes de quaisquer atividades somente poderão ser lançados se não poluírem águas subterrâneas. Nos projetos de disposição de resíduos no solo deve conter a caracterização hidrogeológica da área de localização (para avaliação da vulnerabilidade das águas subterrâneas), e a descrição detalhada das medidas de proteção a serem adotadas. Obriga o monitoramento das águas subterrâneas onde existirem depósitos de resíduos no solo, cujos relatórios devem ser apresentados até o dia 31 de janeiro de cada ano à Cetesb.

A Secretaria de Estado do Meio Ambiente (SMA), no âmbito de suas competências, define resoluções para o Estado de São Paulo:

- Resolução SMA – 42 / 1994: define procedimentos para o licenciamento ambiental. Este se inicia com o requerimento da Licença Ambiental instruída com o Relatório Ambiental Preliminar – RAP. O referido documento (RAP) é analisado pelo Departamento de Avaliação de Impacto Ambiental – DAIA, da SMA, que se manifesta pelas seguintes possibilidades: indefere o pedido de Licença por motivos técnicos ou ambientais; exige ou dispensa a apresentação de EIA e RIMA;
- Resolução SMA – 51 / 1997: dispõe sobre a exigência ou dispensa de Relatório Ambiental Preliminar – RAP para os aterros sanitários e usinas de reciclagem e compostagem de resíduos sólidos domésticos operados por municípios. Dispensa de Licença Prévia instruída de RAP municípios com geração diária igual ou inferior a 10 toneladas. Para municípios com geração diária entre 10 e 25 toneladas, o processo deverá ser enviado à Cetesb, para encaminhamento à Secretaria do Meio Ambiente para manifestação do DAIA quanto à necessidade ou não da elaboração do RAP. Para municípios com geração diária superior a 25 toneladas, seguem-se os procedimentos estabelecidos na Resolução SMA – 42 / 1994;

- Resolução SMA – 34 / 2006: cria o grupo de trabalho para regulamentar a Lei nº 12.300 / 2006 (Política Estadual de Resíduos Sólidos).

De modo resumido, a legislação apresentada está inserida em diferentes contextos históricos, no processo contínuo de evolução da sociedade, o que requereu atualizações com o passar do tempo. A partir da Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938 / 1981) estabeleceu-se um novo conceito de gerenciamento ambiental, deixando-se de entender a questão como apenas controle da poluição, mas como controle ambiental (CETESB, 1997b). Para dar conta dessa nova realidade, foram criados órgãos federais e estaduais responsáveis pelo controle ambiental e diversas legislações decorrentes.

Anterior à Política Nacional do Meio Ambiente, em 1979, a Portaria do Ministério do Interior nº 53 / 1979 instituiu a obrigatoriedade da aprovação de projetos de tratamento e disposição de resíduos sólidos, pelo órgão estadual de controle da poluição e de preservação ambiental. A referida Portaria também não permitia que o lixo “in natura” fosse utilizado na agricultura ou alimentação de animais e nem o seu lançamento em cursos d’água, lagos e lagoas.

O CONAMA, em sua primeira Resolução (CONAMA 01 / 1986), torna obrigatória a apresentação de EIA e RIMA para o licenciamento de todas as atividades modificadoras do meio ambiente, dentre as quais estão os sistemas de tratamento e disposição de resíduos sólidos, independentemente do porte e de outras características. Essa exigência trouxe um volume de trabalho acima da capacidade operacional do DAIA, pois empreendimentos de pequeno porte, com potencial de impacto ambiental baixíssimo tinham o mesmo tratamento de um sistema de grande porte, com forte potencial de impacto ambiental (CETESB, 1997b).

Para resolver essa questão, em 1990, o Conselho Estadual do Meio Ambiente - CONSEMA aprovou a Deliberação nº 20 / 90, que estabeleceu critérios para a exigência e elaboração de EIA e RIMA para os sistemas de tratamento e disposição final de resíduos sólidos (CETESB, 1997b).

Em 1994, a Resolução SMA – 42 / 94 instituiu a figura do Relatório Ambiental Preliminar - RAP, cuja estrutura é bastante parecida com o EIA e RIMA, porém o conteúdo é menos abrangente. Dessa forma, após a análise do RAP, o DAIA se manifestava quanto à necessidade ou não da elaboração de EIA e RIMA, ou mesmo sobre a inviabilidade do empreendimento. Em 1997, a Resolução SMA – 51 / 1997 dispensa a apresentação de RAP para aterros sanitários e usinas de reciclagem e compostagem para municípios com geração

diária igual ou inferior a 10 toneladas, desde que não estejam localizados em Áreas de Interesse Ambiental, definidas na referida Resolução.

Posteriormente, em 2002, a Resolução CONAMA 308 / 2002 deixa a critério do órgão ambiental a exigência ou dispensa de EIA e RIMA para o licenciamento de unidades de disposição final de resíduos sólidos de municípios de até trinta mil habitantes com geração diária de até trinta toneladas. Observa-se dessa forma, a adaptação da legislação à realidade, proporcionando condições necessárias para sua aplicação.

2.2.2 Critérios e métodos internacionais

O desenvolvimento de critérios e métodos para seleção de áreas para implantação de aterros sanitários foi um processo gradativo, e ainda hoje se encontra em diferentes estágios de desenvolvimento em cada país. De modo geral, Langer (1995 apud BROLLO, 2001) afirma que, para um terreno ser adequado à disposição de resíduos sólidos, este deve apresentar as seguintes características relativas ao meio abiótico: baixo fluxo de água subterrânea nos arredores da área de disposição; baixa permeabilidade; grande espessura e homogeneidade do material geológico, alta capacidade de retenção (adsorção) de compostos; baixa solubilidade química; baixa erodibilidade do substrato. Contudo, torna-se necessário definir parâmetros (preferencialmente quantitativos) para os atributos escolhidos, de forma a diminuir a subjetividade na análise.

Nos Estados Unidos, a preocupação com o desenvolvimento de métodos sanitários de disposição de resíduos data da década de 1940 (EPA⁷). A agência ambiental americana – U. S. EPA (*Environmental Protection Agency*) sistematizou, em 1993, critérios regionais para seleção de áreas para localização de aterros sanitários, que incluem:

- Segurança a aeroportos (airport safety): Novas instalações e ampliações de aterros sanitários existentes na distância de: 3.048 metros (10,000 ft) de pistas de decolagem / aterrissagem para aeronaves a jato; e 1.524 metros (5,000 ft) de pistas de decolagem / aterrissagem para outras aeronaves (não-jato). Os responsáveis devem demonstrar de acordo com o projeto e operação do aterro, que a unidade não oferece risco de colisão entre aves e aeronaves. Unidades que não demonstrarem serão fechadas;

⁷ <http://www.epa.gov/epaoswer/non-hw/muncpl/timeline_alt.htm> Acesso em 06/01/2007.

- Planícies de inundação (floodplains): Novas instalações e ampliações de aterros sanitários existentes em planícies de inundação, com tempo de retorno de 100 anos, devem demonstrar que a unidade: não restringirá o fluxo de tempo de retorno de 100 anos; não reduzirá a capacidade de armazenamento temporária da planície de inundação; ou não fracassará na retenção do resíduo (estes não serão carregados pelas águas do fluxo de base), colocando em risco a saúde humana e o ambiente. Unidades que não demonstrarem serão fechadas;
- Áreas alagadas (wetlands): Novas instalações e ampliações de aterros sanitários existentes não devem se localizar em áreas alagadas. Quando for inevitável, deve-se: evitar impactos negativos o máximo possível; os impactos inevitáveis devem ser minimizados e mitigados (como restauração de áreas alagadas degradadas); criação de novas áreas alagadas;
- Zonas de falhas (fault áreas): Novas unidades e ampliações de aterros sanitários existentes não devem se localizar a menos de 60 metros de falhas que tenham se movimentado no Holoceno (a menos que se comprove que a distância inferior prevenirá danos à integridade estrutural da obra e protegerá a saúde pública e o ambiente). Unidades existentes não serão fechadas se estiverem localizadas em zonas de falhas;
- Zonas de impacto sísmico (seismic impact zones): Novas unidades e ampliações de aterros sanitários não devem se localizar em zonas de impacto sísmico, a menos que as estruturas tenham sido projetadas para resistir à máxima aceleração horizontal. Unidades existentes não serão fechadas e nem precisarão se relocar por esse motivo;
- Áreas de risco (unstable areas): Novas instalações e ampliações de aterros sanitários, localizados em áreas de risco, devem demonstrar a segurança estrutural da unidade. Unidades existentes que não demonstrarem com sucesso deverão ser fechadas (dentro de 5 anos).

Em Portugal, a Direção Geral da Qualidade do Ambiente determina que o local de implantação de um aterro sanitário deve satisfazer, tanto quanto possível, os seguintes critérios (RUSSO, 2003):

1. Ser geológica e hidrogeologicamente aceitável, não constituindo risco de contaminação das águas (subterrâneas ou superficiais) e dos terrenos adjacentes (recomenda-se coeficiente de permeabilidade de solo $K \leq 10^{-9}$ m/s);
2. Localização com melhores acessos e menores trajetos (menores custos de transporte);

3. Não afetar locais em relação a odores e arrastamento de materiais pelo vento, sendo recomendados: 250 metros de qualquer habitação isolada e 400 metros de qualquer aglomerado populacional;
4. Existência de grandes quantidades de material para cobertura diária e recobrimento final dos resíduos;
5. Afastamento mínimo de 100 metros de captações de águas subterrâneas;
6. Não constituir risco de incêndio para zonas envolventes;
7. Possuir facilidade para instalação de eletricidade e água;
8. Não ocupar terrenos da RAN (Reserva Agrícola Nacional) ou REN (Reserva Ecológica Nacional);
9. Permitir boa inserção na paisagem, tanto durante a operação como após o encerramento.

Segundo Russo (op. cit.), há duas formas de se iniciar o processo de seleção de áreas para implantação de aterros sanitários em Portugal: calculando-se uma área buffer (de 5, 10 ou 15 km a partir do centro produtor) ou por áreas pré-definidas (para áreas conhecidas por suas potencialidades e que ainda não estejam incluídas nas áreas buffer); o objetivo é localizar áreas próximas aos centros produtores (urbanos) de forma a minimizar os custos de transporte envolvidos. Seguem-se fases de análise das áreas buffer e pré-definidas:

- 1- avaliação inicial: em que são identificadas limitações legais, físicas, de tipo de povoamento ou formações geológicas;
- 2- seleção de locais com maiores potencialidades: a partir da aplicação de critérios recomendados nacional e internacionalmente;
- 3- escolha final.

Para chegar à escolha final, Russo (2003) observou quatro níveis de controle que resumem os métodos utilizados nos procedimentos de seleção de locais:

- Nível de controle I: tipos de ocupação excludentes: espaços urbanos, urbanizáveis, industriais, Reservas Agrícolas Nacionais (RAN), Reservas Ecológicas Nacionais (REN), espaços agrícolas complementares, espaços para indústria extrativa, canais, unidades de planejamento e gestão e espaços culturais;
- Nível de controle II: relação do aterro sanitário com a natureza do subsolo: hidrogeologia e geologia intrínseca dos solos (terrenos de natureza argilosa ou xistosa devem ser preferidos a tipos graníticos). São necessários impermeabilização e controle de lixiviado para garantir a não-contaminação de captações e aquíferos;

- Nível de controle III: hidrologia e distâncias de proteção;
- Nível de controle IV: relacionados à obra: dimensão dos terrenos; topografia (declividade entre 1 e 20 %) e acessibilidade.

Na França, foram aprovadas legislações extremamente restritivas e exigentes em relação à seleção de áreas para implantação de aterros sanitários, com base em dois critérios: exclusão e hierarquia (RUSSO, 2003). Os critérios de exclusão se baseiam na geologia (sismicidade, áreas expostas a inundações, geologia desfavorável e reservas naturais). Os de hierarquia incluem: proteção de fontes de abastecimento de água; características do subsolo; densidade populacional; proteção de áreas ecológicas sensíveis; proteção de áreas de reserva agrícola; proteção de edifícios históricos; proximidade de zonas produtoras de resíduos; proximidade de vias de comunicação; incômodos devidos ao tráfego; proteção da paisagem; proteção de recursos florestais (RUSSO, 2003).

O referido autor (op. cit.) também apresenta os afastamentos mínimos do local escolhido para disposição, segundo recomendação internacional (Figura 9). As pequenas distâncias de cursos de água e margens de represas recomendadas em OMS consideram que as estruturas de controle da unidade sanitária garantam segurança contra poluição (op. cit.). Contudo, o autor (op. cit.) recomenda a multiplicação desses valores por 10.

Organização Mundial da Saúde (OMS)	Tchobanoglous et al. (1993), Davis et al. (1991) e U. S. EPA
200 m de imóveis habitados, terrenos de desporto ou locais de acampamento; 20 m dos espaços arborizados; 35 m dos cursos de água; 500 m de moinhos de água; 55 m das margens de represas de águas de abastecimento.	30 m de linhas de água (rios); 160 m de poços de água potável; 65 m de casas, escolas e parques; não localização em área inundável, a não ser sob condições excepcionais.

Fonte: baseado em Russo (2003).

Figura 9 – Quadro com recomendações internacionais de afastamentos mínimos para locais de disposição de resíduos sólidos urbanos.

Kontos et al. (2005) descrevem os critérios considerados para a seleção de áreas para implantação de aterros sanitários na ilha de Lemnos, norte da Grécia, a partir do uso de análise multicriterial e sistemas de informação geográfica (SIG). Apesar da Diretriz 99/31/EC (União Européia), que requer a construção de aterros sanitário em todos os países membros da União Européia, a Grécia conta com mais de 4.000 lixões contra apenas 50 aterros sanitários em construção e operação (KONTOS et al. 2005). Segundo os autores (op. cit.) implantar um aterro sanitário é um processo complicado porque tem que combinar parâmetros sociais, ambientais e técnicos. Os critérios avaliados foram divididos em quatro classes:

- Hidrológico / hidrogeológico: incluem permeabilidade e distância de fontes de água;
- Ambientais: incluem águas superficiais e ecossistemas sensíveis;
- Sociais: incluem áreas urbanas, áreas culturais, usos da terra e visibilidade, sendo este último associado à síndrome NIMBY (*not in my back yard*);
- Técnicos: incluem morfologia e direção dos ventos.

A partir da atribuição de pesos relativos a cada critério e respectivos parâmetros avaliados, Kontos et al. (2005) chegaram a um *ranking* das áreas estudadas, com notas variando de 0 para menos indicadas a 10 para mais indicadas. Como resultado, obteve-se 9,3 % da região de estudo adequada para construção de aterros sanitários, com notas superiores a 9.

2.2.3 Critérios e métodos brasileiros

Até 1997, os principais critérios estabelecidos e utilizados pela Cetesb no Estado de São Paulo (Figura 10) para licenciar a escolha de áreas para implantação de aterros sanitários eram bastante parecidos com os da atual NBR 13896 (ABNT, 1997). Com a aprovação da referida norma, esta passou a ser referência para a Cetesb no licenciamento ambiental dos aterros sanitários.

Segundo NBR 13896 (ABNT, 1997) as características gerais que um local para aterro deve ter são: minimização do impacto ambiental causado pelo aterro; maximização da aceitação pela população; área de acordo com o zoneamento da região e longa vida útil, necessitando do mínimo de obras para início da operação (op. cit.). Na Figura 11 são

apresentados os aspectos técnicos, referentes à escolha de áreas para implantação de aterros sanitários, da NBR 13896 (ABNT, 1997).

Critérios	Aterros sanitários acima do nível original do terreno	Aterros sanitários abaixo do nível original do terreno
Topografia	Entre 1 e 30 %.	Inclinação máxima em torno de 10 %.
Dimensões	Variam de acordo com a vida útil pretendida, com o número de camadas que podem ser executadas em função das características topográficas da área.	Depende da vida útil. Como base de cálculo pode-se considerar necessário um volume de 1,7 m ³ de escavação por tonelada de resíduos a serem aterrados, incluindo o volume de terra para cobertura.
Solo	Deve ter composição predominantemente argilosa, ser o mais impermeável e homogêneo possível, além de não apresentar grandes quantidades de pedras, matacões e rochas aflorantes.	Deve ter composição predominantemente argilosa, ser o mais impermeável e homogêneo possível, além de não apresentar grandes quantidades de pedras, matacões e rochas aflorantes. Deve também ter consistência que possibilite a escavação por meio de retroescavadeira e capacidade para sustentação de taludes sub-verticais.
Proteção contra enchentes	Não devem estar sujeitas a inundações, nem a flutuações excessivas do lençol freático (como várzeas de rios, pântanos e mangues).	Não devem estar sujeitas a inundações, nem a flutuações excessivas do lençol freático (como várzeas de rios, pântanos e mangues).
Distância de corpos de água	Mínima de 200 m de qualquer corpo de água.	Mínima de 200 m de qualquer corpo de água.
Profundidade do lençol freático	O mais distante possível da superfície do terreno. Para solos argilosos recomenda-se profundidade de 3,0 m e para solos arenosos, profundidades superiores.	O mais distante possível da cota do fundo das valas a serem escavadas. Para solos argilosos recomenda-se profundidade de 3,0 m e para solos arenosos, profundidades superiores.
Distância de residências	Mínima de 500 m de residências isoladas e 2.000 m de áreas urbanizadas.	Mínima de 500 m de residências isoladas e 2.000 m de áreas urbanizadas.
Direção dos ventos predominantes	Não deve possibilitar o transporte de poeira e maus odores para núcleos habitacionais.	Não deve possibilitar o transporte de poeira e maus odores para núcleos habitacionais.
Localização	Além dos itens mencionados, observar: <ul style="list-style-type: none"> • as legislações de uso do solo e de proteção dos recursos naturais; • as possibilidades de fácil acesso em qualquer época do ano; • a menor distância viável dos centros geradores. 	Além dos itens mencionados, observar: <ul style="list-style-type: none"> • as legislações de uso do solo e de proteção dos recursos naturais; • as possibilidades de fácil acesso em qualquer época do ano; • a menor distância viável dos centros geradores.

Fonte: baseado em CETESB (1997a).

Figura 10 – Quadro de critérios para escolhas de áreas para implantação de aterros sanitários (CETESB, 1997).

No Brasil, pode-se afirmar que há pouco mais de uma década inciou-se um trabalho mais sistemático visando o desenvolvimento de métodos voltados à seleção de áreas para implantação de aterros sanitários. Os avanços mais recentemente observados nessa área estão

estritamente associados às ciências da computação, principalmente devido ao aprimoramento e acessibilidade de sistemas de informações geográficas. Tais sistemas facilitam, ou mesmo viabilizam o uso de quantificação por meio de métodos matemáticos e estatísticos, tornando o processo mais objetivo.

Atributos	Considerações técnicas
Topografia	Declividade superior a 1 % e inferior a 30 %.
Geologia e tipos de solos existentes	É desejável a existência de um depósito natural extenso e homogêneo de materiais com coeficiente de permeabilidade inferior a 10^{-6} cm/s; É desejável uma zona não-saturada com espessura superior a 3,0 m.
Recursos hídricos	Deve ser localizado a distância mínima de 200 m de qualquer coleção hídrica ou curso de água (essa distância pode ser alterada a critério do Órgão de Controle Ambiental).
Vegetação	Estudo macroscópico da vegetação (pode atuar na redução da erosão, na formação de poeira e transporte de odores).
Acessos	Devem permitir sua utilização sob quaisquer condições climáticas.
Tamanho disponível e vida útil	Fatores inter-relacionados. Recomenda-se a vida útil mínima de 10 anos.
Custos	Determinam a viabilidade econômica do empreendimento.
Distância mínima de núcleos populacionais	Recomenda-se que seja superior a 500 m (essa distância pode ser alterada pelo Órgão de Controle Ambiental).
Áreas sujeitas à inundação	O aterro não deve se localizar em áreas sujeitas à inundação, em períodos de recorrência de 100 anos.

Fonte: baseado em NBR 13896 (ABNT, 1997).

Figura 11 – Quadro de atributos da NBR 13896 (ABNT, 1997) para seleção de áreas para construção de aterros sanitários.

Em geral, os estudos seguem três níveis de abordagens de análise em detalhamento progressivo: avaliação regional, semi-regional e local (ou de detalhe). Com base na literatura nacional e internacional, Brollo (2004) apresenta os critérios, atributos e respectivas classes que devem ser consideradas na seleção de áreas para implantação de aterros sanitários nos três níveis de abordagem (ANEXO B). A presente pesquisa está centrada nos métodos e critérios de caráter regional, cujos exemplos serão apresentados a seguir.

Rohde (1989) foi um dos pioneiros e propôs um método que permite uma visão geral da área de estudo, bem como suas possibilidades e restrições. Segundo o referido autor, os estudos para seleção de áreas para implantação de aterros sanitários devem seguir as seguintes etapas:

- Levantamento de dados gerais e estudos em aerofotos: início da análise ambiental e espacial do problema (levantamento de dados geológico-pedológicos e geotécnicos, hidrológicos, de infra-estrutura e compatibilidade);
- Integração com o sistema de transporte: distâncias superiores a 20 km entre o último ponto de coleta e o aterro são consideradas antieconômicas;
- Estudos topográficos: topografia regional: permite avaliar aos aspectos hidrológicos, de drenagens, possíveis contaminações. Levantamento topográfico planialtimétrico detalhado: mostra aclives e declives em curvas de nível e perfis, cobrindo a bacia contribuinte, vias de acesso e pontos de referência;
- Estudos geológico-geotécnicos: devem indicar a constituição do solo, a permeabilidade, a capacidade de carga, a profundidade do lençol freático, a localização de jazidas de material para cobertura;
- Estudos hidrológicos e hidrogeológicos: devem caracterizar na região e na área do aterro: as bacias e sub-bacias, os cursos d'água, cristas e talwegues, poços, fontes, surgências, linhas de marés e alagados;
- Estudos climáticos: devem abranger a pluviometria, o regime de chuvas e a direção-intensidade dos ventos na área do aterro;
- Estudos de compatibilidade com a rede viária e de serviços públicos: devem indicar a largura de pistas, o estado e tipo de pavimentação; os vãos livres; os viadutos; a existência de redes de água, de energia elétrica, de esgotos e telefone;
- Estudos da legislação: possibilidades de contratos para as áreas escolhidas; orientações para compra e / ou desapropriações; visão global da legislação federal, estadual e municipal que possam afetar a área escolhida.

Como resultado, o autor estabeleceu algumas classes para atributos:

- Distância mínima de 70 metros de córregos e riachos, para não contaminá-los;
- O solo deve possuir características antidrenantes e encontrar-se distante de cursos d'água ou mananciais de abastecimento (TRINDADE e FIGUEIREDO, 1982 apud ROHDE, 1989).

- Nível de água: profundo significa ausência de problema de contaminação, podendo inclusive ser escavado para a primeira deposição (mantendo-se distância mínima de 2 metros entre o nível freático e a primeira camada de lixo); raso implica necessidade de impermeabilização do fundo do aterro com argila compactada (espessura de 15 a 20 centímetros com permeabilidade de 10^{-8} cm/s).

Observa-se, contudo, a ausência de valores norteadores no que diz respeito às características “antidrenantes” do solo e ao nível d’água, em que não se tem o critério para estabelecimento do que é “raso” ou “profundo”. Ou seja, o nível d’água profundo, nesse contexto, não requer nenhuma proteção de impermeabilização de base. Desta forma, conclui-se que o método carece de clareza em relação aos atributos e respectivos parâmetros considerados; contudo, não se deve ignorar o contexto em que foi desenvolvida (1989), constituindo-se em um passo inicial.

Zuquette (1993) propôs fundamentos e guia para elaboração de cartas geotécnicas voltadas a locais deficientes em estudos e mapeamentos em escalas apropriadas (1:100.000 a 1:25.000) para o planejamento urbano e regional, como é o caso típico brasileiro. O método desenvolvido pelo autor, em escala regional, com critérios, atributos e parâmetros para seleção de áreas para implantação de aterro sanitário está descrito na Figura 26 (item 3.3.2). O objetivo do método é possibilitar a classificação das áreas (em favorável, moderada, severa e restrita) em função das características exclusivas do meio físico destas, sob o ponto de vista geotécnico, e para a finalidade em questão (disposição de resíduos).

Segundo os parâmetros dos atributos analisados as áreas podem ser enquadradas em quatro categorias, quanto à potencialidade para recebimento de resíduos (ZUQUETTE et al., 1994):

- Favorável: os atributos do meio físico da área apresentam níveis adequados para disposição final;
- Moderada: alguns atributos do meio físico da área apresentam níveis não-adequados para disposição final. É possível corrigi-los com baixos custos e mecanismos tecnológicos comuns;
- Severa: mais que 50 % dos atributos do meio físico não apresentam níveis adequados para disposição de resíduos. Há a necessidade de mecanismos tecnológicos especiais para correção;
- Restrita: os atributos do meio físico da área não apresentam níveis adequados para disposição de resíduos. São necessários mecanismos tecnológicos muito especiais e altos

custos para correção das limitações. A ocupação pode produzir impactos ambientais intensos.

Observa-se que o método desenvolvido por Zuquette (1993) e Zuquette et al. (1994) apresenta de forma mais detalhada os critérios, atributos e parâmetros considerados na análise, o que talvez facilite sua aplicação e reprodutibilidade. Destaca-se o nível de detalhamento elevado que o método apresenta, o que talvez possa ser explicado pela abrangência da escala considerada pelo autor (de 1:100.000 a 1:25.000), a qual vai indicar as áreas a serem estudadas em detalhe. Como exemplos de aplicação do método de Zuquette, citam-se os trabalhos de Brescansin (1997), no município de Corumbataí, e Basílio (2001), em Campinas, sendo este último, objeto de análise mais detalhada da presente pesquisa no item 3.3.2.

IPT / CEMPRE (2000⁸) desenvolveram um manual de gerenciamento integrado do lixo municipal, abrangendo todas as etapas do gerenciamento (desde a geração até a disposição final). Segundo os autores (op. cit.), a seleção de áreas para implantação de aterros sanitários pode partir de áreas disponíveis que o município deseja avaliar a aptidão (freqüentemente observada), ou de estudos gerais visando obter uma área específica. No segundo caso, o método recomenda estudos em três etapas: levantamento de dados gerais; pré-seleção (escala regional) e estudos para viabilização de áreas pré-selecionadas (escala local).

A etapa de levantamento de dados gerais consiste na obtenção de informações sobre: dados populacionais, características do lixo, dados de coleta e transporte do lixo entre outros (IPT / CEMPRE, 2000). A etapa de pré-seleção de áreas inclui informações relativas aos meios físico, biótico e socioeconômico, em escala regional:

- Dados geológico-geotécnicos: características e ocorrência de materiais que compõem o substrato dos terrenos;
- Dados pedológicos: características e distribuição dos solos na região;
- Dados geomorfológicos: formas e dinâmica do relevo do terreno avaliado;
- Dados sobre as águas subterrâneas e superficiais: comportamento natural da dinâmica e química das águas subterrâneas e superficiais de interesse para abastecimento público;
- Dados climatológicos: chuvas, temperaturas e ventos (de interesse para estimativa de geração de percolado, dimensionamento de sistemas de águas pluviais, dispersão de gases, poeira, ruído e odores);

⁸ 1ª edição em 1995.

- Dados sobre legislação: leis ambientais em diversos níveis (federais, estaduais, municipais) e outros condicionantes do ponto de vista da legislação (áreas de proteção ambiental etc.);
- Dados socioeconômicos: informações de caráter social e econômico como uso e ocupação dos terrenos, valor da terra, distâncias em relação aos centros atendidos, entre outros (op. cit.).

Para realizar a pré-seleção, IPT / CEMPRE (2000) recomendam observar os critérios apresentados na Figura 12, a partir dos quais, serão indicadas as áreas para viabilização de estudos detalhados (escala local) e posteriormente, a escolha final da área.

Dados Necessários	Classificação das áreas		
	Adequada	Possível	Não-Recomendada
Vida útil	Maior que 10 anos	Menor que 10 anos (a critério do órgão ambiental)	
Distância do centro atendido	5 – 20 km		Menor que 5 km Maior que 20 km
Zoneamento ambiental	Áreas sem restrições no zoneamento ambiental		Unidades de conservação ambiental e correlatas
Zoneamento urbano	Vetor de crescimento mínimo	Vetor de crescimento intermediário	Vetor de crescimento principal
Densidade populacional	Baixa	Média	Alta
Uso e ocupação das terras	Áreas devolutas ou pouco utilizadas		Ocupação intensa
Valor da terra	Baixo	Médio	Alto
Aceitação da população e de entidades ambientais não-governamentais	Boa	Razoável	Oposição severa
Declividade do terreno (%)	$3 \leq \text{declividade} \leq 20$	$20 \leq \text{declividade} \leq 30$	Declividade < 3 ou Declividade > 30
Distância aos cursos d'água (córregos, nascentes, etc.)	Maior que 200 m	Menor que 200 m, com aprovação do órgão ambiental responsável	

Fonte: IPT / CEMPRE (2000).

Figura 12 – Quadro de critérios para pré-seleção de áreas para instalação de aterros sanitários – IPT / CEMPRE (2000).

Mahler e Leite (1998) apresentam um método de seleção de áreas para implantação de aterros sanitários baseado inicialmente na análise de valor, em que o valor relativo dos critérios é analisado, e, num segundo momento, na Lógica Fuzzy, em que a pertinência de um

dado fenômeno é relativa (graus de pertinência variam entre 0 e 1). Os fatores considerados foram os geoambientais, os técnicos, os econômicos e os sócio-políticos.

IG-SMA (1999) desenvolveu um método de seleção de áreas potenciais para disposição de resíduos aplicada na Região Metropolitana de Campinas (SP), a partir da análise de imagens de satélite e uso de sistemas de informação geográfica. Maiores detalhamentos sobre o desenvolvimento desse método estão disponíveis em Brollo (2001). Embora o trabalho tenha se desenvolvido somente em escala regional (1:100.000), o método recomenda que as áreas selecionadas em escala regional sejam posteriormente investigadas em escala semi-regional (1:25.000) e local (1:10.000 a 1:5.000). Os aspectos considerados na análise são sociopolíticos, fisiográficos, hidrogeológicos e climáticos, para os quais foram estabelecidos atributos e classes segundo o potencial das áreas para disposição de resíduos. Esse método será objeto de análise mais detalhada no item 3.3.1.

Araújo (1999) desenvolveu um método aplicado no município de Americana (SP), a partir do uso de SIG e comparação entre modelo binário (booleano) e o multi-critério. Os critérios para considerar uma área adequada foram:

- Permeabilidade relativa média a baixa;
- Alta capacidade de troca catiônica;
- pH maior que 4;
- Profundidade do nível da água maior que 2 m;
- Espessura do material inconsolidado maior que 20 m;
- Declividade menor que 20%;
- Distância do perímetro urbano maior que 2 km;
- Distância de estações de captação de água maior que 3 km;
- Estar a mais de 3 km dos mananciais;
- Não ser área de proteção ambiental (ARAÚJO, 1999).

No modelo binário (booleano), as informações sobre cada tema (critérios apresentados acima) foram convertidas para a forma binária, em que a classe 1 representa as áreas onde a informação temática satisfaz às condições impostas, e a classe 0 representa as demais áreas (ARAÚJO, 1999). No modelo multi-critério permite-se atribuir importância relativa aos critérios e atributos (pesos diferenciados). O estabelecimento do peso dos critérios e atributos nesse modelo baseou-se em discussão do autor com a equipe do Instituto Geológico (SP). A análise comparativa dos modelos permitiu ao autor chegar aos seguintes resultados:

- No modelo booleano: apenas 5,7 % da área do município foram consideradas adequadas para disposição de resíduos,
- No modelo multi-critério: não foram encontradas classes de adequabilidade muito alta e alta. Contudo, as classes de adequabilidade média, baixa e muito baixa somam 93,56 % da área do município; foram consideradas inadequadas apenas 7,15 % da área do município.

O Instituto Brasileiro de Administração Municipal - IBAM (2001), baseado em legislações e na NBR 10.157⁹ (ABNT, 1987), apresenta as exigências técnico-legais para seleção de áreas para disposição final de resíduos sólidos urbanos (Figura 13). Além dos critérios técnico-ambientais (detalhados no quadro), o método desenvolvido por IBAM (2001) considera critérios econômico-financeiros e político-sociais, os quais incluem:

- Critérios econômico-financeiros: distância ao centro gerador geométrico de coleta, custo de aquisição do terreno, custo de investimento em construção e infra-estrutura e custos com a manutenção do sistema de drenagem;
- Critérios político-sociais: distância de núcleos urbanos de baixa renda, acesso à área por meio de vias com baixa densidade de ocupação e inexistência de problemas com a comunidade local.

O método utilizado, assim como Araújo (1999), também faz uso de atribuição de prioridades e pesos aos critérios (Figura 14). Quanto maior a pontuação obtida pelas áreas, mais adequadas estas serão aos critérios avaliados. Embora os condicionantes relativos ao meio físico (técnicos) tenham prioridade 4, estes também estão contemplados na legislação ambiental, que possui prioridade 1.

Melo et al. (2002) apresentam um método de seleção de áreas para implantação de aterros sanitários em Cachoeiro do Itapemirim (ES) a partir do uso de funções fuzzy e análise multi-critério. Os critérios utilizados foram ambientais, operacionais e socioeconômicos. A padronização destes critérios foi feita com a lógica fuzzy, a valoração foi feita por meio da comparação par-a-par e a agregação utilizando combinação linear ponderada e média ponderada ordenada (op. cit.). Calijuri et al. (2002) apresentando o mesmo trabalho de Melo et al. (2002), afirma que foram encontradas 15 áreas que apresentaram adequabilidade alta.

⁹ Aterros de resíduos perigosos – Critérios para projeto, construção e operação.

Atributos	Observações
Uso do solo	As áreas têm que se localizar onde o uso do solo seja rural (agrícola) ou industrial e fora de qualquer Unidade de Conservação Ambiental.
Proximidade a cursos d'água relevantes	As áreas não podem se situar a menos de 200 metros de corpos d'água relevantes, tais como, rios, lagos, lagoas e oceano. Também não poderão estar a menos de 50 metros de qualquer corpo d'água, inclusive valas de drenagem que pertençam ao sistema de drenagem municipal ou estadual.
Proximidade a núcleos residenciais urbanos	As áreas não devem se situar a menos de mil metros de núcleos residenciais urbanos que abriguem 200 ou mais habitantes.
Proximidade a aeroportos	As áreas não devem se situar próximas a aeroportos ou aeródromos e devem respeitar a legislação em vigor.
Distância do lençol freático	As distâncias mínimas recomendadas pelas normas federais e estaduais são as seguintes: Para aterros com impermeabilização inferior através [sic] de manta plástica sintética, a distância do lençol freático à manta não poderá ser inferior a 1,5 metro. Para aterros com impermeabilização inferior através [sic] de camada de argila, a distância do lençol freático à camada impermeabilizante não poderá ser inferior a 2,5 metros e a camada impermeabilizante deverá ter um coeficiente de permeabilidade menor que 10^{-6} cm/s.
Vida útil mínima	É desejável que as novas áreas de aterro sanitário tenham, no mínimo, cinco anos de vida útil.
Permeabilidade natural do solo	É desejável que o solo do terreno selecionado tenha uma certa impermeabilidade natural, com vistas a reduzir as possibilidades de contaminação do aquífero. As áreas selecionadas devem ter características argilosas e jamais deverão ser arenosas.
Extensão da bacia de drenagem	A bacia de drenagem das águas pluviais deve ser pequena, de modo a evitar o ingresso de grandes volumes de água de chuva na área do aterro.
Facilidade de acesso a veículos pesados	O acesso ao terreno deve ter pavimentação de boa qualidade, sem rampas íngremes e sem curvas acentuadas, de forma a minimizar o desgaste dos veículos coletores e permitir seu livre acesso ao local de vazamento mesmo na época de chuvas muito intensas.
Disponibilidade de material de cobertura	Preferencialmente, o terreno deve possuir ou se situar próximo a jazidas de material de cobertura, de modo a assegurar a permanente cobertura do lixo a baixo custo.

Fonte: IBAM (2001, p. 154).

Figura 13 – Quadro com as exigências técnico-legais para seleção de áreas para disposição final de resíduos sólidos – IBAM (2001).

Crítérios	Prioridade	Peso
Atendimento ao SLAP* e à legislação ambiental em vigor	1	10
Atendimento aos condicionantes político-sociais	2	6
Atendimento aos principais condicionantes econômicos	3	4
Atendimento aos principais condicionantes técnicos	4	3
Atendimento aos demais condicionantes econômicos	5	2
Atendimento aos demais condicionantes técnicos	6	1

* Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras / Fonte: IBAM (2001, p. 156-157).

Figura 14 – Quadro com atribuição de prioridade e pesos aos Crítérios – IBAM (2001).

Os métodos apresentados indicam um avanço gradativo e significativo nos últimos anos em relação à seleção de áreas para implantação de aterros sanitários, embora não exista um método universal, adequado a todas as realidades. Segundo Brollo (2004), em nível regional (objeto da presente pesquisa), são definidos critérios para exclusão de áreas onde não é viável a disposição de resíduos:

Ressalte-se que os critérios de análise são essencialmente restritivos e envolvem impedimentos legais, restrições de uso e ocupação do solo, além de fragilidades do meio físico, em termos de aspectos fisiográficos, geotécnicos, hidrogeológicos. Isto feito, é possível proceder à classificação de áreas com potencial para disposição de resíduos, dadas as características ambientais presentes, o que permite hierarquizar estas áreas para estudos posteriores nas demais etapas do processo de seleção de áreas (Brollo, 2004, p. 5).

O modelo booleano é sem dúvida mais simples para aplicação, pois os resultados possíveis são apenas dois para as áreas analisadas: adequadas e não-adequadas, não existindo escalas intermediárias entre um nível e outro, o que ocorre com o modelo multi-critério e com a lógica fuzzy, que apresentam esta vantagem em relação ao primeiro. O modelo booleano é exato, preciso, e justamente por isso mais distante da realidade, que, muitas, vezes se apresenta em condições adversas à rigidez dos parâmetros avaliados. Desta forma, o modelo multi-critério e a lógica fuzzy trazem maior flexibilidade à análise; amplia-se a possibilidade de escolha de áreas, ciente de que será necessário compensar a ausência de características ambientais favoráveis quando da escolha de uma área com média ou baixa adequabilidade, por exemplo.

A atribuição de pesos dos atributos é baseada na experiência de um profissional, o que confere certo aspecto subjetivo (necessário) ao método, pois não há como desprezar o conhecimento humano sobre o ambiente na determinação da importância relativa de critérios, atributos e classes.

O contato com diversos métodos suscitou o interesse em compará-los tanto em relação aos procedimentos metodológicos adotados, como aos resultados obtidos. Para tanto, foi necessário encontrar dois métodos que apresentassem algo em comum, ou seja, a mesma área geográfica de aplicação, para permitir a comparação entre os procedimentos metodológicos e resultados obtidos. Os métodos que possuíam, parcialmente, a mesma área geográfica foram: *Seleção de Áreas para Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos*, desenvolvido por IG/SMA (1999), e *Proposta de Procedimentos para Seleção Preliminar de Áreas para*

Aterros Sanitários a partir de Cartas Geotécnicas, desenvolvido por Basílio (2001), baseado em Zuquette (1993) e Zuquette et al. (1994). Ambos serão objeto de estudo mais aprofundado no item 3.3.

2.3 Projetos de aterros sanitários

Além dos aspectos da legislação e do licenciamento ambiental, a apresentação de projetos de aterros sanitários deve seguir a norma técnica NBR 8419 (ABNT, 1992) “Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos”. Segundo a referida norma, um projeto de aterro sanitário deve conter as seguintes partes:

- a) memorial descritivo: informações cadastrais, informações sobre os resíduos a serem dispostos no aterro sanitário, caracterização do local destinado ao aterro sanitário, concepção e justificativa do projeto, descrição e especificações dos elementos do projeto, operação do aterro sanitário, uso futuro da área do aterro;
- b) memorial técnico: cálculo dos elementos do projeto, vida útil do aterro sanitário, sistema de drenagem superficial, sistema de drenagem e remoção de percolato, sistema de drenagem de gás, sistema de tratamento de percolato, cálculo de estabilidade dos maciços de terra e dos resíduos sólidos dispostos;
- c) cronograma de execução e estimativa de custos: cronograma físico-financeiro para a implantação e operação do aterro sanitário;
- d) desenhos: concepção geral, indicação das áreas de disposição dos resíduos sólidos, sistema de drenagem superficial e subsuperficial, sistema de drenagem de gases, sistema de tratamento do percolato, representação do aterro concluído, cortes, detalhes importantes;
- e) eventuais anexos.

O item de maior interesse para a presente pesquisa é o memorial descritivo. Nesse item, a caracterização do local destinado ao aterro sanitário deve conter: zoneamento ambiental, zoneamento urbano, acessos, vizinhança, economia de transporte, titulação da área escolhida, economia operacional do aterro sanitário (jazida de solo, etc.), infra-estrutura urbana, bacia e sub-bacia hidrográfica onde o aterro sanitário se localizará. Incluem-se também a caracterização geológica e geotécnica, climatológica e da água e do solo.

A caracterização geológica e geotécnica deve contribuir objetivamente para a avaliação dos riscos de poluição das águas e das condições de estabilidade dos maciços. A caracterização climatológica deve conter os valores de precipitação e evapotranspiração do maior período observado. Quanto à caracterização da água e do solo, devem ser indicados os usos dos corpos de água próximos, bem como dos poços e outras coleções hídricas.

Outro item de interesse do memorial descritivo é a descrição e especificações dos elementos de projeto, os quais incluem os sistemas de drenagem, remoção e tratamento do percolado, a impermeabilização inferior e / ou superior e o sistema de drenagem de gás.

Em relação ao sistema de drenagem, remoção e tratamento do percolado, e a impermeabilização inferior e / ou superior, a norma determina que os sistemas devam ser previstos quando solicitados pelo Órgão Seccional Estadual de Controle da Poluição e Proteção Ambiental. Ao contrário dos sistemas mencionados, que ficam a critério do órgão ambiental, o sistema de drenagem de gás deve ser previsto no projeto.

No item operação do aterro sanitário (memorial descritivo), destaca-se a necessidade de apresentação de plano de encerramento do aterro e cuidados posteriores. Esse item, aliado ao item uso futuro da área do aterro, garante que após encerramento das atividades do aterro, haverá um monitoramento deste e um novo uso da área, evitando o simples abandono e geração de passivos ambientais.

Segundo CETESB (1997a) as medidas de proteção ambiental que um aterro sanitário deve ter são:

- Sistema de proteção dos aquíferos subterrâneos: por meio da drenagem de nascentes (quando for inevitável a instalação de aterros nessas áreas) e impermeabilização do solo, com camadas de solos argilosos ou membranas sintéticas, também conhecidas como geomembranas, feitas de polietileno de alta densidade - PEAD, com espessura variando em torno de 2,0 milímetros;
- Sistema de drenagem de líquidos percolados: por meio de drenos situados na base do aterro, em formato de leque ou espinha de peixe;
- Sistema de tratamento de líquidos percolados: embora pouco se saiba sobre o seu tratamento, nos países mais ricos é comum destiná-los a estações de tratamento de esgotos. No Brasil, as primeiras instalações construídas foram construídas lagoas de estabilização. Na década de 80 foi adotada a recirculação que tem bom funcionamento em áreas onde a taxa de evapotranspiração é superior ao índice de precipitação pluviométrica;

- Sistema de drenagem de gases: em geral, é formado por linhas de tubos perfurados, atravessando verticalmente a massa de resíduos aterrados, desde a base até a superfície superior;
- Sistema de drenagem de águas pluviais: deve captar as águas precipitadas nas imediações do aterro e desviá-las por canaletas escavadas no terreno original, acompanhando as cotas de forma a conferir uma declividade conveniente ao dreno;
- Monitoramento do aterro: tem como objetivo avaliar as conseqüências no ambiente da presença de efluentes gasosos e líquidos que inevitavelmente são lançados para fora da massa de resíduos. O monitoramento se restringe, via de regra, à avaliação da qualidade das águas superficiais e subterrâneas, a montante e a jusante do aterro.

A NBR 13896¹⁰ (ABNT, 1997) estabelece parâmetros para impermeabilização, drenagem e tratamento do líquido percolado e emissões gasosas em relação às medidas de proteção ambiental que o aterro deve oferecer:

- Impermeabilização: a norma estabelece que sempre que as condições hidrogeológicas do local escolhido para implantação do aterro não atenderem às especificações (existência de 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 3,0 m), deve ser implantada uma camada impermeabilizante inferior. Essa camada deve cobrir toda a área, ser construída com materiais com propriedades químicas compatíveis com os resíduos, não deve oferecer riscos de ruptura.
- Drenagem e tratamento do líquido percolado: o sistema de drenagem para coleta do líquido percolado deve ser instalado imediatamente acima da impermeabilização, com material adequado às propriedades do líquido, resistente a pressões e projetado para não sofrer obstruções. O sistema de tratamento do líquido percolado deve gerar efluentes que atendam aos padrões de emissão e garantam a qualidade do corpo receptor.
- Emissões gasosas: deve-se minimizar as emissões gasosas; e estas devem ser captadas e tratadas adequadamente.

¹⁰ Aterros de resíduos não perigosos – critérios para projeto, implantação e operação.

2.4 Gerenciamento municipal conjunto: realidades e perspectivas

Embora o aterro sanitário seja uma obra de menor custo comparado aos sistemas de tratamento, ainda assim municípios de menor porte não comportam seus custos, recorrendo, na maior parte das vezes, a formas inadequadas de disposição, como aterro controlado e mais freqüentemente, lixão.

Alonso (1992) afirma que não é possível imaginar que cada município deva resolver o seu problema, porque alguns deles não apresentam escala suficiente; outros não possuem áreas adequadas, entre outros fatores. O autor (op. cit.) acredita que por meio da realização de consórcios, um conjunto de municípios pode baratear os custos de uma determinada solução tecnológica (aterro sanitário, usina de compostagem etc.). Destaca-se a necessidade de um estudo criterioso para o estabelecimento de um gerenciamento conjunto, pois longas distâncias podem tornar o processo antieconômico, inviabilizando sua realização.

A Política Estadual de Resíduos Sólidos de São Paulo (Lei nº 12.300 / 2006) estabelece como um de seus objetivos (Inciso VI do Art. 3º) incentivar a cooperação intermunicipal estimulando a busca de soluções consorciadas e a solução conjunta dos problemas de gestão de resíduos de todas as origens. E está entre uma das atividades do Estrado, nos limites de sua competência e atribuições, incentivar a formação de consórcios entre municípios com vistas ao tratamento, processamento de resíduos e comercialização de materiais recicláveis (Inciso VI, Art. 29).

Segundo Lima e Leite (1993), do ponto de vista jurídico, o consórcio é uma reunião de recursos (materiais e humanos) de cada município com a finalidade desejada, mas não possui personalidade jurídica. Assim, é necessário constituir uma sociedade civil (para atividades não comerciais) para poder contratar pessoal por meio de concurso público, realizar compra e venda de bens, contrair empréstimos etc. Para a realização de atividades comerciais, como a venda de materiais recicláveis, é necessário constituir uma empresa pública municipal.

Apesar de apresentar muitas vantagens, o consórcio intermunicipal depende de alguns fatores fundamentais para o seu sucesso. Segundo Cruz (2001, apud SILVEIRA e PHILIPPI, 2005) os principais fatores são:

- Existência de interesses comuns entre os municípios;
- Disposição de cooperação por parte dos prefeitos;
- Busca da superação de conflitos político-partidários;
- Proximidade física das sedes municipais;

- Tomada de decisão política em se consorciar; e
- Existência de uma identidade intermunicipal.

IBGE (2002) apresenta a quantificação dos municípios (por classe de tamanho) e regiões do Brasil que apresentam consórcios intermunicipais para tratamento ou disposição final de lixo (Tabela 1). Da forma como é apresentado, por município, o dado gera dúvida quanto à multiplicação da informação de consórcios intermunicipais, uma vez que, por exemplo, se três municípios fizerem parte de um consórcio, este será contabilizado como três consórcios. Por esse motivo, e pela ausência de informações detalhadas, no presente estudo não será analisada a informação por classes de tamanho da população.

Tabela 1 – Existência de consórcio intermunicipal para tratamento ou disposição final de resíduos sólidos urbanos no Brasil.

Classes de tamanho da população dos municípios e Grandes Regiões do Brasil	Municípios com existência de consórcio intermunicipal para tratamento ou disposição final de lixo			
	Sim	Não	Total	% sim
Total	216	5.343	5.559	3,88
Até 5.000 hab.	42	1.329	1.371	3,06
De 5.001 a 20.000 hab.	91	2.596	2.687	3,38
De 20.001 a 100.000 hab.	58	1.217	1.275	4,54
De 100.001 a 500.000 hab.	13	181	194	6,70
Mais de 500.000 hab.	12	20	32	37,50
Grandes Regiões				
Norte	5	444	449	1,11
Nordeste	41	1.751	1.792	2,28
Sudeste	60	1.608	1.668	3,59
Sul	108	1.079	1.187	9,09
Centro-Oeste	2	461	463	0,43

Fonte: IBGE (2002).

Quanto às Grandes Regiões, a posição de destaque é da região Sul, com maior percentual de consórcios intermunicipais (9,09%), em contraste com a região Centro-Oeste, com o menor percentual, apenas 0,43%. Vaz (1997) destaca a importância dos consórcios intermunicipais (nos diversos setores) para o desenvolvimento regional. E o desenvolvimento

regional tem grande importância na atenuação dos conflitos global-local, além de fortalecer os municípios em conjunto, evitando ações isoladas, sem grande alcance.

As bacias hidrográficas, enquanto unidades físico-territoriais de planejamento, podem se constituir em opção para o estabelecimento de consórcios intermunicipais visando o tratamento e disposição de resíduos sólidos urbanos. Isso porque a poluição não reconhece limites políticos, e os municípios a jusante são os mais prejudicados quando das práticas inadequadas dos municípios a montante.

No Estado de São Paulo, os Consórcios Intermunicipais de Bacias Hidrográficas têm criado programas de gestão conjunta dos resíduos sólidos urbanos, visando incentivar a formação de consórcios intermunicipais, capazes de melhorar a qualidade ambiental e da saúde pública. Porém, não se deve subestimar a importância dos fatores envolvidos, e dentre eles, a busca da superação de conflitos político-partidários se apresenta como um dos mais difíceis e relevantes.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Detalhamento das Etapas de Trabalho

Para a realização da presente pesquisa foram utilizados métodos convencionais, ou seja, revisão bibliográfica, aquisição de dados, entrada e processamento destes, análise dos resultados e redação final do trabalho, detalhados a seguir:

1- Revisão bibliográfica. Utilizou-se como fonte de pesquisa:

- Bibliotecas das principais universidades do País (por meio de seus portais eletrônicos);
- Bases de dados científicos, por meio das quais foram obtidos periódicos (os principais portais utilizados foram *Isi Web of Knowledge*, Periódicos CAPES, e Google Scholar);
- Sites de órgãos ambientais nacionais e internacionais, como: CETESB, Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Ministério do Meio Ambiente, U. S. EPA (agência ambiental dos Estados Unidos), entre outros;
- Órgão de estatística oficial do Brasil (IBGE); e
- Referências bibliográficas dos principais trabalhos sobre o tema.

2- Aquisição de dados. Os dados adquiridos foram:

- Mapa do método de IG – SMA (1999): foi obtida imagem parcial, contida no relatório, em formato pdf;
- Mapa do método de Basílio (2001): imagem gentilmente cedida pelo autor (cd rom), em formato TIF;
- Folha Topográfica IBGE (1974), escala 1:50.000: imagem obtida em formato TIF.

3- Entrada e Processamento dos dados:

- Para a entrada de dados optou-se pelo aplicativo Autodesk Map[®] 2004, pela interface amigável que este possui com o usuário; neste mesmo aplicativo foram feitas as principais edições (vetorização das linhas e polígonos). Contudo, para etapa de processamento das informações optou-se pelo aplicativo ESRI[®] ArcMap versão 9.1 devido à adequação deste aos propósitos da pesquisa. Os arquivos foram exportados do aplicativo Autodesk Map[®] 2004 e importados no aplicativo ESRI[®] ArcMap versão 9.1, no qual foram feitas pequenos ajustes na edição antes do processamento dos dados;
- Para o processamento dos dados, no aplicativo ESRI[®] ArcMap, foi utilizada a ferramenta ArcToolbox – Analysis Tools – Overlay – Intersect. Obteve-se como resultado o mapa com as áreas de interesse do trabalho de IG-SMA (1999), Basílio (2001) e as áreas de intersecção entre os métodos (item 4).

4- Análise do resultado.

5- Redação final do trabalho.

3.2 Área de estudo

3.2.1 Aspectos físicos

A área de estudo abrange, em sua maior parte, o município de Campinas, e uma pequena parte de Sumaré, Hortolândia, Paulínia e Nova Odessa, ocupando a área centro-norte da Folha Campinas 1:50.000 (IBGE, 1974), entre as coordenadas UTM 7.466.076 e 7.482.008 e 270.110 e 293.822 (Figura 15). A referida área corresponde à superposição encontrada para os dois métodos objeto de análise na presente pesquisa: IG-SMA (1999) e Basílio (2001).

Geologicamente, a área de estudo está situada em uma zona de transição entre dois domínios morfotectônicos: o Embasamento Cristalino e a Bacia Sedimentar do Paraná, apresentando litologias características tanto de um domínio quanto de outro, embora a predominância seja das rochas da bacia (Figura 16 unidades 2 e 3).

Segundo Zuquette (1987, apud BASÍLIO, 2001), o Complexo Amparo (pré-cambriano) é constituído por gnaisses como litologia predominante, cortados por corpos graníticos. As rochas são bastante fraturadas sendo comum a presença de matações de 3 a 10 metros de profundidade.

A Formação Itararé foi dividida, pelo autor (op. cit.), nas seguintes faixas (Figura 16):

2.1 – argilitos e siltitos: são encontrados a profundidades variáveis, e apresentam, quando aflorantes, espessura média de 75 m. As rochas são fraturadas e, por vezes, acamadas ou laminadas;

2.2 – arenitos: diversos, fraturados e, por vezes, intensamente cimentados (em alguns locais apresentam características friáveis). Podem alcançar espessuras da ordem de 150 m, a sul e na região central da Folha;

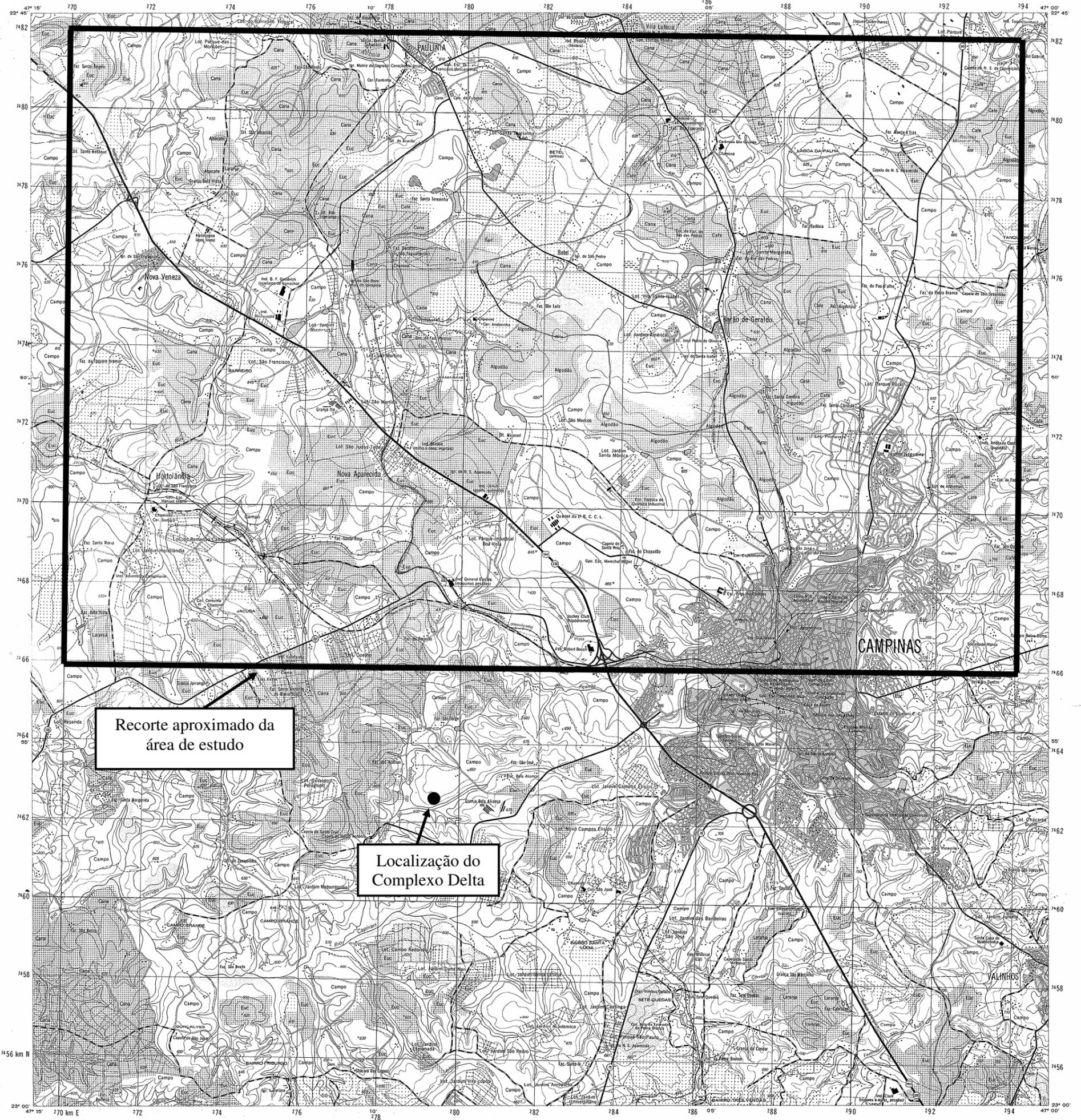
2.3 – siltitos, folhelhos e argilitos: não foi possível delimitar as áreas características de cada tipo litológico. Há o predomínio de finos como rochas aflorantes;

2.4 – intercalação de finos e arenosos de pequena espessura: não foi possível definir a predominância de qualquer dos tipos litológicos;

2.5 – arenitos, siltitos, argilitos e lamitos: de maior extensão aflorante, predominam finos como material aflorante, embora afluam arenitos em alguns locais. Intrusivas básicas cortam esse pacote sedimentar a profundidades variáveis entre 20 e 150 m.

Em relação à rede hidrográfica, a Folha Campinas (IBGE, 1974) abrange parte das bacias dos rios Piracicaba e Atibaia (norte) e Capivari (sul), sendo ambas sub-bacias do rio Tietê. A área de interesse para a presente pesquisa (delimitada na Figura 15) está localizada, em sua maior parte, na bacia do rio Atibaia (a norte), cujos cursos d'água principais são: ribeirão das Anhumas, ribeirão das Pedras, ribeirão do Quilombo, córrego da Lagoa e córrego da Boa Vista. Apenas um pequeno trecho faz parte da bacia do rio Capivari (sul), representado pelo rio do Piçarrão.

Em relação à geomorfologia, a região se encontra em uma zona de transição entre dois domínios morfológicos (Figura 17): Planalto Atlântico (a leste) e Depressão Periférica Paulista (a oeste), predominando a segunda, na Zona do Médio Tietê (IPT, 1981). Nessa zona as formas de relevo são do tipo colinas amplas e médias, com altitudes variando entre 600 e 650 metros (IPT, 1981). Christofolletti (1968b, apud IPT, 1981) afirma que não há uma exata correspondência entre limites geológicos e geomorfológicos, e atribui esse fato à grande espessura do manto de alteração, que cria nos afloramentos cristalinos, condições de comportamento semelhantes aos das rochas sedimentares. O relevo montanhoso do Planalto Atlântico cede lugar às colinas da Depressão Periférica, que não estão diretamente vinculadas às litologias sedimentares; estas avançam por sobre rochas graníticas, metamórficas e migmatíticas do embasamento (IPT, 1981).



Recorte aproximado da
área de estudo

Localização do
Complexo Delta

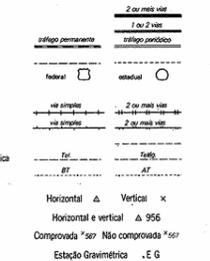
LOCALIDADES

- Mais de 100 000 habitantes
 - De 50 000 a 100 000 habitantes
 - De 20 000 a 50 000 habitantes
 - De 5 000 a 20 000 habitantes
 - Até 5 000 habitantes
 - Vila
 - Povoado
 - Núcleo ou propriedade rural
- LIMITES
- Internacional
 - Interestadual
 - Intermunicipal
 - Áreas especiais

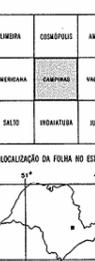
- CIDADE**
CIDADE
CIDADE
CIDADE
CIDADE
Vila
Povoado
Núcleo

ESTRADAS DE RODAGEM

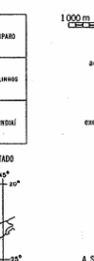
- Auto-estrada
 - Pavimentada
 - Sem pavimentação
 - Caminho Trilha
 - Identificação de rodovias
- ESTRADAS-DE-FERRO
- Bitola normal ou larga
 - Bitola estreita
 - Caminho aéreo (cabó)
 - Linha telefônica e telegráfica
 - Linha de energia elétrica
- Pontos de controle
- Altitudes:
- Horizontal Δ
 - Vertical \times
 - Horizontal e vertical Δ 956
 - Comprovada *sem Não comprovada *sem
 - Estação Gravimétrica \cdot E G



ARTICULAÇÃO DA FOLHA



LOCALIZAÇÃO DA FOLHA NO ESTADO



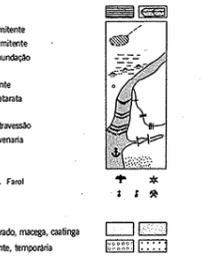
PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR

ESCALA 1:50 000

Equidistância das curvas de nível: 20 metros
Origem do quilômetro: Equador e Meridiano 45° W. Gr.
acrescidas as constantes 10 000 km e 500 km respectivamente.
Datum vertical: marégrafo Imbituba, SC
Datum horizontal: Córrego Alegre, MG
Levantamento estereofotogramétrico topográfico regular
Aerofotogramétrico: 1965; apoio suplementar e reestabelecido
executados em 1968 pelo Departamento de Geodésia e Topografia;
restituição, aerotriangulação e preparo para a impressão
realizados pelo Departamento de Cartografia
Esta folha foi preparada e impressa em decorrência do
Convênio entre o IBGE e o Departamento de
Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo
SUPERINTENDÊNCIA DE CARTOGRAFIA
PRIMEIRA EDIÇÃO - 1974
DIREITOS DE REPRODUÇÃO RESERVADOS
Impressa no Serviço Gráfico do IBGE
A SUPERINTENDÊNCIA DE CARTOGRAFIA agradece a gentileza da
comunicação de falhas ou omissões verificadas nesta Folha

HIDROGRAFIA

- Mangue Salina
 - Curso-d'água intermitente
 - Lago ou lagoa intermitente
 - Terreno sujeito a inundação
 - Beijo ou pântano
 - Poço (igual, Nascente)
 - Saia, cascata ou cataraia
 - Cachoeira
 - Corredeira, ribeirão, travessão
 - Barraçagem: terra, alvenaria
 - Fundeadouro
 - Ania
 - Campo de emergência, Fanel
 - Igreja, Escola, Mira
- VEGETAÇÃO
- Mata, floresta, Cerrado, mato, caatinga
 - Culturas: permanente, temporária



DIVISÃO ADMINISTRATIVA

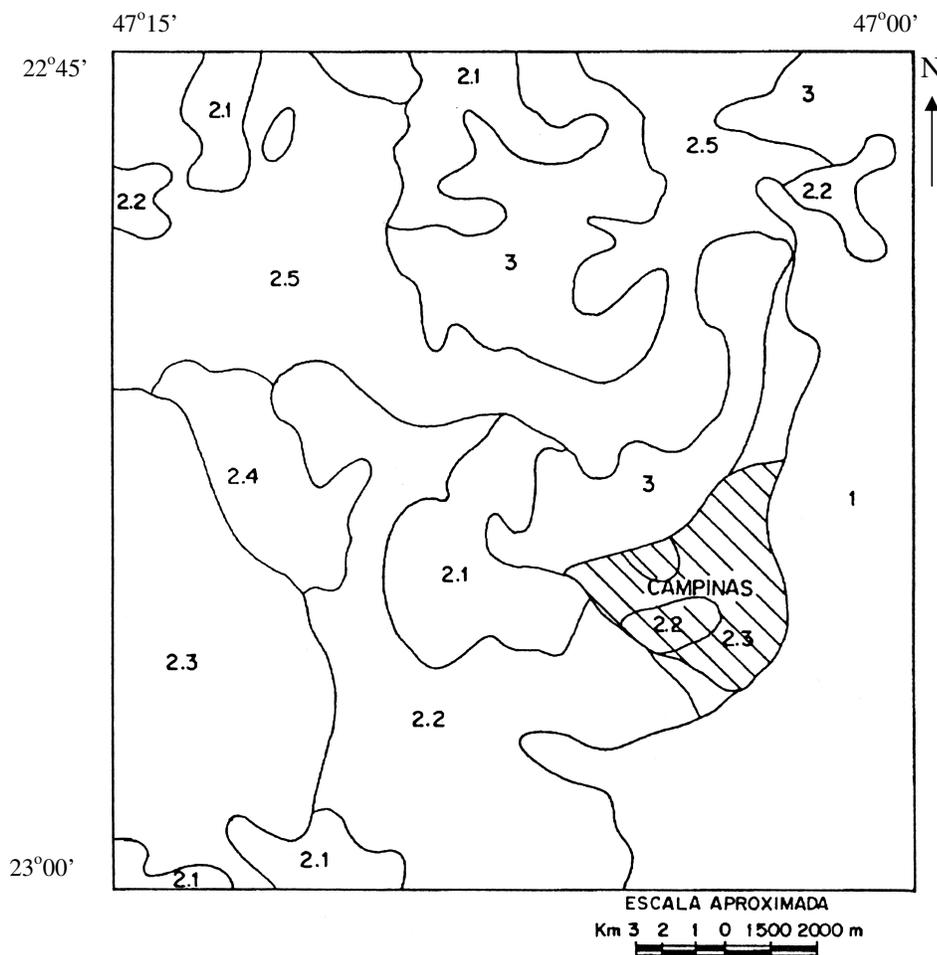


DECLINAÇÃO MAGNÉTICA 1974 E CONVERGÊNCIA MERIDIANA DO CENTRO DA FOLHA



CAMPINAS (SP)

Figura 15 - Localização da área de estudo – Folha Campinas 1:50.000 (IBGE, 1974)



- 1 – Grupo Amparo (embasamento): granitos/gnaisses
- 2 – Formação Itararé
 - 2.1 – argilitos/siltitos
 - 2.2 – arenitos
 - 2.3 – siltitos/folhelhos/argilitos
 - 2.4 – Intercalação de finos e arenosos de pequena espessura
 - 2.5 – arenitos/siltitos/argilitos/lamitos
- 3 – Formação Serra Geral (JK): diabásios

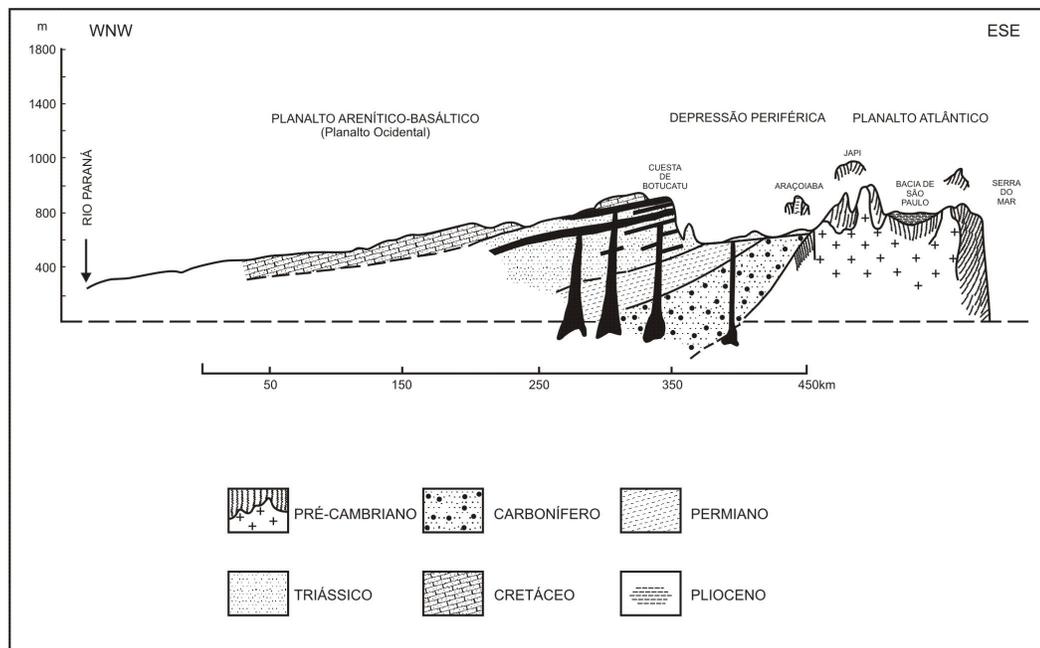
Fonte: Zuquette e Gandolfi (1992, apud BASÍLIO, 2001).

Figura 16 - Substrato rochoso da Folha Campinas (IBGE, 1974) segundo Zuquette e Gandolfi (1992).

Segundo Zuquette (1987, apud Basílio 2001), o clima predominante da área de estudo é do tipo mesotérmico de inverno seco (Cwa na classificação de Köppen), com temperaturas médias mensais entre 17°C e 24°C, e precipitação média anual entre 1100 e 1300 mm. O

período chuvoso se concentra nos meses de outubro a março, e a estação seca entre abril e setembro.

Em relação à vegetação, a cobertura primária era composta por floresta latifoliada e por cerrado (BASÍLIO, 2001). Atualmente, remanescentes da floresta latifoliada são encontrados nas matas galerias, nas margens dos cursos d'água mais preservados e em áreas de conservação ambiental.



Fonte: baseado em IPT (1981).

Figura 17 - Perfil geomorfológico do Estado de São Paulo segundo Ab'Saber (1956).

3.2.2 Aspectos históricos e socioeconômicos

O surgimento de Campinas está associado ao pouso dos Bandeirantes, a caminho das minas goianas, no século XVIII (EMPLASA, 1994). Posteriormente, o “caminho dos goiases” foi aproveitado pela ferrovia Mogiana e ao seu lado foi construída a Rodovia Heitor Pentead (SP-340), que liga Campinas a Mogi Mirim. Quando a mineração goiana entrou em declínio, Campinas, então denominada Freguesia de Nossa Senhora da Conceição das Campinas do Mato Grosso de Jundiá passou a cultivar cana-de-açúcar, por determinação de Portugal.

Segundo o autor (op. cit.), a fase de produção de açúcar corresponde à formação de Campinas, com geração de riquezas que possibilitou a abertura de ruas, construção de casas e igrejas e estabelecimentos comerciais. Em 1797, Campinas emancipa-se de Jundiaí, tornando-se Vila de São Carlos, nome que perdurou até 1842, quando Campinas tornou-se cidade, com a denominação atual. Posterior à fase da cana, iniciou-se o plantio de café (século XIX), em grande parte favorecido pela implantação da Companhia Paulista de Estrada de Ferro, que aproximou a produção ao Porto de Santos, reduzindo as perdas significativas do transporte animal que demorava quase duas semanas no percurso Campinas-Santos (EMPLASA, 1994). Graças ao café, Campinas se tornou a cidade mais rica da Província de São Paulo, na década de 1870 (op. cit.).

No século XX, o cultivo de algodão substituiu o café como principal produto agrícola. Contudo, foi a economia cafeeira (e seu declínio) que lançou as bases para a indústria, devido aos fatores enumerados em EEMPLASA (1994):

- Facilidades de transporte devido à excelente malha viária (ferrovias e rodovias);
- Localização geográfica (centralidade) de Campinas;
- Mercado consumidor formado pelo adensamento populacional;
- Capitais para aplicação;
- Diversificação agrícola (algodão, cana-de-açúcar e citros);
- Estrutura dos serviços e comércio da cidade.

Por volta das décadas de 1930-1940, as atividades urbanas (comércio, indústria e serviços) já passaram a ser mais relevantes do que as atividades rurais. As décadas seguintes (1950-1960) marcam a consolidação industrial do município e região de Campinas (especialmente no eixo da rodovia Anhangüera), conseqüência da interiorização das indústrias (EMPLASA, 1994). A pequena distância da capital, a malha viária existente e a rede urbana instalada foram aspectos essenciais para atração das grandes plantas industriais (Singer, GE, Bosch, entre outras).

A expansão econômica da década de 1970 foi acompanhada por um crescimento demográfico significativo e pela queda da qualidade de vida, com a ampliação da ocupação das periferias pobres e desequipadas (expansão horizontal), devido, principalmente, à especulação imobiliária. Além dos problemas sociais gerados pelo crescimento desordenado, como redução de empregos e desequilíbrio entre infra-estrutura existente e demandada, destaca-se a degradação ambiental, causada especialmente aos recursos hídricos (EMPLASA, 1994).

A expansão horizontal resultou na conurbação de Campinas com os municípios ao longo da via Anhangüera: Valinhos, Vinhedo, Sumaré, Nova Odessa, Santa Bárbara d'Oeste e Americana (EMPLASA, 1994). No final da década de 1970, ocorre o adensamento vertical e a década de 1980 marca o processo de metropolização de Campinas:

A Região de Campinas firma-se como um pólo de indústrias de alta tecnologia, concentrando estabelecimentos na área da informática, micro-eletrônica [sic], telecomunicações e química fina. [...] O processo de metropolização foi materializado pela sofisticação e diversificação crescentes dos serviços que Campinas ofereceu em nível regional – indústrias de ponta, serviços modernos e diversificados, mercado de trabalho qualificado e dinâmico (EMPLASA, 1994, p. 15 – 16).

3.2.3 Aspectos do gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos

Paulella e Scapim (1996) afirmam que foi a partir da década de 1970 que cresceram as dificuldades no gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos em Campinas, devido ao seu aumento em volume e complexidade. O depoimento de um ex-funcionário da limpeza urbana da prefeitura mostra as precárias condições de trabalho, coleta e disposição de resíduos nesse período:

[...]... a gente colocou lixo em mais de 30 lugares na cidade: no Cacique, na Vila Santana, nos Amarais, onde é cemitério hoje. [...] o lixo do mercado a gente levava para Barão Geraldo, para um criador de porcos. Na Fazenda Matto Dentro, onde é hoje o parque ecológico, a gente levava lixo para os chacareiros. O lixo hospitalar ia junto; mas naquela época não tinha plástico, as pessoas punham lixo na lata ou no caixote [...] no barraco onde a gente comia a marmita, ficava tão preto de moscas que a gente não via a parede [...] a gente tava falando e engolia as moscas, sem querer... [...] (PAULELLA e SCAPIM, 1996, p.57)

De 1972 a 1984 funcionou o “Lixão da Pirelli” (nome devido à proximidade com as indústrias Pirelli), cujo objetivo principal era recuperar a topografia do lugar, mas, devido à ausência de controle, além de serem dispostos todos os tipos de resíduos (industriais, hospitalares, domésticos etc.), causando grande poluição ambiental, havia cerca de 200 catadores no local.

De 1984 a 1992 funcionou o Aterro Santa Bárbara, um aterro energético cujo aproveitamento de biogás era feito como combustível para os caminhões coletores. O encerramento precoce do empreendimento deveu-se à pressão popular; pois como naquela época não havia diretrizes de ocupação do solo, houve a expansão urbana e ocupação nas proximidades do aterro. Houve plano de encerramento aprovado pela Cetesb e a recuperação da área, que foi devolvida à sociedade como uma área de lazer, com campo de futebol, *playground*, horta comunitária, plantio de árvores frutíferas e parque ecológico e seqüência de lagoas com peixes ornamentais, também indicadores da qualidade ambiental (PAULELLA e SCAPIM, 1996).

Devido ao fechamento precoce do Aterro Santa Bárbara, houve, em 1992, a necessidade da implantação emergencial do Aterro Delta A (parte do Complexo Delta, em funcionamento até os dias atuais – Figuras 15 e 18). Para a escolha do local onde seria instalado o novo aterro foram consideradas as características de uso e ocupação do solo, de infra-estrutura e características ambientais (op. cit.), sendo possivelmente o primeiro local de disposição escolhido com base em critérios técnicos.

Entre os requisitos avaliados para a escolha do local estão: uso da área, sistema viário, cone de segurança do aeroporto de Viracopos, existência de captação de água para abastecimento público, áreas de preservação ambiental, microbacias e bacias hidrográficas, situação da vegetação, condições hidrogeológicas e topográficas (PAULELLA e SCAPIM, 1996).

Nessa primeira avaliação, constatou-se que apenas 30 % do município (8 áreas) apresentaram potencial para abrigar o Complexo Delta. Em uma segunda etapa da avaliação, foram incorporadas novas variáveis: densidade populacional da região, vida útil do projeto, distância do centro gerador de lixo e acessibilidade viária, obras de infra e superestrutura necessárias à adequação da área e custos de desapropriação (PAULELLA e SCAPIM, 1996).

Segundo os referidos autores (op. cit.) os locais escolhidos, embora apresentassem restrições, foram sítio São Jorge e sítio São Jorge II. As restrições se referiam à necessidade de execução de drenagem de fundo de vale e proteção de nascentes.

O projeto do aterro contou com a elaboração de EIA / RIMA, e acompanhou a elaboração do Plano Diretor do município de Campinas. Iniciaram-se, nesse período, os esforços para o desenvolvimento de um gerenciamento integrado dos resíduos sólidos, por meio de sistemas de tratamento, visando diminuir os resíduos destinados à disposição final no aterro.



Fonte: Google Earth (2007).

Figura 18 - Imagem de satélite indicando a localização do Complexo Delta.

3.3 Métodos selecionados para análise comparativa

A escolha dos métodos para análise-comparativa na presente pesquisa se justifica pelo fato de ambas terem sido aplicadas parcialmente na mesma área geográfica, que é a Folha Campinas (SP), 1:50.000, IBGE (1974), o que permite comparação direta dos resultados. O limite traçado para a área de superposição é definido pelas coordenadas UTM 7.466.076 e 7.482.008 e 270.110 e 293.822 (Figura 15), abrangendo a parte centro norte da Folha Campinas. Os métodos selecionados foram:

- *Seleção de Áreas para Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos*: desenvolvida por IG-SMA (1999), na região metropolitana de Campinas (abrangendo 18 municípios),

em escala regional (1:100.000). Foi utilizada uma imagem do mapa final contida no relatório (digital e impresso), com a classificação das áreas; foram digitalizadas as áreas de interesse, consideradas adequadas para disposição de resíduos;

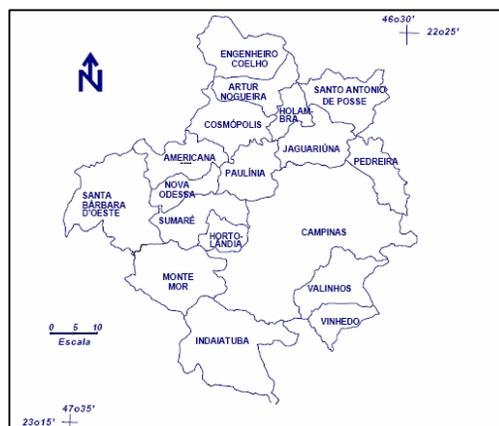
- *Proposta de Procedimentos para Seleção Preliminar de Áreas para Aterros Sanitários a partir de Cartas Geotécnicas*: desenvolvida por Basílio (2001), é uma aplicação do método desenvolvido por Zuquette (1993), na Folha Campinas, em escala 1:50.000, que abrange 6 municípios. O autor gentilmente cedeu todos os arquivos da pesquisa (dissertação). O mapa final, de interesse para a presente pesquisa é uma imagem em formato TIF. Devido às classes serem apresentadas no mapa somente por seus polígonos numerados, foi necessário realçar as classes de interesse, com cores, para possibilitar a visualização instantânea da informação.

3.3.1 Seleção de Áreas para Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos – IG-SMA (1999)

O objetivo principal da *Seleção de Áreas para Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos* é o desenvolvimento de método e de critérios específicos para a seleção de áreas potenciais para tratamento e disposição de resíduos sólidos domésticos e industriais (IG-SMA, 1999).

O desenvolvimento do método parte do princípio de que uma correta locação implica em menor risco de degradação ambiental e à saúde pública. Para isso, foram considerados fatores que possam interferir tanto nas condições de segurança do empreendimento quanto na manutenção da qualidade ambiental da região circunvizinha (op. cit.). A área de aplicação do método é a região metropolitana de Campinas (SP), a qual possui dezoito municípios (Figura 19).

Para a realização da presente pesquisa, optou-se por realizar um recorte espacial na área abrangida pelas coordenadas UTM 7.466.076 e 7.482.008 e 270.110 e 293.822 da Folha Campinas 1:50.000 (IBGE, 1974), a qual foi definida como área exata de superposição com o método desenvolvido por Basílio (2001). Portanto, na presente apresentação do método de IG-SMA (1999) são enfatizados somente os aspectos (e Unidades Básicas de Compartimentação – UBCs) referentes à área de interesse para presente pesquisa, e não de toda região metropolitana.



Fonte: IG-SMA (1999).

Figura 19 - Região metropolitana de Campinas (SP).

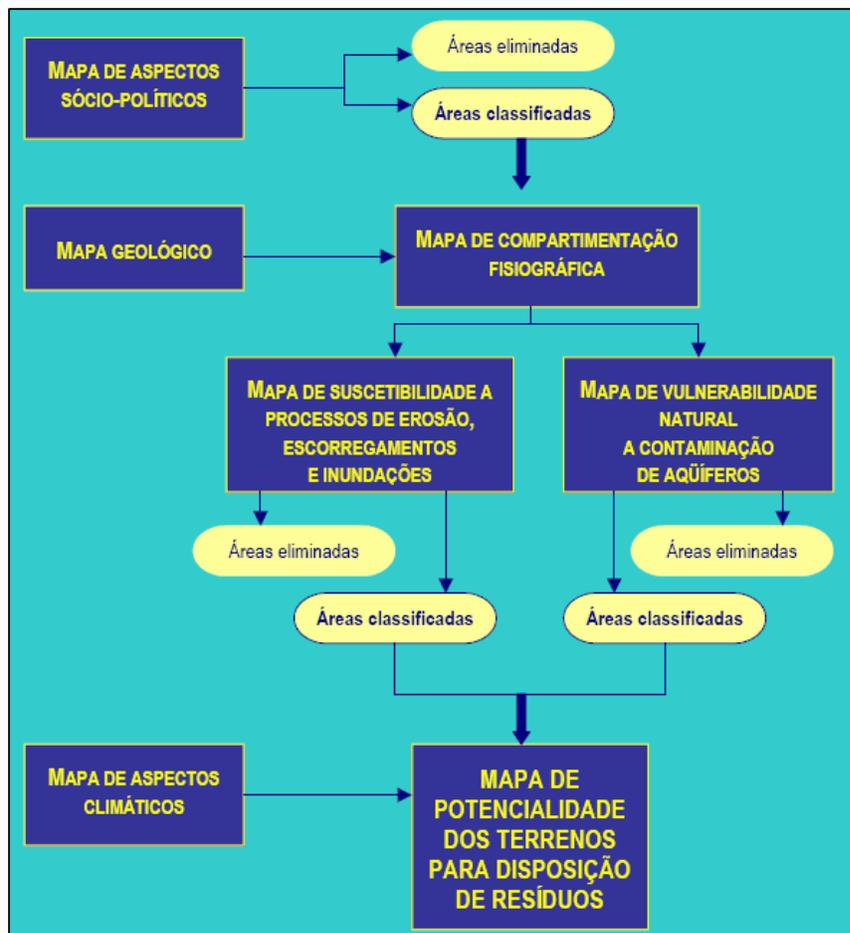
O método define quatro aspectos considerados essenciais para a escala de trabalho (regional 1:100.000): aspectos sócio-políticos, fisiográficos, hidrogeológicos, e climáticos. Foram produzidos mapas referentes a cada aspecto analisado, a partir da interpretação de imagens de satélite TM-Landsat, associados a um banco de dados em um sistema de informação geográfica (MapInfo). Além da interpretação das imagens, houve compilação de trabalhos existentes e checagem de campo.

Adotou-se estratégia metodológica geral na qual é apresentada a articulação dos critérios (Figura 20). Inicialmente a estratégia se baseia nos aspectos sócio-políticos, que indicam as áreas que, independentemente dos demais aspectos, não podem ser utilizadas para a disposição de resíduos. As áreas que não apresentarem restrições nesse nível são analisadas do ponto de vista fisiográfico, da suscetibilidade a processos geodinâmicos, da vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos e dos aspectos climáticos. Observa-se o uso do modelo booleano na estratégia metodológica, pois há somente duas opções: áreas eliminadas e áreas classificadas. As áreas eliminadas nos aspectos sócio-políticos não são objeto das investigações seguintes como forma de minimizar trabalhos e custos.

Para a elaboração do mapa de aspectos sócio-políticos, foram definidas por IG-SMA (1999), sete categorias de uso e ocupação do solo (Figura 21), sendo estabelecidas as classes: área eliminada, área sem restrição e área com restrição (classificadas).

Em relação às unidades de conservação, foram encontrados seis tipos diferentes em toda a região metropolitana: Estação Ecológica, Parque Ecológico, Parque Estadual, Área de Proteção Ambiental, Área de Relevante Interesse Ecológico, Área Natural Tombada. Dos seis tipos encontrados, apenas a Área Natural Tombada Bosque dos Jequitibás e a Área de

Proteção Ambiental Piracicaba-Juqueri Mirim (área II) foram classificadas como “com restrições ao uso do solo”; as demais foram eliminadas.



Fonte: IG-SMA (1999).

Figura 20 - Estratégia metodológica de IG-SMA (1999).

Especificamente em relação à área de interesse da presente pesquisa¹¹, observa-se a presença de todas as formas de uso e ocupação do solo contidas na tabela, com a exceção da Grandes equipamentos 2. Destaca-se a presença da Área de Relevante Interesse Ecológico da Mata de Santa Genebra e da Área Natural Tombada Fazenda Santa Genebra; ambas possuem alto grau de restrição em relação ao uso do solo, e, por conseguinte, são eliminadas para a finalidade de disposição final de resíduos. Observa-se ainda uma área relativamente extensa

¹¹ Abrangida pelas coordenadas 7.466.076 e 7.482.008 e 270.110 e 293.822 da Folha Campinas 1:50.000 – IBGE (1974) – definida para superposição com o método de Basílio (2001).

de uso rural, sendo esta a única categoria que não possui restrições do ponto de vista sócio-político para a finalidade dos estudos.

Categoria	Caracterização	Classificação e critério de seleção
Urbano 1	Área com predomínio de uso urbano caracterizado pela alta densidade de edificações em estágio consolidado.	Área eliminada por ser de uso urbano já instalado.
Urbano 2	Área com predomínio de uso urbano caracterizado pela alta densidade de edificações em estágio de consolidação.	Área eliminada por ser de uso urbano já instalado.
Urbano 3	Área com predomínio de uso urbano caracterizado pela baixa densidade de edificações e alto índice de arborização.	Área eliminada por ser de uso urbano já instalado.
Grandes equipamentos 1	Área com predomínio de grandes equipamentos (indústrias, galpões, armazéns, estufas, aeroporto) de forma concentrada.	Área eliminada por ser de uso industrial já instalado.
Grandes equipamentos 2	Área de ocorrência de galpões, armazéns, estufas, de forma esparsa.	Área classificada como “ com restrição ”, devido ocorrência de pequenas propriedades de uso agro-industrial.
Vazio urbano	Área não edificada cujo entorno é ocupado por áreas urbanas ou grandes equipamentos.	Área eliminada por ser de expansão urbano-industrial eminente.
Rural	Área predominantemente rural, ocupada por agricultura, pastagem, reflorestamento e campo antrópico. As edificações ocorrem de forma pontual e esparsa.	Área sem restrições , por haver possibilidade de reorganização do uso do solo.

Fonte: IG-SMA (1999).

Figura 21 – Quadro de categorias de uso e ocupação do solo definidas por IG-SMA (1999).

O mapa de compartimentação fisiográfica foi elaborado com base no mapa geológico 1:100.000, que também auxiliou na caracterização da área de estudo. No mapa geológico, optou-se por usar a variação litológica à litoestratigráfica, uma vez que para a finalidade dos estudos, a primeira reflete o comportamento mecânico das unidades por meio das características texturais, estruturais, variação granulométrica das rochas entre outros (IG-SMA, 1999). As litologias da região de estudo foram divididas em dois grandes domínios morfotectônicos:

- Embasamento Cristalino: predominam na parte leste da área e são constituídas por rochas de idade pré-cambriana, como variações de granitos, gnaisses, xistos e quartzitos;
- Bacia Sedimentar do Paraná: correspondem a cerca de 75% da área, sendo constituídas por rochas sedimentares de idade cenozóica (arenitos finos, siltitos e lamitos), diques e

sills de diabásio (de idade jurássica) e sedimentos pertencentes ao Subgrupo Itararé (arenitos médios a grossos, arenitos finos e siltitos laminados, ritmitos e lamitos) (IG-SMA, 1999).

Na área de interesse da presente pesquisa predominam intrusivas básicas (diabásios) e uma reduzida parcela das litologias relativas ao Embasamento Cristalino, na porção leste (IG-SMA, 1999). As litologias presentes estão distribuídas em:

- Mesoproterozóico / Paleoproterozóico: gnaisses bandados e biotita gnaisses equigranulares (a leste);
- Neoproterozóico: hornblenda-biotita granitos porfiríticos (a leste);
- Neoproterozóico / Cambro-Ordoviciano: protomilonitos, milonitos e ultramilonitos (sudeste);
- Permo-Carbonífero: arenitos médios a grossos; arenitos muito finos, silto-argilosos; ritmitos areno-silto-argilosos, lamitos arenosos, arenitos lamíticos com grânulos;
- Juro-Cretácico: diabásios;
- Terciário: siltitos laminados, siltitos areno-argilosos; lamitos arenosos, arenitos finos;
- Quaternário: Aluvião - associado à planície de inundação do rio Atibaia e do ribeirão Jacuba ou Hortolândia.

O mapa de compartimentação fisiográfica em Unidades Básicas de Compartimentação – UBCs apresenta unidades que refletem associações específicas de rochas, solos (materiais inconsolidados) e relevo, voltadas ao objetivo do trabalho: disposição final de resíduos sólidos (IG-SMA, 1999). Procurou-se identificar as potencialidades e fragilidades do terreno em relação aos riscos de contaminação dos solos e águas e à segurança do empreendimento pela ocorrência de processos de erosão, escorregamentos e inundações. Ressalta-se que apenas as áreas não-eliminadas no aspecto sócio-político (Grandes equipamentos 2 e área Rural) são objetos dessa investigação.

Para os objetivos do estudo, os níveis hierárquicos definidos para a compartimentação fisiográfica apresentam as seguintes características morfo-ambientais (BROLLO et al., 1998 apud IG-SMA, 1999):

1^o nível: corresponde a diferenças fisiográficas de natureza morfo-tectônica em nível regional: Bacia (B) e Cristalino (C);

2^o nível: associa-se a variações tectono-estruturais e/ou litoestruturais, sendo agrupadas em: rochas granitoides; ortognaisses e migmatitos; gnaisses bandados; rochas miloníticas;

associações litológicas predominantemente arenosas; afloramentos de diabásios; associações litológicas predominantemente pelíticas (lamitos, argilitos), incluindo siltitos, ritmitos e ocorrência de arenitos finos a muito finos; aluviões;

3º nível: considera as diferenças de sistemas e/ou formas de relevo: no domínio da bacia, os principais compartimentos identificados foram colinas amplas e médias e colinas pequenas; no domínio do embasamento cristalino, os relevos mais representativos incluem morrotes, morros, montanhas e escarpas;

4º nível: contempla as variações relativas a associações específicas de rochas (litologias e estruturas), solos (perfis de materiais inconsolidados) e formas de relevo.

Especificamente em relação à área de interesse da presente pesquisa observam-se alguns compartimentos relativos ao Embasamento Cristalino, localizados a leste e o predomínio de compartimentos fisiográficos relativos à Bacia Sedimentar, descritos na Figura 22.

Primeiramente, as Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs) foram avaliadas em relação à suscetibilidade a erosão, escorregamentos e inundações por meio dos atributos: perfil de solo, espessura de solo, nível d'água, estruturas geológicas e tipo de relevo. A avaliação foi direcionada ao tipo de processo associado a cada domínio morfotectônico: na bacia sedimentar foi avaliada suscetibilidade à erosão; no embasamento cristalino, a suscetibilidade à erosão e a escorregamentos; e nos depósitos aluvionares (independentemente do domínio), a suscetibilidade à inundação (Figura 23).

Observa-se que, no domínio do Embasamento, as áreas estão todas classificadas, devido à baixa suscetibilidade à erosão e a escorregamentos, e estão na zona de transição com a Bacia. No domínio da Bacia, apresentam-se de forma bem mesclada os três níveis de suscetibilidade à erosão (alta, média e baixa). Em relação à suscetibilidade à inundação, as duas áreas representadas pelos depósitos aluvionares apresentam alta suscetibilidade, sendo eliminadas para a finalidade do estudo.

Na seqüência, foram realizados estudos de vulnerabilidade natural dos aquíferos à contaminação, para indicar a maior ou menor suscetibilidade dos aquíferos em serem afetados por uma carga poluidora (IG-SMA / SP et al., 1997 apud IG-SMA, 1999), conceito inverso ao de assimilação de um corpo d'água receptor.

Para análise da vulnerabilidade natural dos aquíferos à contaminação, foi feita uma hierarquização dos atributos para os diferentes domínios morfotectônicos, utilizando-se de

EMBASAMENTO CRISTALINO								
UBC	Nº de ocorrências na área de interesse	Litologia	Tipo de relevo	Perfil de solo	Espessura de solo (m)	Nível d'água (m)	Estruturas	Morfometria
COA1	2	Biotita gnaisses equigranulares	Colinas amplas	*	*	*	*	*
CNC2	1	Gnaisses bandados	Colinas e morrotes	*	*	*	*	*
CRA1	2	Hornblenda-biotita granitos porfiríticos	Colinas amplas	*	*	*	*	Médio a baixo grau de dissecação
CRA2	1	Hornblenda-biotita granitos porfiríticos	Colinas amplas	*	*	*	*	Baixo grau de dissecação
BACIA SEDIMENTAR								
BAA1	3	Arenitos médios a grossos do Subgrupo Itararé	Colinas amplas	Areno-argiloso variando para arenito-siltoso em profundidade	1 a 5	*	*	*
BAA2	3	Arenitos médios a grossos do Subgrupo Itararé	Colinas amplas	Argilo-arenoso	1 a 5	*	*	*
BAC1	1	Arenitos médios a grossos do Subgrupo Itararé	Colinas e morrotes	*	*	*	*	*
BBP2	1	Ritmitos areno-silto argilosos, lamitos arenosos e arenitos lamíticos com grânulos do Subgrupo Itararé	Colinas pequenas	Arenito-siltoso passando a areno-argiloso em profundidade; compactidade média a baixa	1 a 5	*	*	Alta densidade de drenagem
BBP3	9	Ritmitos areno-silto argilosos, lamitos arenosos e arenitos lamíticos com grânulos do Subgrupo Itararé	Colinas pequenas	SS – arenoso; SR – argilo-arenoso	SS > 3,5	*	*	Ocupa cabeceiras de drenagem e anfiteatros
BBP4	2	Ritmitos areno-silto argilosos, lamitos arenosos e arenitos lamíticos com grânulos do Subgrupo Itararé	Colinas pequenas	Areno-siltoso	> 1,0	*	*	*
BBC1	1	Ritmitos areno-silto argilosos, lamitos arenosos e arenitos lamíticos com grânulos do Subgrupo Itararé	Colinas e morrotes	*	*	*	*	*
BBM1	4	Ritmitos areno-silto argilosos, lamitos arenosos e arenitos lamíticos com grânulos do Subgrupo Itararé	Colinas médias	Argilo-arenosos; estrutura em blocos	1 a 5	*	*	*
BBM2	1	Ritmitos areno-silto argilosos, lamitos arenosos e arenitos lamíticos com grânulos do Subgrupo Itararé	Colinas médias	SS – arenoso, estrutura em blocos, medianamente compacto; SR – argilo-arenoso, estrutura em blocos, mole; SP – argilo-siltoso; rijo	1 a 5	*	*	*
BBM3	2	Ritmitos areno-silto argilosos, lamitos arenosos e arenitos lamíticos com grânulos do Subgrupo Itararé	Colinas médias	Areno-argiloso; estrutura em blocos; medianamente compactado	> 2	*	*	*
BBM4	1	Ritmitos areno-silto argilosos, lamitos arenosos e arenitos lamíticos com grânulos do Subgrupo Itararé	Colinas médias	*	*	*	*	*
BCP1	2	Arenitos muito finos, silto-argilosos laminados do Subgrupo Itararé	Colinas pequenas	SR – areno-argiloso	*	*	*	*
BFA1	2	Arenitos pelíticos, lamitos arenosos e arenitos mal selecionados de idade cenozóica	Colinas amplas	Areno-argiloso; fofo a pouco compacto; granular	> 2	*	*	*
BGA1	1	Siltitos laminados, siltitos areno-argilosos de idade cenozóica	Colinas amplas	Areno-argiloso passando a areno-siltoso e argilo-arenoso em profundidade	> 2	*	*	*
BGA2	4	Siltitos laminados, siltitos areno-argilosos de idade cenozóica	Colinas amplas	Argilo-arenoso; pouco compacto; apresenta colúvio em superfície	1 a 5	*	*	*
BUF	2	Depósitos aluvionares	Planícies fluviais	Pacotes métricos de areias finas silticas e argilosas, micáceas, intercaladas por lentes locais de areias médias	0 a 1	*	*	Ocorrem meandros abandonados em geral secos e de zonas com crescimento de várias barras de pontal; amplitude de 2 a 5 m
BDA1	9	Diabásio	Colinas amplas	Argilo-arenoso e argiloso	*	*	*	*
BDA2	2	Diabásio	Colinas amplas	Argilo-arenoso	*	*	*	*
BDA3	2	Diabásio	Colinas amplas	*	*	*	*	*

Fonte: Modificado de IG-SMA (1999).

Figura 22 - Compartimentos fisiográficos que ocorrem na área de estudo da presente pesquisa – IG-SMA (1999).

BACIA SEDIMENTAR DO PARANÁ					
UBC	Suscetibilidade à erosão	Classificação	Vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos	Classificação	POTENCIALIDADE PARA RECEBIMENTO DE RESÍDUOS
BAA1	Alta	Eliminada	Alta	Eliminada	Eliminada pela suscetibilidade à erosão
BAC1	Alta	Eliminada	Alta	Eliminada	Eliminada pela suscetibilidade à erosão
BBM4	Alta	Eliminada	Média	Classificada	Eliminada pela suscetibilidade à erosão
BBP2	Alta	Eliminada	Média	Classificada	Eliminada pela suscetibilidade à erosão
BBP3	Alta	Eliminada	Média	Classificada	Eliminada pela suscetibilidade à erosão
BBP4	Alta	Eliminada	Média	Classificada	Eliminada pela suscetibilidade à erosão
BAA2	Média	Classificada	Alta	Eliminada	Selecionada
BBC1	Média	Classificada	Alta a média	Classificada	Selecionada
BBM1	Média	Classificada	Média	Classificada	Selecionada
BBM2	Média	Classificada	Média	Classificada	Selecionada
BBM3	Média	Classificada	Média	Classificada	Selecionada
BCP1	Média	Classificada	Alta a média	Classificada	Selecionada
BFA1	Média	Classificada	Alta a média	Classificada	Selecionada
BDA1	Baixa	Classificada	Baixa	Classificada	Selecionada
BDA2	Baixa	Classificada	Baixa	Classificada	Selecionada
BDA3	Baixa	Classificada	Baixa	Classificada	Selecionada
BGA1	Baixa	Classificada	Alta a média	Classificada	Selecionada
BGA2	Baixa	Classificada	Alta a média	Classificada	Selecionada
EMBASAMENTO CRISTALINO					
UBC	Suscetibilidade à erosão e a escorregamentos	Classificação	Vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos	Classificação	POTENCIALIDADE PARA RECEBIMENTO DE RESÍDUOS
COA1	Baixa	Classificada	-	Não definida	Selecionada
CNC2	Baixa	Classificada	-	Não definida	Selecionada
CRA1	Baixa	Classificada	-	Não definida	Selecionada
CRA2	Baixa	Classificada	-	Não definida	Selecionada
BACIA SEDIMENTAR E EMBASAMENTO CRISTALINO					
UBC	Suscetibilidade à inundação	Classificação	Vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos	Classificação	POTENCIALIDADE PARA RECEBIMENTO DE RESÍDUOS
BUF	Alta	Eliminada	Muito alta	Eliminada	Eliminada pela suscetibilidade a movimentos de massa e vulnerabilidade do aquífero à contaminação

Fonte: Baseado em IG-SMA (1999).

Figura 23 - Avaliação das UBCs de interesse para a presente pesquisa em relação potencialidade para recebimento de resíduos sólidos – IG-SMA (1999).

uma árvore lógica para análise dos atributos. Para o domínio da bacia foram consideradas as seguintes características, por grau de importância: nível d'água, espessura de solo, tipo de solo e litologia. Para o domínio do embasamento embora tenham sido hierarquizados os atributos por grau de importância (morfometria do terreno (declividade e amplitude), espessura de solo, tipo de solo e estruturas geológicas (fraturas principalmente) não foi realizada a análise, uma vez que pesquisas para definição de vulnerabilidade nesse domínio ainda estavam em andamento no Instituto Geológico.

Desta forma, todas as UBCs do embasamento foram classificadas como “não definida” em relação à vulnerabilidade natural à contaminação dos aquíferos. A classificação das UBCs quanto à vulnerabilidade dos aquíferos está apresentada na Figura 23.

O mapa de aspectos climáticos é o último a ser considerado antes da classificação final das áreas para disposição de resíduos, embora não tenha caráter classificatório / eliminatório, e sim de hierarquização das áreas para estudos posteriores. Os três elementos analisados foram: precipitação, vento e inversões térmicas. Tais elementos estão respectivamente relacionados à ocorrência dos processos geodinâmicos (erosão, escorregamento, inundação), ao transporte de odores e impedimento à dispersão de poluentes.

Na área de interesse para a presente pesquisa, há predominância de áreas com precipitação anual máxima entre 2200 e 2600 mm, seguido pelas áreas entre 2000 e 2200 mm/ano. Apenas uma pequena área, a sudeste apresenta precipitação anual máxima acima de 2600 mm.

Em resumo, para elaboração do mapa de potencialidade dos terrenos para disposição de resíduos, as classes consideradas eliminadas estão especificadas na Figura 24. A classificação das UBCs em relação à potencialidade para recebimento de resíduos sólidos está apresentada nas Figuras 23 e 25. A Figura 25 apresenta parte do mapa final do método de IG-SMA (1999).

Aspecto	Classes eliminadas para disposição de resíduos
Mapa de aspectos sócio-políticos	Urbano 1, Urbano 2, Urbano 3, Grandes Equipamentos 1, Vazio Urbano, Áreas de Conservação Ambiental
Mapa de suscetibilidade à erosão (Bacia Sedimentar do Paraná)	Alta
Mapa de suscetibilidade à erosão e a escorregamentos (Embasamento Cristalino)	Muito alta e alta
Mapa de suscetibilidade à inundação (em ambos os domínios, nos depósitos aluvionares)	Alta e média
Mapa de vulnerabilidade natural dos aquíferos à contaminação	Muito alta vulnerabilidade; Alta vulnerabilidade

Fonte: Baseado em IG-SMA (1999).

Figura 24 – Quadro de classes eliminadas para disposição de resíduos – IG-SMA (1999).

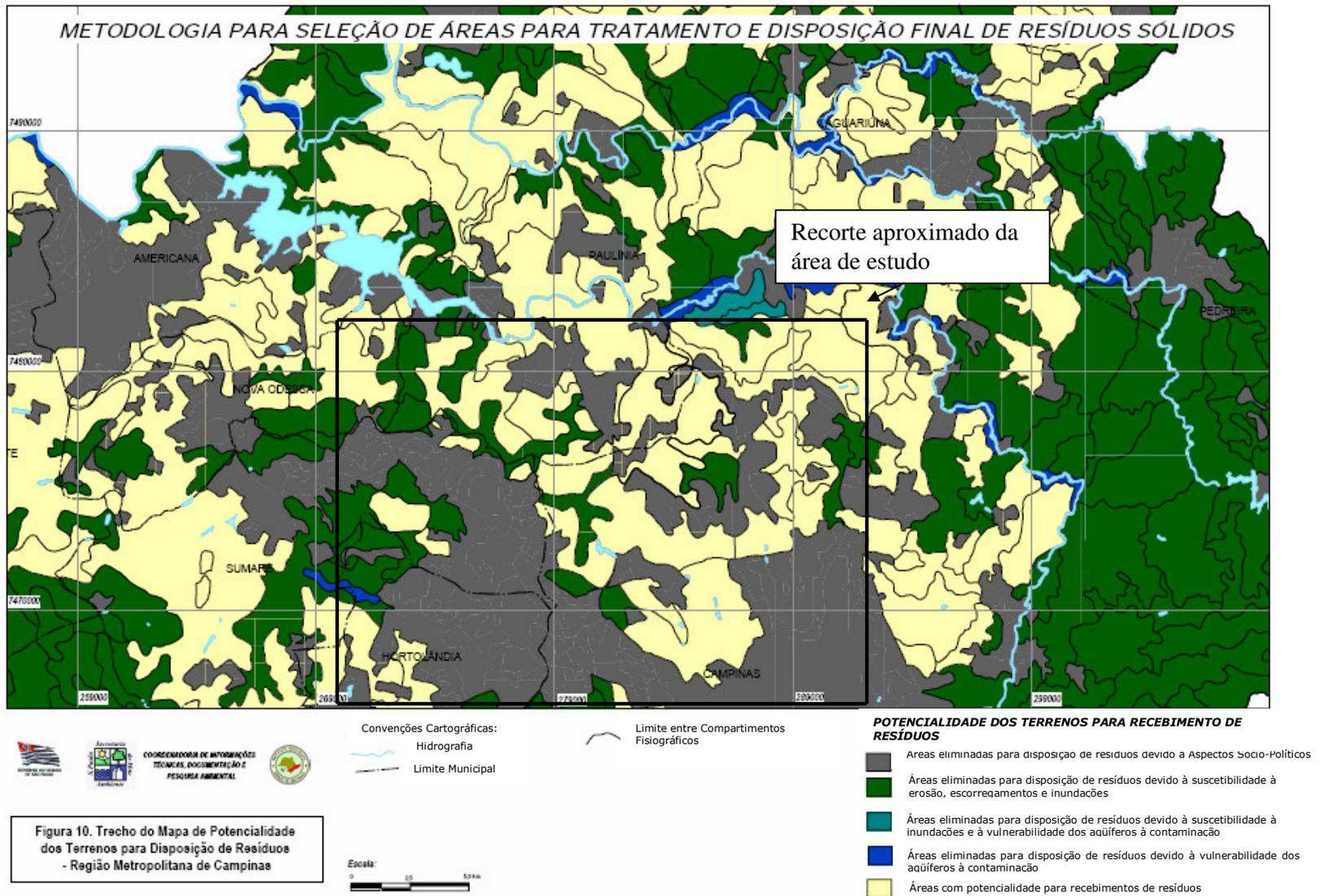


Figura 25 - Mapa de potencialidade de recebimento de resíduos sólidos de IG-SMA (1999) / Fonte: IG-SMA (1999).

3.3.2 Proposta de Procedimentos para Seleção Preliminar de Áreas para Aterros Sanitários a partir de Cartas Geotécnicas – Basílio (2001)

O objetivo da *Proposta de Procedimentos para Seleção Preliminar de Áreas para Aterros Sanitários a partir de Cartas Geotécnicas* é verificar a possibilidade de uso de documentos produzidos nos mapeamentos geotécnicos para a produção de uma carta de caracterização preliminar de áreas para instalação de aterros sanitários, utilizando-se o método de Zuquette (1993) e Zuquette et al. (1994) (BASÍLIO, 2001). O método parte do princípio da realidade brasileira, composta por vastas áreas com necessidade de caracterização a baixos custos. Apenas os aspectos referentes ao meio físico são considerados (Figura 26), restando para análises posteriores (em escalas maiores), os demais aspectos relativos ao meio biótico e socioeconômico, incluindo legislação.

A área de aplicação do método é a abrangida pela Folha Campinas 1:50.000 (IBGE, 1974), e a escolha deve-se à existência de trabalhos de caracterização, dos quais provêm a maior parte dos dados necessários à análise; há situações em que os dados não disponibilizados diretamente podem ser inferidos por meio de outros atributos (BASÍLIO, 2001). A superposição de mapas é realizada manualmente e posteriormente digitalizada no software AutoDesk Map[®].

O método utiliza o modelo booleano, pois identifica basicamente locais com restrição e sem restrição para disposição de resíduos; as áreas sem restrição são objeto de investigações posteriores para se definir o grau de adequabilidade que apresentam. As áreas com restrição não significam necessariamente “proibidas” para a finalidade, porém, necessitam de maiores investimentos visando à proteção ambiental e / ou do empreendimento para torná-las aptas ao recebimento de resíduos.

A estratégia metodológica utilizada por Basílio (2001) consiste na combinação de cartas derivadas, de cartas analíticas para se obter a carta orientativa voltada à seleção de áreas para aterros sanitários (Figura 27). As cartas 1, 2, 3, 4 e 5 representam o agrupamento inicial dos atributos em:

- Agrupamento 1: formado pelo atributo nível d'água em profundidade menor que 5 m, que confere a esse atributo restrição para a finalidade dos estudos. Também são analisadas as zonas alagáveis e inundáveis, gerando a Carta 1; foram encontradas 4 unidades (Figura 28), apenas a unidade 4 não apresenta restrições para instalação de aterros (e tem maior expressão em área).

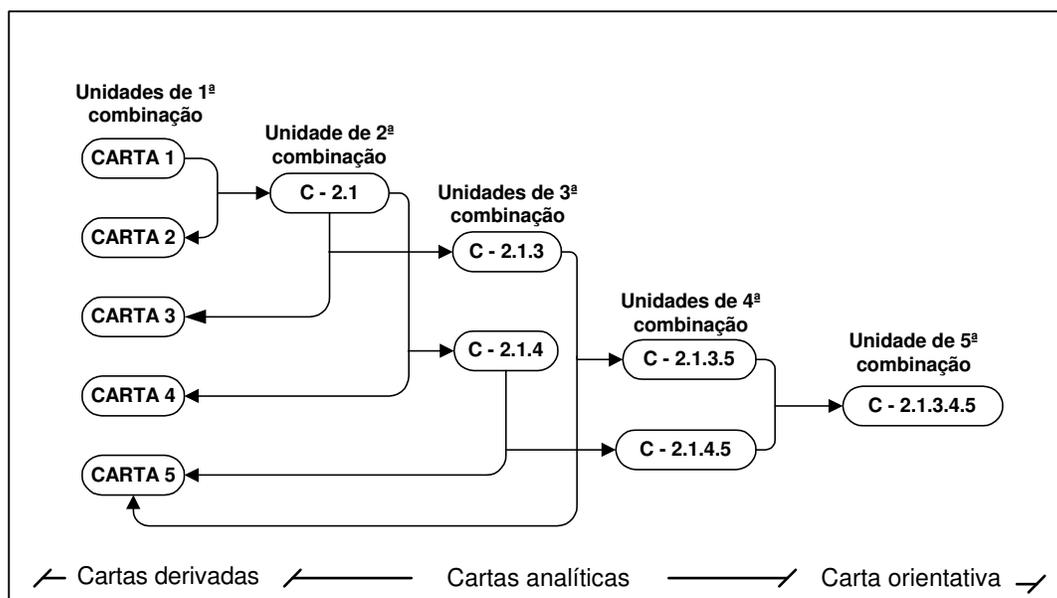
Componentes	Classes de atributo	Aterro Sanitário			
		Favorável	Moderado	Severo	Restritivo
SUBSTRATO ROCHOSO	1- Litologia			Arenito Aqüífero	Calcário Aqüífero
	1- Profundidade (m)	> 15	5 - 10	< 5	< 3
	1, 2- Descontinuidades			Muito fraturado	Muito fraturado
	1- Textura	Argilo-arenoso	Areno-argiloso	Arenoso	Muito arenoso
MATERIAIS INCONSOLIDADOS	1- Variação no perfil de alteração	Heterogêneo	Heterogêneo	Homogêneo	Homogêneo
	1- Mineralogia	Mineral argiloso do tipo 2 x 1	Mineral argiloso do tipo 1 x 1	Minerais inertes	Minerais inertes
	2- Presença de matacões	Poucos e pequenos	Poucos e pequenos	Muitos e pequenos	Muitos e grandes
	1- pH/ ΔpH	> 4/negativo	> 4/ negativo	> 5/ negativo	< 4/ positivo
	1- Salinidade (mhos/cm)	< 16	< 16	> 16	Alta
	1- C.T.C. (meq/ 100g)	> 15	5 - 15	< 5	< 2
	1, 2- Condições de compressibilidade	Não	Não	Ocorre na camada superficial	Ocorre na camada superficial
	2- Colapsividade	Não ocorre	Na camada superficial (2m)	Na camada superficial (4m)	Na camada superficial (6m)
	2- Erodibilidade	Baixa	Baixa	Alta	Muito alta
	1- Fator de retardamento	Alto	Intermediário	Baixo	Baixo
	1, 2- Características de compactação	Boa	Boa	Inadequada	Inadequada
ÁGUA	1- Profundidade do N.A. (m)	> 10	> 6	< 4	< 2
	1- Direção do fluxo subterrâneo	1	1	2 ou 3	> 3
	1- Escoamento superficial	Laminar	Laminar (baixo)	Laminar (alto)	Concentrado
	1- Condutividade hidráulica (cm/s)	10 ⁻⁴	10 ⁻³ – 10 ⁻⁴	> 10 ⁻³	Muito alto (> 10 ⁻²)
	1- Áreas de recarga	Não	Não	Não	Ocorre
	1- Distâncias de poços e fontes (m)	> 500	400	> 300	< 300
	1- Drenabilidade	Boa	Boa	Inadequada	Inadequada
PROCESSOS	1- Erosão	Não	Não	Intenso potencial	Alto potencial
	1- Movimentos de massa	Não	Não	Potencial	Ocorre

continua

Componentes	Classes de atributos	Aterro sanitário			
		Favorável	Moderado	Severo	Restritivo
RELEVO	1- Declividade	2 – 5	> 5 e <2	> 15	> 20
	2- Landform	Vertentes suaves		Vertentes íngremes	Vertentes muito íngremes
				Zonas de inundação	Zonas de inundação
	2- Divisor de águas superficiais	(> 200m) Distante (200m)	(> 200m) Distante (100m)	Próximo	Coincidente
	1- Zonas alagadas	Não	Não	Não	Ocorre
1- Zonas sujeitas à inundação	Não	Não	Tempo de retorno > 20 anos	Tempo de retorno < 20 anos	
CLIMÁTICOS	2- Evapotranspiração	Alta	Intermediária	Baixa	Muito baixa
	1- Direção dos ventos				Da área urbana
	1,2- Pluviosidade			> 2000 (mm)/ano	> 3000 (mm)/ano

Fonte: Baseado em Zuquette et al. (1994).

Figura 26 – Quadro de atributos e classes para carta para disposição de resíduos segundo Zuquette et al. (1994).



Fonte: Basílio (2001).

Figura 27 - Fluxograma da estratégia metodológica de Basílio (2001).

Unidade	Profundidade do NA	Alagadiço	Inundável
1	< 5 m	Não	Não
2	< 5 m	Não	Sim
3	< 5 m	Sim	Não
4	> 5 m	Não	Não

Fonte: Basílio (2001).

Figura 28 – Quadro de unidades e atributos da Carta 1.

- Agrupamento 2: formado pelos atributos profundidade do substrato rochoso e da zona saturada, gerando a Carta 2; apenas as unidades 6, 7 e 8 foram consideradas sem restrição (Figura 29).

Unidade	Profundidade do substrato rochoso	Profundidade do NA
1	< 2 m	< 5 m
2	2 – 5 m	< 5 m
3	5 – 10 m	< 5 m
4	10 – 20 m	< 5 m
5	> 20 m	< 5 m
6	5 – 10 m	5 – 10 m
7	10 – 20 m	> 10 m
8	> 20 m	> 10 m

Fonte: Basílio (2001).

Figura 29 – Quadro de unidades e atributos da Carta 2.

- Agrupamento 3: formado pelos atributos relacionados ao material inconsolidado: mineralogia, textura e variação do perfil, condutividade hidráulica, colapsividade, erodibilidade, compressibilidade, grau de compactação e expansibilidade. A partir da reclassificação do mapa de Zuquette (1993), foi obtida a Carta 3 (Figura 30); apenas as unidades 4, 5, 6 e 9 foram consideradas sem restrição.
- Agrupamento 4: formado pelos atributos relacionados às rochas: tipos litológicos, existência de blocos de rocha no material inconsolidado, grau de fraturamento, mineralogia das rochas, condutividade hidráulica no maciço e grau de solubilidade e expansibilidade dos minerais presentes nas rochas.

Unid.	Material inconsolidado	Características dos Atributos								
		Mineralogia	Textura	Varição do perfil	*K (cm/s)	**CTC	Erodibilidade	Compressibilidade	Compactação	Expansibilidade
1	Tipos 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 ou 9 com espessuras < 2 m	Função do material inconsolidado	Função do material inconsolidado	Homogêneo	Função do material inconsolidado	Função do material inconsolidado	Função do material inconsolidado	Função do material inconsolidado	Função do material inconsolidado	Função do material inconsolidado
2	Aluvionares	Depende da fração predominante	Areia/argila	Heterogêneo			Baixa	Alta		
	Hidromórficos			Heterogêneo			Baixa			
3	Materiais em depressão	Quartzo, argila 1:1 (Caulinita)	Argilo-areno-siltosa	Heterogêneo			Baixa		Baixa	
4	Residuais do diabásio e mistos do diabásio + finos da Fm. Itararé	Caulinita, Gibsita, óxidos e hidróxidos de Fe, Ilmenita, Magnetita e Quartzo	Argila com areia fina (5 a 10 m), passando a silte com areia fina	Heterogêneo	10^{-3} a 10^{-2} até 3,5 m e 10^{-5} abaixo desta profundidade	6 a 7,2 meq/100g T.F.S.A.	Baixa	Alta (colapsíveis até 3,5 m) a Média	Média	Não ocorre
5	Residuais do complexo cristalino	Quartzo, Feldspatos, Micas, acessórios	Argilosa a siltosa com areia fina	Heterogêneo	10^{-5}	5,6 a 4,7 meq/100g T.F.S.A.	Alta	Média a Baixa	Média	Ocorre
6	Residuais e derivados do siltito/argilito	Argilas 1:1 (Caulinita), óxidos e Quartzo	Predomínio da fração silte seguido de argila e areia	Heterogêneo (homogêneo se argila predomina)	$< 10^{-5}$	6,3 a 7,7 meq/100g T.F.S.A.	Alta (residuais) baixa (derivados)	Baixa	Média a alta	Ocorre
7	Materiais arenosos I (recobre materiais impermeáveis)	Quartzo e Caulinita	Areia (70 a 80%) argila < 15%	Homogêneo	$> 10^{-3}$	5 meq/100g T.F.S.A.	Média	Baixa	Alta	Não ocorre
8	Materiais arenosos II (recobre arenitos)	Quartzo, Caulinita e opacos	Areia (50 a 70%) Argila > 15%	Homogêneo	$> 10^{-3}$	5 meq/100g T.F.S.A.	Alta	Baixa	Alta	Não ocorre
9	Materiais intermediários	Caulinita, Gibsita, Ilita, Quartzo e opacos	Silte/ argila (50 a 60%) areia/ silte	Homogêneo	$< 10^{-5}$	3 e 8 meq/100g T.F.S.A.	Baixa	Baixa	Média	Ocorre

Fonte: Basílio (2001) / * K = Condutividade Hidráulica / ** CTC = Capacidade de Troca Catiônica.

Figura 30 – Quadro de unidades e atributos da Carta 3.

Da mesma forma que no agrupamento 3, houve a necessidade de reclassificação de mapa existente para a geração da Carta 4 (Figura 31), e foram consideradas sem restrição as unidades 1, 2, 4 – 9,12 - 15; as unidades com restrição são as que apresentam arenitos (3, 10, 11, 16);

- Agrupamento 5: formado pelos atributos relacionados à declividade: declividade, tipo de escoamento superficial dominante, condições de drenabilidade, direções e fluxos da água subterrânea, condições das áreas de recarga (volume recarregado), distância entre os limites das bacias hidrográficas, evapotranspiração e direção preferencial dos ventos. A carta de declividade foi o mapa-base para a geração da Carta 5. Foram definidas três classes de declividade, sendo que as classes 2 e 3 são restritivas:
 - Unidade 1 – entre 2 e 10 %;
 - Unidade 2 – maiores que 20 %;
 - Unidade 3 – todas as áreas com declividades menores do que 2 % e entre 10 % a 20 % (foram agrupadas para não aumentar mais o número de classes).

Após o agrupamento dos atributos, iniciou-se a combinação (superposição) das cartas com base nos critérios definidos pelo método de Zuquette (1993) e Zuquette et al. (1994) descritos na Figura 26, segundo a estratégia metodológica (Figura 27).

A Figura 32 sintetiza as cartas combinadas (por superposição), as resultantes e as unidades sem restrições apresentadas nas cartas resultantes em cada nível. O produto final é a carta 2.1.3.4.5 (Figura 33), que apresenta as unidades do meio físico para instalação de aterros sanitários. Destaca-se que a ausência de cores dificulta a visualização instantânea das informações contidas no mapa.

Unidade	Litologia predominante	Blocos de rocha	Descontinuidades	*K do maciço (cm/s)	Expansibilidade
1	Gnaisses	Ocorre	Muito fraturado	$> 10^{-4}$	Não apresenta
2	Diabásios	Ocorre	Muito fraturado	$> 10^{-4}$	Apresenta
3	Arenitos	Não ocorre	Fraturado	$> 10^{-4}$	Não apresenta
4	Siltitos e argilitos	Não ocorre	Pouco fraturado	$< 10^{-7}$	Apresenta
5	Arenitos, siltitos, argilitos e lamitos	Não ocorre	Pouco fraturado	10^{-4} a 10^{-7}	Apresenta
6	Gnaisses a profundidades menores do que 2 m	Não ocorre	Muito fraturado	$> 10^{-4}$	Não apresenta
7	Gnaisses a profundidades entre 2 e 5 m	Ocorre	Muito fraturado	$> 10^{-4}$	Não apresenta
8	Diabásios a profundidades menores do que 2 m	Ocorre	Muito fraturado	$> 10^{-4}$	Apresenta
9	Diabásios a profundidades entre 2 e 5 m	Ocorre	Muito fraturado	$> 10^{-4}$	Apresenta
10	Arenitos a profundidades menores do que 2 m	Não ocorre	Fraturado	$> 10^{-4}$	Não apresenta
11	Arenitos a profundidades entre 2 e 5 m	Não ocorre	Fraturado	$> 10^{-4}$	Não apresenta
12	Siltitos e argilitos a profundidades menores do que 2 m	Não ocorre	Pouco fraturado	$< 10^{-7}$	Apresenta
13	Siltitos e argilitos a profundidades entre 2 e 5 m	Não ocorre	Pouco fraturado	$< 10^{-7}$	Apresenta
14	Arenitos/siltitos/argilitos/lamitos a profundidades menores do que 2 m	Não ocorre	Pouco fraturado	10^{-4} a 10^{-7}	Apresenta
15	Arenitos/siltitos/argilitos/lamitos a profundidades entre 2 e 5 m	Não ocorre	Pouco fraturado	10^{-4} a 10^{-7}	Apresenta
16	Arenitos cortados por intrusivas básicas	Ocorre	Pouco fraturado	$> 10^{-4}$	Apresenta

Fonte: Basílio (2001) / *K = Condutividade Hidráulica

Figura 31 – Quadro de unidades e atributos da Carta 4

Cartas Combinadas	Carta resultante	Unidades sem restrições para implantação de aterros sanitários
1 + 2	2.1	7.4 e 8.4
2.1+ 3	2.1.3	7.4.4, 7.4.5, 7.4.6, 7.4.9, 8.4.5 e 8.4.9
2.1 + 4	2.1.4	7.4.1, 7.4.2, 7.4.4, 7.4.5, 8.4.1 e 8.4.5
2.1.3 + 5	2.1.3.5	7.4.4.1, 7.4.5.1, 7.4.6.1, 7.4.7.1, 8.4.5.1, 8.4.9.1
2.1.4 + 5	2.1.4.5	7.4.1.1, 7.4.2.1, 7.4.4.1, 7.4.5.1, 7.4.6.1, 7.4.7.1, 7.4.8.1, 7.4.9.1, 7.4.12.1, 7.4.13.1, 7.4.14.1, 7.4.15.1, 8.4.1.1, 8.4.2.1, 8.4.4.1, 8.4.5.1, 8.4.6.1, 8.4.7.1, 8.4.8.1, 8.4.9.1, 8.4.12.1, 8.4.13.1, 8.4.14.1 e 8.4.15.1
2.1.3.5 + 2.1.4.5	2.1.3.4.5	744/2.1, 744/5.1, 745/1.1, 745/5.1, 746/4.6 ¹² , 746/5.1, 746/13.1, 749/2.1, 749/4.1, 749/5.1, 845/1.1 e 849/5.1

Fonte: baseado em Basílio (2001).

Figura 32 – Quadro com a ordem de combinação das cartas, cartas resultantes e unidades sem restrições – Basílio (2001)

¹² Possivelmente trata-se de equívoco do autor, pois não há classe de declividade que justificasse o nº 6 ao final, uma vez que somente as unidades de declividade são somente 1, 2 e 3, e se essa unidade não apresenta restrição, é porque possivelmente sua grafia correta seja 746 / 4.1, com declividade entre 2 a 10 %. Devido a essa dúvida, a área foi excluída da análise.

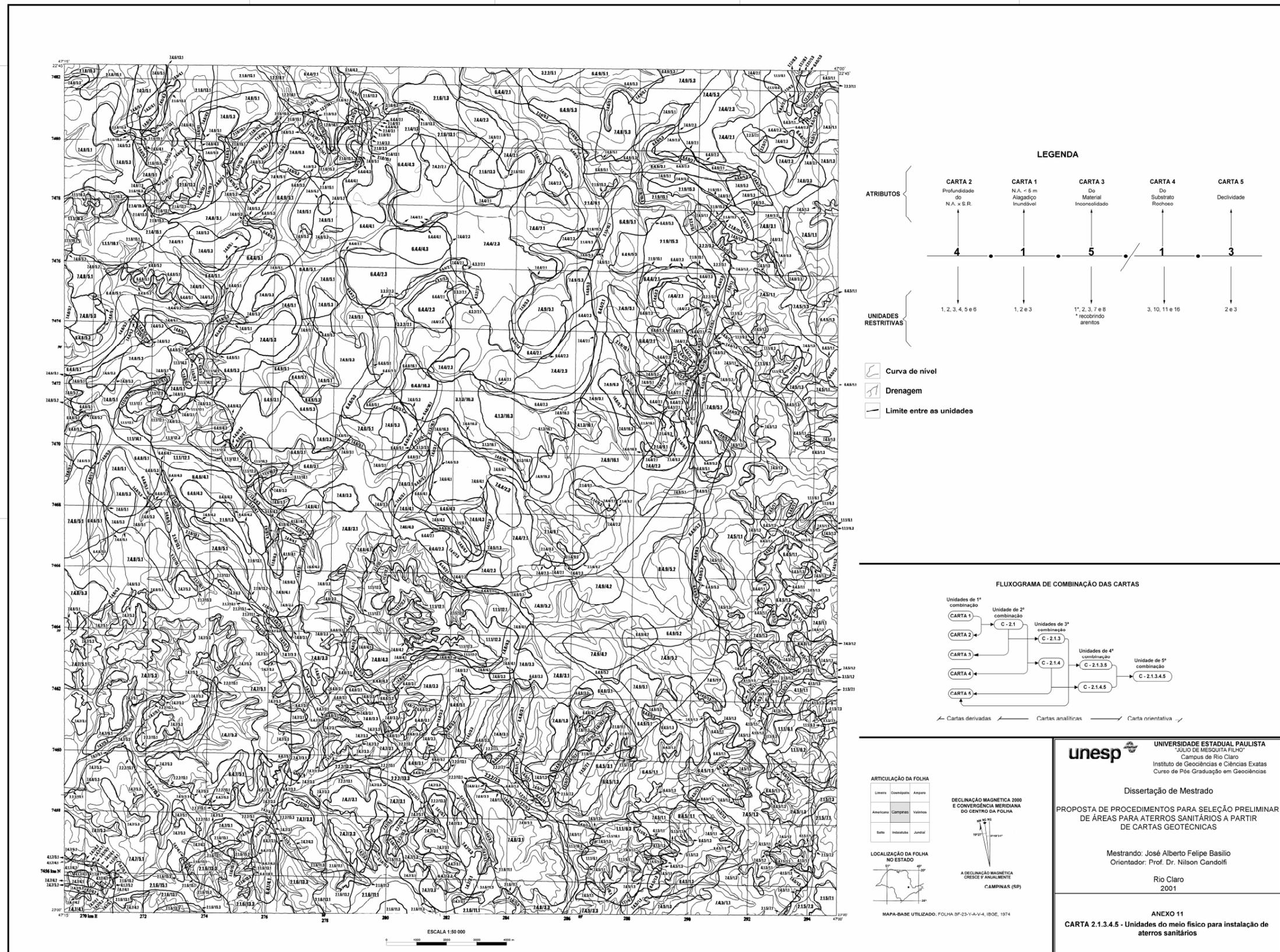


Figura 33 - Carta 2.1.3.4.5 (orientativa) de Basílio (2001).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análise comparativa entre IG-SMA (1999) e Basílio (2001)

A comparação entre os métodos de IG-SMA (1999) e Basílio (2001) permite apontar semelhanças e diferenças entre ambos (Figuras 34 - 37). Embora os métodos tenham sido desenvolvidos em caráter regional, o tamanho da área e das escalas de trabalho se diferem (1:50.000 e 1:100.000), justificando, em parte, a diferença nos resultados obtidos em uma mesma área (Figura 37). Isso porque IG-SMA (1999) trabalhou com uma área extensa (Região Metropolitana de Campinas) em uma escala menor (1:100.000), enquanto Basílio (2001) trabalhou com uma área menor (Folha Campinas – IBGE, 1974) com uma escala maior (1:50.000), o que conferiu naturalmente ao segundo maior nível de detalhe. Para tornar a comparação possível foi realizado um recorte da área comum aos dois métodos (parte centro-norte da Folha Campinas – IBGE, 1974, escala 1:50.000), como mencionado (item 3.3), com a apresentação dos resultados da presente pesquisa em escala 1:100.000 (Figura 37).

A escala é, sem dúvida, um dos fatores que justificam a diferença de resultados, gerando poucas áreas comuns em ambos os métodos estudados (Figura 37 - área hachurada). Contudo, ao analisar os aspectos e atributos de cada método verifica-se que a maior diferença entre ambos deve-se ao caráter mais restritivo¹³ do método de Basílio (2001) (Figura 36). Ao adaptar o método de Zuquette (1993) e Zuquette et al. (1994) para as características locais, Basílio (2001) considerou os seguintes atributos como restritivos:

¹³ Somente em relação ao meio físico, pois ao contrário de IG-SMA (1999), não considera os aspectos relativos ao meio biótico e socioeconômico, que seriam objeto de exclusão de mais áreas.

- Profundidade do substrato rochoso e do nível d'água menores que 10 m;
- Áreas alagáveis e inundáveis;
- Materiais inconsolidados (solo) dos tipos: arenosos, aluvionares, hidromórficos e de qualquer tipo com espessura menor que 2 m;
- Litologia do substrato rochoso composta somente por arenitos;
- Declividades maiores que 20 %, menores que 2 % e de 10 a 20 %.

Item	IG-SMA (1999)	Basílio (2001)
1. Área de aplicação	Região metropolitana de Campinas/SP – 18 municípios.	Folha Campinas (IBGE, 1974) – parte de 6 municípios.
2. Método	Desenvolvido e aplicado.	Baseado em Zuquette (1993) e Zuquette et al. (1994) - com adequações.
3. Escala	Regional 1:100.000	Regional 1:50.000
4. Área em comum (delimitada na presente pesquisa)	Coordenadas UTM 7.466.076 e 7.482.008 e 270.110 e 293.822	
5. Tipo de Abordagem	Fisiográfica: UBCs (Unidades Básicas de Compartimentação), análise integrada da paisagem.	Paramétrica: Agrupamento de atributos de cada aspecto considerado (separadamente).
6. Técnica de análise espacial	Lógica booleana: áreas com potencialidade para recebimento de resíduos e áreas eliminadas (indicando por qual aspecto). Cruzamento de dados automatizado (uso de SIG).	Lógica booleana: áreas sem restrição para disposição de resíduos e áreas com restrição para disposição de resíduos. Cruzamento de dados manual (e posterior digitalização).
7. Aspectos considerados	Sócio-políticos; fisiográficos; hidrogeológicos e climáticos.	Meio físico (aspectos geotécnicos).
8. Estratégia metodológica	Estabelece critérios de classificação/ eliminação para cada aspecto considerado. As áreas eliminadas por aspecto sócio-político não são objeto das investigações seguintes. As áreas classificadas nos aspectos sócio-políticos seguem à seguinte seqüência de investigação: aspectos fisiográficos, hidrogeológicos e climáticos.	Parte da combinação de cartas derivadas e analíticas para se chegar à carta orientativa. Durante o processo de combinação são indicadas as áreas com restrição e sem restrição. Porém as áreas com restrição não são excluídas das combinações seguintes.
9. Características das Áreas selecionadas	Aspectos: Sócio-políticos: grandes equipamentos 2; Rural; Fisiográficos: <u>Suscetibilidade à erosão (bacia):</u> média e baixa; <u>Suscetibilidade erosão/ escorregamento (cristalino):</u> média e baixa; <u>Suscetibilidade à inundaçãõ:</u> média e baixa. Hidrogeológicos: <u>Vulnerabilidade natural à contaminação dos aquíferos:</u> alta a média, média e baixa. Método mais qualitativo.	Substrato rochoso: 10-20 m ou > 20 m; Nível d'água: > 10 m; Inundações e alagamentos: não ocorrem; Materiais inconsolidados: residuais do diabásio/ mistos do diabásio + finos da Fm. Itararé; residuais e derivados do siltito/ argilito; materiais intermediários; Litologia: diabásios; arenitos, siltitos, argilitos e lamitos; gnaisses; K do maciço: entre 10^{-4} a 10^{-7} ; Declividade: de 2 a 10%. Método mais quantitativo.

Figura 34 - Quadro comparativo entre IG-SMA (1999) e Basílio (2001).

Esses foram os principais fatores de restrição de áreas na carta orientativa (final) de Basílio (2001). O referido método, baseado apenas nas características do meio físico, mostrou-se mais restritivo para a definição de áreas para disposição de resíduos, que resultou na indicação de poucas áreas, se comparado ao método de IG-SMA (1999) (Figura 35).

O método de IG-SMA (1999) é menos restritivo nos critérios de classificação e eliminação das Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs), em relação à suscetibilidade a processos de erosão, escorregamento (somente no Embasamento Cristalino), inundação e vulnerabilidade natural dos aquíferos à contaminação. O referido método eliminou as UBCs que apresentaram:

- Alta suscetibilidade à erosão, escorregamento e inundação; e,
- Alta vulnerabilidade natural à contaminação dos aquíferos.

As UBCs que apresentaram médias e baixas suscetibilidades à erosão, escorregamentos e inundação e, alta a média, média, baixa e não definida vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos foram classificadas para a disposição final de resíduos sólidos. Esse fato justifica o maior número de áreas selecionadas para disposição de resíduos pelo método de IG-SMA (1999) (Figuras 35 e 37). Observa-se ainda que o método não realizou os estudos de vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos no domínio do Embasamento Cristalino, e mesmo assim, as áreas foram selecionadas.

Se por um lado, o método de IG-SMA (1999) é menos restritivo nos critérios de classificação, por outro, abrange aspectos dos meios biótico e socioeconômico, economizando trabalho para as etapas posteriores (de investigações semi-regional e local). Esse fator é uma vantagem ao método de Basílio (2001), que considera apenas aspectos do meio físico, deixando para as etapas de investigações seguintes os aspectos dos meios biótico e socioeconômico, que certamente excluirão áreas consideradas aptas do ponto de vista do meio físico, mas que se localizam em áreas urbanas ou de conservação ambiental, por exemplo.

Em ambos os métodos analisados, não há hierarquização das áreas com maior ou menor potencial para disposição de resíduos: todas as áreas selecionadas são colocadas num mesmo nível, o que indica o uso da lógica booleana. Apesar dos métodos contribuírem com a sistematização de aspectos, atributos e critérios, não trazem avanços significativos em relação às técnicas de análise espacial. Nesse sentido, Araújo (1999) trouxe uma contribuição interessante por meio do uso da análise multicriterial ponderada no município de Americana

(SP), com a qual definiu níveis de adequabilidade para locais de disposição de resíduos sólidos.

A grande vantagem da análise multicriterial ponderada sobre a lógica booleana está no fato de a primeira se aproximar mais da realidade, possibilitando mudanças gradativas entre um estágio e outro, como ocorre na paisagem, em geral. A lógica booleana é dualista, e estabelece apenas duas respostas possíveis: áreas adequadas ou inadequadas para disposição de resíduos, não havendo níveis intermediários entre uma e outra.

Nos últimos, anos tem-se observado a tendência de incorporar nos métodos de seleção de áreas para disposição de resíduos, um uso maior de quantificação (geomatemática e geoestatística), visando aproximar os modelos da realidade e embutir nas análises os riscos associados às decisões, com a criação de diferentes cenários para escolha.

Visando verificar um exemplo prático dos métodos, a presente pesquisa verificou a localização do atual aterro sanitário do município de Campinas – SP (Complexo Delta, implantado em 1992) em relação às áreas indicadas para disposição final pelos dois métodos analisados. Cabe observar que o Complexo Delta está fora da área delimitada pela presente pesquisa (motivo pelo qual não foi inserido nas figuras 35 a 37), mas dentro das áreas abrangidas pelos métodos.

Destaca-se que o Complexo Delta não está localizado entre as áreas indicadas como favoráveis para disposição de resíduos pelos métodos estudados. A área do referido aterro foi eliminada por IG-SMA (1999) por apresentar suscetibilidade a movimentos de massa; e por Basílio (2001), por apresentar materiais inconsolidados (solo) arenosos (recobrimo arenitos).

O fato do aterro se localizar em área excluída pelos métodos não significa que a área seja “proibida” para disposição de resíduos. Mesmo porque, como mencionado, os métodos servem para orientar a escolha de locais mais favoráveis. Além disso, os dois analisados não apresentam níveis intermediários de hierarquização entre áreas favoráveis e não-favoráveis, obrigando o enquadramento a uma ou outra classe. A real dificuldade de encontrar áreas favoráveis segundo todos os aspectos (físico, biótico e socioeconômico), pode implicar a necessidade de priorização de um aspecto em detrimento dos outros, no momento da escolha.

Conforme mencionado (item 3.2.3), a área escolhida para o Complexo Delta possuía restrições, sendo necessária a execução de drenagem de fundo de vale e proteção de nascentes. Isso indica que nem sempre as áreas totalmente favoráveis são as compatíveis com o projeto, e que com investimentos adicionais, é possível compensar a ausência de condições ambientais (naturalmente) favoráveis, priorizando sempre a proteção ao ambiente e à saúde pública.

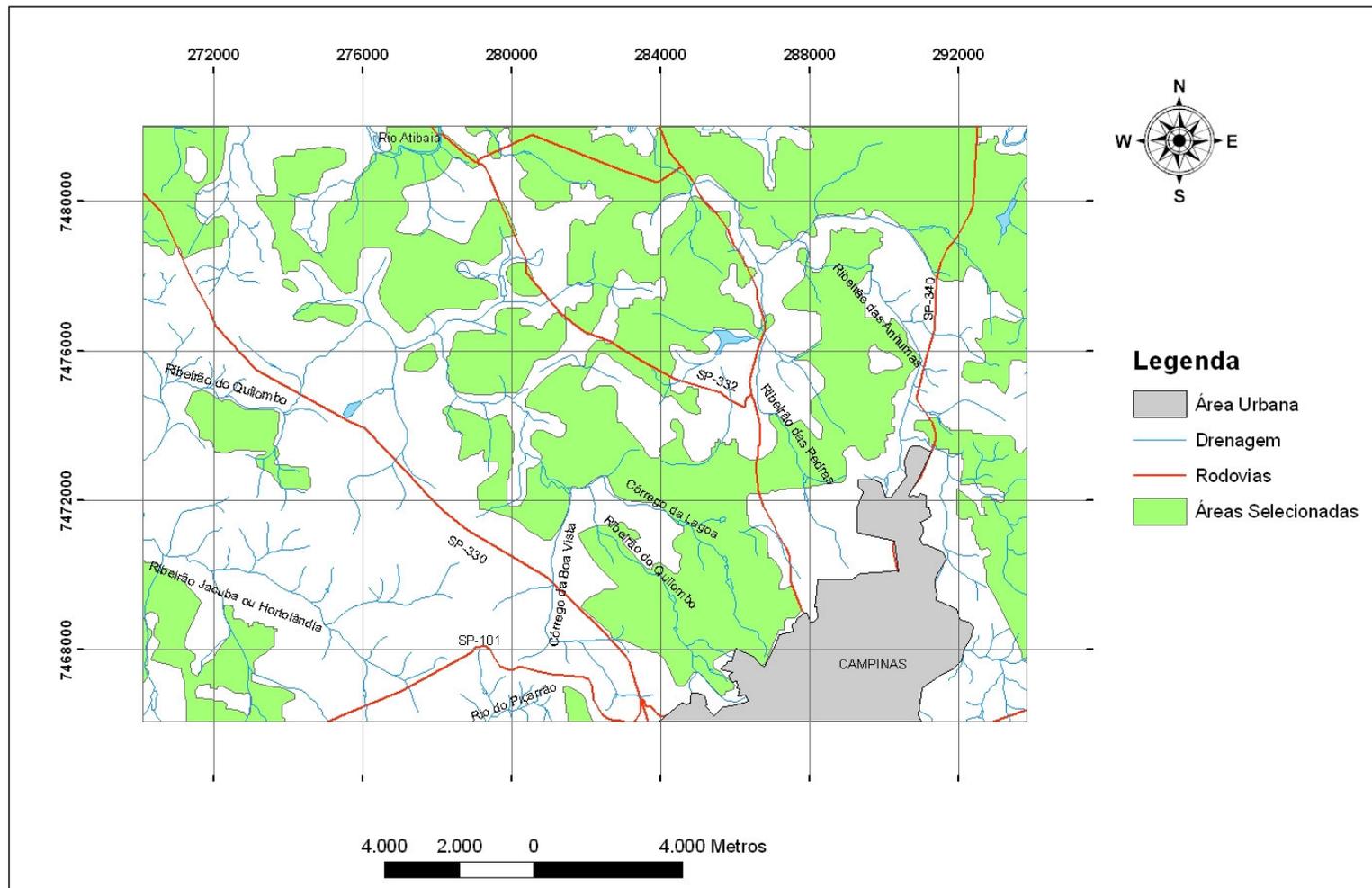


Figura 35 – Mapa das áreas potenciais para disposição de resíduos segundo método de IG-SMA (1999).

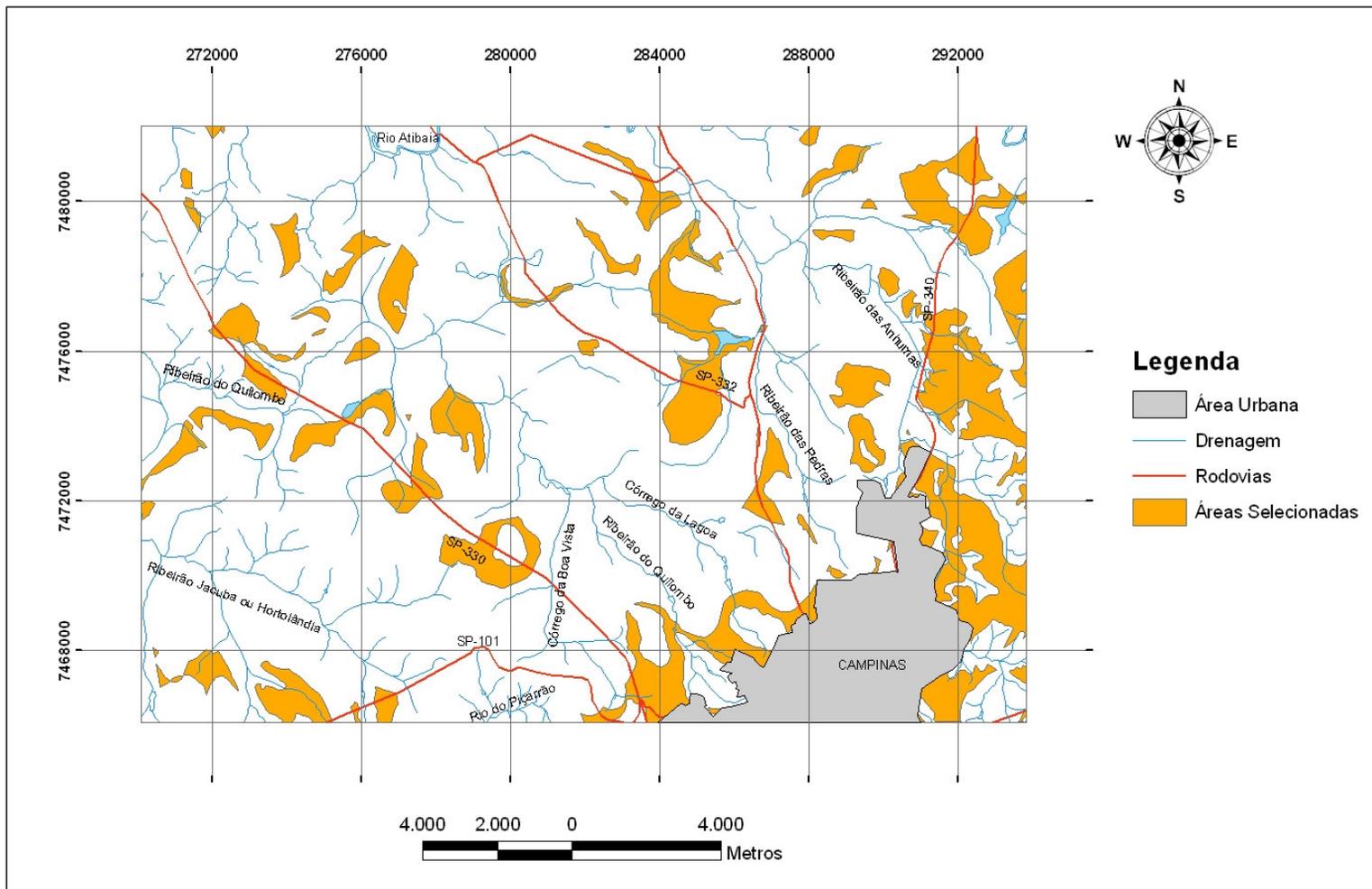


Figura 36 – Mapa das áreas potenciais para disposição de resíduos segundo método de Basílio (2001).

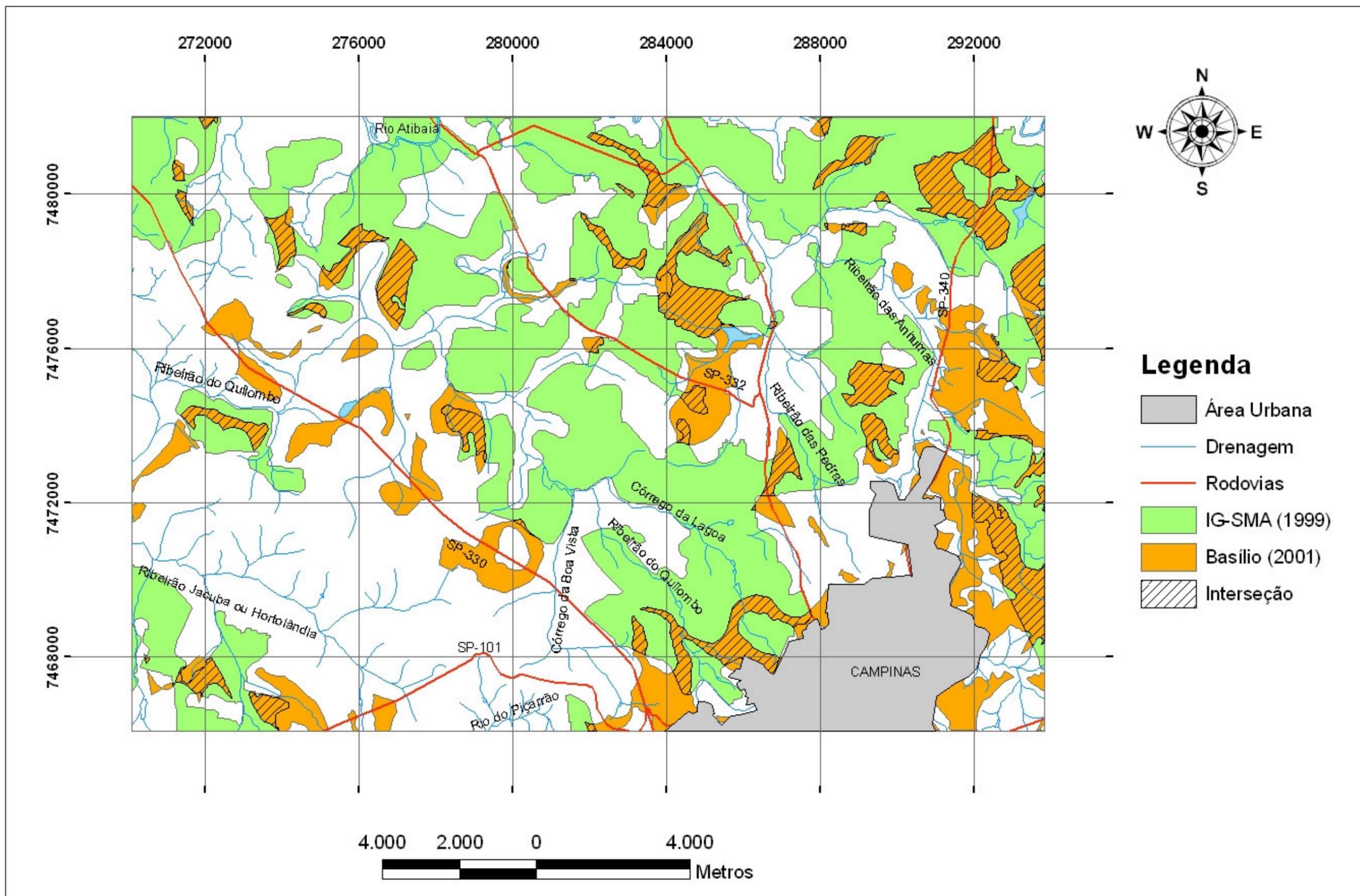


Figura 37 – Mapa das áreas de interseção entre os métodos de IG-SMA (1999) e Basílio (2001).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O contato com métodos de seleção de áreas para implantação de aterros sanitários permite afirmar que não há um método padrão, adequado a todas as realidades. Segundo Brollo (2004), os parâmetros de análise são inerentes às áreas estudadas, e só é possível estabelecer regras rígidas para classes de parâmetros quando há legislação específica.

No caso brasileiro, há outros tipos de dificuldades associadas ao desenvolvimento e aplicação de métodos, como a falta de disponibilidade de dados no formato necessário, problema muitas vezes contornado com a inferência de atributos a partir de outros. Destaca-se que ambos os métodos analisados na presente pesquisa se utilizaram desse recurso.

A comparação dos métodos de IG-SMA (1999) e Basílio (2001) permite afirmar que mesmo se tratando de uma mesma área geográfica, a escala, os critérios, parâmetros e atributos podem levar a resultados muito diferentes. No presente contexto não cabe julgamento entre os métodos, uma vez que os dois foram baseados em critérios técnicos. Contudo, a diferença entre ambos reside no fato do método de Basílio (2001) ser ainda mais restritivo que os critérios técnicos da NBR 13896 (ABNT, 1997), o que pode ser considerado um fator positivo.

Outra questão importante, no âmbito da seleção de áreas para disposição final em nível regional, refere-se à possibilidade da formação de consórcios intermunicipais para o gerenciamento conjunto do problema. Isso porque dificilmente um município tem condições de individualmente proporcionar um gerenciamento integrado (adequado) de seus resíduos sólidos urbanos, especialmente em relação à disposição final em aterros sanitários. Esta última etapa (disposição final), freqüentemente esbarra na indisponibilidade de áreas

adequadas, ou mesmo na incapacidade financeira diante dos elevados custos de um aterro sanitário.

Sugere-se diante do exposto, como tema para pesquisas futuras, a adequação e aplicação de métodos de seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos urbanos em nível de bacia hidrográfica (escala regional), uma vez que esta é, por excelência, uma unidade físico-territorial de planejamento.

E uma vez que o ambiente não reconhece limites políticos, os municípios a jusante da bacia são os mais prejudicados quando das práticas ambientais inadequadas dos municípios a montante. Se cada bacia hidrográfica resolver o problema da disposição final de forma integrada, certamente a atitude local terá uma repercussão global. Sem dúvida, é necessário reverter o quadro atual, fortemente marcado por formas inadequadas de disposição, como lixões e aterros controlados.

Por fim, os métodos de seleção de áreas para implantação de aterros sanitários têm um papel importante na orientação da escolha de locais favoráveis à disposição final, por seguir critérios técnicos. Embora não seja suficiente para garantir o gerenciamento adequado dos resíduos sólidos urbanos, certamente se constituem num “pequeno grande” passo inicial.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALONSO, L. R. Coleta, tratamento e disposição final – problemas e perspectivas. In: ENCONTRO TÉCNICO: RESÍDUOS SÓLIDOS E MEIO AMBIENTE, 1, 1992, São Paulo. *Relatório*. São Paulo: A Secretaria, 1993.

ARAÚJO, P. C. *Aplicação de sistema de informação geográfica na escolha de áreas para disposição de resíduos sólidos no município de Americana – SP*. 1999. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – IGCE, Unesp, Rio Claro, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 8419 (NB-843/1983): Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos*. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 13896: Aterro de resíduos não perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação*. Rio de Janeiro, 1997.

BASÍLIO, J. A. F. *Proposta de Procedimentos para seleção preliminar de áreas para aterros sanitários a partir de cartas geotécnicas*. 2001. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – IGCE, Unesp, Rio Claro, 2001.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 01, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre procedimentos relativos a Estudo de Impacto Ambiental. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res85/res0186.html>>. Acesso em: 26 jul 2007 .

BRASIL. Resolução CONAMA nº 05, de 15 de junho de 1988. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res88/res0588.html>>. Acesso em: 26 jul 2007.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 237, de 19 de dezembro de 1997. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res97/res23797.html>>. Acesso em: 26 jul 2007.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 308, de 21 de março de 2002. Dispõe sobre Licenciamento Ambiental de sistemas de disposição final dos resíduos sólidos urbanos gerados em

municípios de pequeno porte. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30802.html>>. Acesso em: 26 jul 2007.

BRESCANSIN, R. B. *Implantação de aterro sanitário e coleta seletiva de lixo no município de Corumbataí (SP)*. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – IGCE, Unesp, Rio Claro, 1997.

BROLLO, M. J. *Metodologia Automatizada para Seleção de Áreas para Disposição de Resíduos Sólidos*. Aplicação na Região Metropolitana de Campinas (SP). Tese (Doutorado em Saúde Ambiental) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

BROLLO, M. J. Seleção de áreas para implantação de aterros sanitários. In: RESID'2004 Seminário sobre Resíduos Sólidos, 2004, São Paulo. *Anais*. São Paulo: ABGE, 2004.

CALIJURI, M. L. et al. Identificação de áreas para implantação de aterros sanitários com uso de análise estratégica de decisão. *Informática Pública*, v. 4, n. 2, p. 231-250, 2002.

CETESB, São Paulo (Estado). *Aterro sanitário*. São Paulo: CETESB, 1997a. Apostilas ambientais.

CETESB, São Paulo (Estado). *Manual de licenciamento para o setor de resíduos sólidos*. São Paulo: CETESB, 1997b. Apostilas ambientais.

CETESB, São Paulo (Estado). *Inventário estadual de resíduos sólidos domiciliares: relatório de 2006*. São Paulo: CETESB, 2007. Disponível em <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/relatorios.asp>>. Acesso em: 05 jul 2007.

IPT / CEMPRE. *Lixo Municipal*. Manual de Gerenciamento Integrado. 2. ed. São Paulo: 2000. (Publicação IPT 2622).

DICIONÁRIO Aurélio Eletrônico Século XXI, 1999. CD-ROM.

EMPRESA METROPOLITANA DE PLANEJAMENTO DA GRANDE SÃO PAULO S.A. (EMPLASA). *Região de metropolização de Campinas: aspectos físico-ambientais e sociais*. Campinas: EMLASA, 1994. v.1.

FERREIRA, J. A. Resíduos Sólidos: perspectivas atuais. In: SISINNO, C. L. S.; OLIVEIRA, R. M. (org.). *Resíduos Sólidos, Ambiente e Saúde: uma visão multidisciplinar*. 1. ed. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz, 2000. p. 19-40.

GOOGLE EARTH. Imagem de satélite indicando a localização do Complexo Delta – Campinas (SP), 2007.

HAMER, G. Solid waste treatment and disposal: effects on public health and environmental safety. *Biotechnology Advances*, v. 22, n. 1-2, p. 71-79, December 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL. *Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos*. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

IBGE. *Campinas*. Rio de Janeiro, 1974. Folha Topográfica. Escala 1:50.000

IBGE. *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2000*. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb/pnsb.pdf>>. Acesso em: 12 julho 2006.

IBGE. *Perfil dos municípios brasileiros: gestão pública 2001*. Disponível em: <<http://200.255.94.70/home/estatistica/economia/perfilmunic/2001/munic2001.pdf>>. Acesso em 07 ago. 2007.

INSTITUTO GEOLÓGICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Metodologia para Seleção de Áreas para Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos*. BROLLO, M. J.; SILVA, P. C. F. (coord.) Relatório Técnico. São Paulo: IG / SMA, 1999.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo*. São Paulo: IPT, 1981, vol. I.

KONTOS, T. D. et al. Siting MSW landfills with a spatial multiple criteria analysis methodology. *Waste Management*, v. 25, n. 8, p. 818-832, October 2005.

LIMA, E. T.; LEITE, L. G. *Consórcio intermunicipal para o tratamento de resíduos sólidos*. 1 ed., São Paulo: Cepam, 1993. (série manuais, 3).

MAHLER, C. F.; LEITE, L. E. H. B. C. Metodologia de seleção de áreas para implantação de aterros sanitários. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, Local de publicação, v. 3, n. 4, p. 155-160, out/dez 1998.

MELO, M. C. et al. Estudos de fitotoxicidade em aterros de resíduos sólidos urbanos. *Biocologia, Ciência & Desenvolvimento*, n. 28, setembro-outubro 2002. Disponível em <<http://www.resol.com.br/textos/fitotoxicidade.pdf>>. Acesso em 03 março 2006.

NASCIMENTO, M. C. B. *Seleção de sítios visando a implantação de aterros sanitários com base em critérios geológicos, geomorfológicos e hidrológicos*. 2001. Dissertação (Mestrado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) – USP, São Paulo, 2001.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Rio de Janeiro. *Resumo da Cúpula da Terra – Agenda 21*. Rio de Janeiro: ONU, 1992.

PAULELLA, E. D.; SCAPIM, C. O. (coord.) *Campinas: a gestão dos resíduos sólidos urbanos*. Campinas, 1996.

ROHDE, G. M. *Método de seleção de áreas para aterros sanitários*. 1 ed. Porto Alegre: CIENTEC, 1989.

RUSSO, M. A. T. *Tratamento de resíduos sólidos*. Disponível em <http://www.uc.pt/mhidro/edicoes_antigas/tratamento_residuos_solidos.pdf>. Acesso em: 03 março 2006.

SÃO PAULO (ESTADO). Portaria Ministério do Interior nº 53, de 01 de março de 1979. Disponível em <http://www.cvs.saude.sp.gov.br/publ_leis1.asp>. Acesso em: 26 jul. 2007.

SÃO PAULO (Estado). Lei nº 997, de 31 de maio de 1976. Dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente. Disponível em <<http://www.cetesb.sp.gov.br/solo/residuos/base1.pdf>>. Acesso em 29 jun. 2007.

SÃO PAULO (Estado). Lei nº 6.134, de 2 de junho de 1988. Dispõe sobre a preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas do Estado de São Paulo, e dá outras providências. Disponível em <<http://www.cetesb.sp.gov.br/solo/residuos/base1.pdf>>. Acesso em 29 jun. 2007.

SÃO PAULO (Estado). Lei nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991. Dispõe sobre Estabelece normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Disponível em <<http://www.cetesb.sp.gov.br/solo/residuos/base1.pdf>>. Acesso em: 29 jun. 2007.

SÃO PAULO (Estado). Lei nº 7.750, de 31 de março de 1992. Dispõe sobre Dispõe sobre a Política Estadual de Saneamento, e dá outras providências. Disponível em <<http://www.cetesb.sp.gov.br/solo/residuos/base1.pdf>>. Acesso em: 29 jun. 2007.

SÃO PAULO (Estado). Lei nº 9.866, de 28 de novembro de 1997. Dispõe sobre Dispõe sobre diretrizes e normas para a proteção e recuperação das bacias hidrográficas dos mananciais de interesse regional do Estado de São Paulo e dá outras providências. Disponível em <<http://www.cetesb.sp.gov.br/solo/residuos/base1.pdf>>. Acesso em: 29 jun. 2007.

SÃO PAULO (Estado). Lei nº 12.300, de 16 de março de 2006. Institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos e define princípios e diretrizes. Disponível em <<http://www.legislacao.sp.gov.br/legislacao/index.htm>>. Acesso em 12 maio 2006.

SÃO PAULO (Estado). Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976. Aprova o Regulamento da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a Prevenção e o Controle da Poluição do Meio Ambiente. Disponível <<http://www.cetesb.sp.gov.br/solo/residuos/base1.pdf>>. Acesso em: 29 jun. 2007.

SÃO PAULO (Estado). Decreto nº 32.955, de 7 de fevereiro de 1991. Regulamenta a Lei nº 6.134, de 2 de junho de 1988, que dispõe sobre a preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas do Estado de São Paulo, e dá outras providências. Disponível <<http://www.cetesb.sp.gov.br/solo/residuos/base1.pdf>>. Acesso em: 29 jun. 2007.

SÃO PAULO (Estado). Resolução SMA nº 42, de 29 de dezembro de 1994. Disponível em <<http://www.cetesb.sp.gov.br/solo/residuos/base1.pdf>>. Acesso em: 29 jun. 2007.

SÃO PAULO (Estado). Resolução SMA nº 51, de 25 de junho de 1997. Dispõe sobre Dispõe sobre a exigência ou dispensa de Relatório Ambiental Preliminar – RAP para os aterros sanitários e usinas de reciclagem e compostagem de resíduos sólidos domésticos operados por municípios. Disponível em <<http://www.cetesb.sp.gov.br/solo/residuos/base1.pdf>>. Acesso em: 29 jun. 2007.

SÃO PAULO (Estado). Resolução SMA nº 34, de 14 de agosto de 2006. Cria o grupo de trabalho para regulamentar a Lei n.º 12.300, de 16 de março de 2006, que institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos e define princípios e diretrizes. Disponível em <<http://www.cetesb.sp.gov.br/solo/residuos/base1.pdf>>. Acesso em: 29 jun. 2007.

SILVEIRA, R. C. E.; PHILIPPI, L. S. *O papel dos consórcios intermunicipais na gestão de resíduos sólidos urbanos: uma breve contribuição ao debate*. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes23/III-174.pdf>>. Acesso em: 06 ago. 2007.

SISINNO, C. L. S.; OLIVEIRA, R. M. Impacto ambiental dos grandes depósitos de resíduos urbanos e industriais. In: _____. *Resíduos sólidos, ambiente e saúde: uma visão multidisciplinar*. 1. ed., Rio de Janeiro: Editora Fiocruz, 2000. p. 59-78.

TRESSOLDI, M; CONSONI, A. J. Disposição de resíduos. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (ed.). *Geologia de Engenharia*. 1 ed.. São Paulo: ABGE, 1998.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA. *Municipal solid waste disposal facility criteria: technical manual*. Disponível em <<http://www.epa.gov/garbage/landfill/techman/subpartb.pdf>>. Acesso em: 12 novembro 2006.

_____. *Milestones in Garbage*. Disponível em < http://www.epa.gov/msw/timeline_alt.htm>. Acesso em 06 jan. 2007.

VAZ, J. C. *Consórcios intermunicipais*. Disponível em: <<http://www2.fpa.org.br/portal/modules/news/article.php?storyid=2532>>. Acesso 07 ago. 2007.

ZUQUETTE, L. V. *Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico: fundamentos e guia para elaboração*. 1993. Tese (Livre-docência) – EESC, USP, São Carlos, 1993.

ZUQUETTE, L. V.; PEJON, O. J.; SINELI, O. Methodology for specific engineering geological mapping for selection of sites for waste disposal. In: International IAEG Congress, 7, 1994, Rotterdam. Anais. Balkerna, Rotterdam, 1994. p. 2481–2489.

ANEXO A

ÍNDICE DA QUALIDADE DE ATERROS DE RESÍDUOS - IQR	
MUNICÍPIO:	DATA:
LOCAL:	AGÊNCIA:
BACIA HIDROGRÁFICA:	UGRHI:
LICENÇA: L.I.: <input type="checkbox"/> L.O.: <input type="checkbox"/>	TÉCNICO:
ÁREA OCUPADA:	

ÍTEM	SUB-ÍTEM	AValiação	PESO	PONTOS	
1	CAPACIDADE DE SUPORTE DO SOLO	ADEQUADA	5		
		INADEQUADA	0		
	PROXIMIDADE DE NÚCLEOS HABITACIONAIS	LONGE > 500m	5		
		PRÓXIMO	0		
	PROXIMIDADE DE CORPOS DE ÁGUA	LONGE > 200m	3		
		PRÓXIMO	0		
	PROFUNDIDADE DO LENÇOL FREÁTICO	MAIOR 3m	4		
		DE 1 A 3m	2		
		DE 0 A 1m	0		
	PERMEABILIDADE DO SOLO	BAIXA	5		
		MÉDIA	2		
		ALTA	0		
	DISPONIBILIDADE DE MATERIAL PARA RECOBRIMENTO	SUFICIENTE	4		
		INSUFICIENTE	2		
		NENHUMA	0		
	QUALIDADE DO MATERIAL PARA RECOBRIMENTO	BOA	2		
		RUIM	0		
	CONDIÇÕES DE SISTEMA VIÁRIO, TRÂNSITO E ACESSO	BOAS	3		
		REGULARES	2		
RUINS		0			
ISOLAMENTO VISUAL DA VIZINHANÇA	BOM	4			
	RUIM	0			
LEGALIDADE DE LOCALIZAÇÃO	LOCAL PERMITIDO	5			
	LOCAL PROIBIDO	0			
SUBTOTAL MÁXIMO			40		
2	CERCAMENTO DA ÁREA	SIM	2		
		NÃO	0		
	PORTARIA / GUARITA	SIM	2		
		NÃO	0		
	IMPERMEABILIZAÇÃO DA BASE DO ATERRO	SIM / DESNECES.	5		
		NÃO	0		
	DRENAGEM DE CHORUME	SUFICIENTE	5		
		INSUFICIENTE	1		
		INEXISTENTE	0		
	DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS DEFINITIVA	SUFICIENTE	4		
		INSUFICIENTE	2		
		INEXISTENTE	0		
	DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS PROVISÓRIA	SUFICIENTE	2		
		INSUFICIENTE	1		
		INEXISTENTE	0		
	TRATOR DE ESTEIRAS OU COMPATIVEL	PERMANENTE	5		
		PERIÓDICAMENTE	2		
		INEXISTENTE	0		
	OUTROS EQUIPAMENTOS	SIM	1		
		NÃO	0		
	SISTEMA DE TRATAMENTO DE CHORUME	SUFICIENTE	5		
		INSUF. / INEXIST.	0		
	ACESSO À FRENTE DE TRABALHO	BOM	3		
		RUIM	0		
	VIGILANTES	SIM	1		
		NÃO	0		
	SISTEMA DE DRENAGEM DE GASES	SUFICIENTE	3		
INSUFICIENTE		1			
INEXISTENTE		0			
CONTROLE RECEBIMENTO DE CARGAS	SIM	2			
	NÃO	0			
MONITORIZAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	SUFICIENTE	3			
	INSUFICIENTE	2			
	INEXISTENTE	0			
ATENDIMENTO A ESTIPULAÇÕES DE PROJETO	SIM	2			
	PARCIALMENTE	1			
	NÃO	0			
SUBTOTAL MÁXIMO			45		

ÍTEM	SUB-ÍTEM	AValiação	PESO	PONTOS
	ASPECTO GERAL	BOM	4	
		RUIM	0	
	OCORRÊNCIA DE LIXO A DESCOBERTO	NÃO	4	
		SIM	0	
	RECOBRIMENTO DO LIXO	ADEQUADO	4	
		INADEQUADO	1	
		INEXISTENTE	0	
		PRESEÇA DE URUBUS OU GAIVOTAS	NÃO	1
		SIM	0	
		PRESEÇA DE MOSCAS EM GRANDE QUANTIDADE	NÃO	2
		SIM	0	
		PRESEÇA DE CATADORES	NÃO	3
		SIM	0	
		criação de animais (PORCOS, BOIS)	NÃO	3
		SIM	0	
		DESCARGA DE RESÍDUOS DE SERVIÇOS DE SAÚDE	NÃO	3
		SIM	0	
		DESCARGA DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS	NÃO / ADEQUADA	4
		SIM / INADEQ.	0	
		FUNCIONAMENTO DA DRENAGEM PLUVIAL DEFINITIVA	BOM	2
		REGULAR	1	
		INEXISTENTE	0	
		BOM	2	
		FUNCIONAMENTO DA DRENAGEM PLUVIAL PROVISÓRIA	REGULAR	1
		REGULAR	1	
		INEXISTENTE	0	
		BOM	3	
		FUNCIONAMENTO DA DRENAGEM DE CHORUME	REGULAR	2
		REGULAR	2	
		INEXISTENTE	0	
		BOM	5	
		FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE CHORUME	REGULAR	2
		REGULAR	2	
		INEXISTENTE	0	
		BOM	2	
		FUNCIONAMENTO DO SIST. DE MONITORIZAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	REGULAR	1
		REGULAR	1	
		INEXISTENTE	0	
		BOA	1	
		EFICIÊNCIA DA EQUIPE DE VIGILÂNCIA	RUIM	0
		BOAS	2	
		MANUTENÇÃO DOS ACESSOS INTERNOS	REGULARES	1
		REGULARES	1	
		PÉSSIMAS	0	
SUBTOTAL MÁXIMO			45	

TOTAL MÁXIMO	130
---------------------	------------

IQR=SOMA DOS PONTOS / 13	
---------------------------------	--

IQR	AValiação
0 a 6,0	CONDIÇÕES INADEQUADAS
6,1 a 8,0	CONDIÇÕES CONTROLADAS
8,1 a 10	CONDIÇÕES ADEQUADAS

TOTAL DE CATADORES:	MENORES DE 14 ANOS:
---------------------	---------------------

Fonte: Cetesb (2004)

Questionário da CETESB para determinação do índice de qualidade de aterros

ANEXO B

Critérios de análise	Avaliação Regional (1:100.000 – 1:50.000)			Avaliação semi-regional (1: 50.000 – 1:25.000)			Avaliação Local (1:10.000 – 1:1.000)			
	Atributos	Parâmetro	Limitações e riscos associados	Atributos	Exemplos de classes de parâmetros	Propriedades avaliadas	Atributos	Dados a serem levantados	Propriedades avaliadas	
Uso e Ocupação do Solo (avaliação regional)	Áreas urbanas e de expansão urbana	>= 500 m	Incômodos associados a estética, odores, fumaça, poeira, barulho de manobras de caminhões, presença de vetores	Uso atual	Sítios de lazer, áreas de recreação e lazer, agricultura e pecuária, reflorestamento, mineração, depósitos de lixo	- Zoneamento ambiental e definição do grau de conflito com a implantação do aterro sanitário	Valor da área e prazo para implantação do aterro	Forma de viabilidade de aquisição	- viabilidade sócio-política-econômica	
	Parques industriais e infraestrutura pública	>= 500 m		Vias de acesso	Rodovias municipais, estradas vicinais, etc	- Adequabilidade da interação à malha viária existente				
	Rodovias (municipais e federais) e ferrovias	>= 100 m		Acidentes com pássaros	Áreas de proteção ambiental (federais, estaduais e municipais)	Reservas naturais, sítios geológicos, arqueológicos e espeleológicos	- Zoneamento ambiental	Custos das obras de adaptação do local de implantação do projeto		Disponibilidade financeira; capacidade de endividamento e de obtenção de financiamento
	Áreas de lazer público (parques)	Excluir								
Uso e Ocupação do Solo e Socioeconomia (avaliação semi-regional)	Aeroportos	>= 3 km de rotas de voo	Contaminação dos recursos hídricos	Vida útil do aterro sanitário	< 5 anos, 5 a 10 anos, > 10 anos	- custos de mão-de-obra, infra-estrutura, transtorno gerado pelas obras de construção do aterro, expansão urbana	População atual no entorno da área de estudo	Poder aquisitivo, quantidade, oferta de trabalho, etc		
Sócio-político-econômicos (avaliação local)	Recursos hídricos (reservatórios, poços, fontes)	>= 200 m	Conflitos de uso	Distância dos centros geradores de lixo	<= 15 km; >= 15 km	- considerar a significativa capacidade volumétrica adicional gerada por recalques (podem chegar a uma ampliação na ordem de 33%)			Fatores políticos propriamente ditos	Vontade política; continuidade de ações
	Áreas militares	>= 500 m	Degradação da área de proteção	Características dos resíduos	Quantidade, tipo, sazonalidade, população atendida pelos serviços de coleta	- despesas de transporte - produtividade da coleta - vida útil do aterro - capacidade de utilização de outros tipos de tratamento para os resíduos				
	Áreas especiais de proteção (reservas naturais, sítios geológicos, arqueológicos e espeleológicos)	Deve atender ao zoneamento da área	Conflitos de uso e dificuldades de implantação do projeto de aterro sanitário							
	Áreas de mineração não adequadas para aterro sanitário	Excluir								
Geoambientais (avaliação regional)	Rios e canais (permanentes e temporários), lagos e pântanos	>= 200 m	Contaminação dos recursos hídricos e degradação dos ecossistemas	Tipo de solo	Arenoso, argiloso, siltoso, areno-argiloso, areno-siltoso, etc.	- permeabilidade do solo e substrato - vulnerabilidade do aquífero	Litologia	Tipo de rocha, características texturais, homogeneidade, distribuição, características de acamamento, etc		
	Planícies de inundação	>= 200 m	Restrição ao fluxo de água; ou redução da capacidade de armazenamento temporário de água; infiltração no corpo do aterro sanitário	Espessura do solo	0 a 2 m, 2 a 5 m, 5 a 10 m, > 10 m	- disponibilidade de material de cobertura diária (o ideal é 50% a 60% de areia e o restante uma mistura equilibrada entre silte e argila)				
				Tipo de relevo	Colina ampla, colina pequena, morrotes, planície, etc	- disponibilidade de material para liner - escavabilidade e trafegabilidade				
	Declividade	< 2°, 2 a 5°, 5 a 15°, 15 a 20°, > 20°		Tipo litológico	Arenito, argilito, granito, xisto, etc.	- vulnerabilidade do aquífero - escavabilidade e trafegabilidade	solo	Características, espessura, distribuição, homogeneidade, pH, capacidade de troca catiônica, salinidade, fator de retardamento		
	Áreas íngremes	> 20°	Dificuldades de implantação do projeto de aterro sanitário	Estruturas geológicas e grau de fraturamento	Pouco fraturado, medianamente fraturado, muito fraturado, extremamente fraturado, etc	- vulnerabilidade do aquífero - suscetibilidade a ocorrência de processos (escorregamentos)	Estruturas geológicas	Atitude de acamamento, dobramento, falhamento, juntas, incluindo descontinuidades em todas as escalas; modelo geológico-estrutural		
	Áreas muito planas	< 2°	Potencial de acúmulo de água, podendo causar ruptura do aterro sanitário	Distância de cursos d'água	> 200 m	- contaminação de recursos hídricos				
Meio físico (avaliação semi-regional e local)	Zonas com falhas geológicas recentes (arcabouço de descontinuidades tectônicas de natureza rúptil)	Excluir	Potencial de ocorrência de atividade sísmica, com deslizamentos e liquefação associados, com conseqüente ruptura do aterro sanitário	Águas subterrâneas (disponibilidade, dinâmica, vulnerabilidade, profundidade do NA)		- potencialidade do aquífero - vulnerabilidade do aquífero	Hidrogeologia	Níveis de águas subterrâneas, distribuição de aquíferos e aquícludes, padrões de fluxo de águas subterrâneas, condutividade hidráulica, localização de zonas de recarga das águas subterrâneas		
	Aquíferos regionalmente importantes, com extrema vulnerabilidade	Excluir	Contaminação de aquíferos	Evidências de movimentos de massa (erosão, escorregamentos)	Ravinas, boçorocas, queda de blocos, árvores e postes tortos, rachaduras em construções, etc	- suscetibilidade a ocorrência de processos (escorregamento, erosão)	Padrões de escoamento superficial	Tamanho e descarga de canais que atravessam o local		
	Áreas instáveis (solos expansivos ou colapsíveis; suscetibilidade a movimentos de massa; terrenos cársticos)	Excluir	Ruptura da fundação do aterro, com deslizamentos e liquefação associados, com conseqüente ruptura do aterro	Climatologia (pluviometria, incidência solar, umidade do ar e intensidade e direção predominante dos ventos)		- evaporação e evapotranspiração	Topografia	Declividade, proteção ao vento, impacto visual		

Fonte: Baseado em: Allen et al. 2002; Berg & Wehrmann, 1989; Brollo, 2001; EPA, 1993; IG-SMA, 1999; Lima & Guimarães, 2001; Waquil et al., 2000 apud Brollo (2004)

Quadro com critérios, fatores e parâmetros considerados nas avaliações regional, semi-regional e local – Brollo (2004)

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)