

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA DA ENERGIA**

Estudo ambiental para seleção de áreas  
para implantação de aterros sanitários com  
recuperação de energia na Bacia do Rio  
Sapucai

**Márcia Helena Magalhães**

**Itajubá, Novembro de 2007**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM**  
**ENGENHARIA DA ENERGIA**

Estudo ambiental para seleção de áreas para implantação  
de aterros sanitários com recuperação de energia na Bacia  
do Rio Sapucaí

Márcia Helena Magalhães

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal de Itajubá  
como requisito para a obtenção do  
grau de Mestre em Ciências da  
Engenharia da Energia.

**Área de Concentração:**  
Energia, Desenvolvimento e Meio  
Ambiente.

**Orientador:**  
Prof. Dr. Francisco Antônio Dupas

Novembro de 2007  
Itajubá – M.G.

Dedico este trabalho à minha Mãe, pelo exemplo de fibra, coragem e sobretudo honestidade. A essa mulher, que me proporcionou com o calejar das mãos, uma vida digna, com direito inclusive, a ser feliz.

Obrigada Mãe!

Aos meus irmãos Cida, Fátima, Márcio, Cássia pelo amor e principalmente aos meus irmãos Daniel e Jé por acreditarem em meus sonhos, e darem apoio às minhas empreitas.

Ao meu sobrinho Gabriel que me perdoa pela ausência.

Ao meu namorado Everaldo, por seu amor incondicional me fazer uma pessoa melhor a cada dia.

Ao meu Pai,  
que onde estiver, olha por mim.

*"Feliz aquele que sabe ao certo o que procura,  
porque quem não sabe o que procura,  
não vê o que encontra."  
Claude Bernard.*

## AGRADECIMENTOS

Não poderia iniciar este agradecimento, com outra pessoa que não fosse o Prof.º Dr.º Jamil Haddad, que viu em mim, antes de todos, uma luz no fim do túnel e me ofereceu uma oportunidade.

Ao Prof.º Dr.º Luiz Augusto Horta Nogueira, que me fez vencer desafios.

Ao Prof.º Dr.º Francisco Antônio Dupas, pela orientação.

Amigos nós não fazemos, reconhecemos na multidão, a vocês Daniela Rocha Teixeira, Yasmine Cunha e Luciana Martins, que são minhas grandes amigas. Por todas as horas passadas juntas, por todas as risadas, lágrimas e esperanças compartilhadas. Muito “empleada”! Em todos os sentidos que damos a essa palavra, para mim, quer dizer amizade.

Aos amigos do NEPA, pela troca de conselhos e dicas para a realização deste trabalho e de tantos outros. Principalmente ao Rafael Eugênio, Jonas Fernandes e a Graziela Rodrigues.

A todos que colaboraram direta ou indiretamente para a concretização deste trabalho.

A CAPES pelo financiamento.

## SUMÁRIO

pág.

|                                                                         |     |
|-------------------------------------------------------------------------|-----|
| LISTA DE FIGURAS.....                                                   | i   |
| LISTA DE TABELAS.....                                                   | ii  |
| LISTA DE SIGLAS.....                                                    | iii |
| RESUMO.....                                                             | iv  |
| ABSTRACT .....                                                          | v   |
| 1. INTRODUÇÃO .....                                                     | 1   |
| 1.1 Objetivos.....                                                      | 4   |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....                                          | 5   |
| 2.1. Resíduos Sólidos – aspectos gerais.....                            | 5   |
| 2.1.1. Classificação.....                                               | 7   |
| 2.1.2. Geração .....                                                    | 8   |
| 2.1.3. Tratamento e Destinação final.....                               | 9   |
| 2.2. Aspectos Legais e Técnicos.....                                    | 15  |
| 2.2.1. Aspectos Legais.....                                             | 16  |
| 2.2.2. Aspectos Técnicos .....                                          | 18  |
| 2.2.3. Variáveis Ambientais Consideradas na Escolha de Áreas.....       | 18  |
| 2.3. Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos .....                  | 25  |
| 2.4. Exemplos de Ferramentas de Gerenciamento Integrado .....           | 27  |
| 2.4.1. Plano Diretor.....                                               | 28  |
| 2.4.2. Zoneamento Ambiental .....                                       | 28  |
| 2.4.3. Educação Ambiental .....                                         | 30  |
| 2.4.4. Consórcios Municipais.....                                       | 31  |
| 2.4.5. Sistema de Informação Geográfica .....                           | 32  |
| 2.4.6. Experiências do Uso de SIG no Planejamento Ambiental e RSU.....  | 34  |
| 2.5. Potencial de Geração de Energia Elétrica dos Resíduos Sólidos..... | 37  |
| 3. MATERIAIS E MÉTODOS.....                                             | 44  |
| 3.1. Materiais .....                                                    | 44  |
| 3.2. Métodos.....                                                       | 44  |
| 3.2.1. Aspectos Fisiográficos da Área de Estudo .....                   | 45  |
| 3.2.2. Ordenação das atividades envolvidas .....                        | 48  |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....                                        | 57  |
| 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....                                      | 75  |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                                        | 78  |
| ANEXO A .....                                                           | 88  |
| ANEXO B.....                                                            | 89  |

## LISTA DE FIGURAS

pág.

|                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 2.1 - Disposição dos Resíduos Sólidos no Brasil                                                        | 10 |
| Figura 2.2 - Aterro Bandeirantes (foto aérea)                                                                 | 15 |
| Figura 2.3 - Escala granulométrica determinada pela NBR 6502                                                  | 19 |
| Figura 2.4 - Objetos espaciais em representação vetorial e raster                                             | 33 |
| Figura 2.5 - Moto Geradores do Aterro Bandeirantes                                                            | 41 |
| Figura 2.6 - Esquema de captação e geração de energia elétrica do biogás                                      | 41 |
| Figura 3.1 - Localização dos municípios em estudo                                                             | 45 |
| Figura 3.2 - Bacia hidrográfica com os limites dos municípios do entorno de Santa Rita do Sapucaí             | 47 |
| Figura 3.3 - População dos municípios da bacia hidrográfica em estudo e municípios do entorno                 | 48 |
| Figura 3.4 - Fluxograma dos métodos utilizados                                                                | 49 |
| Figura 3.5 - Coleta de amostras de solo da área em estudo e análise de laboratório                            | 53 |
| Figura 3.6 - Planos de informação utilizados para o MCE booleano                                              | 55 |
| Figura 4.1 - Mapa topográfico                                                                                 | 58 |
| Figura 4.2 – Hidrografia e infra-estrutura                                                                    | 59 |
| Figura 4.3 - Áreas não aptas em relação à rede de drenagem da bacia hidrográfica, segundo a D.N.52/01 (COPAM) | 61 |
| Figura 4.4 - APP de várzea e cursos d'água                                                                    | 62 |
| Figura 4.5 - Mapa do substrato rochoso                                                                        | 63 |
| Figura 4.6 - Mapa de uso do solo                                                                              | 65 |
| Figura 4.7 - Quantificação dos temas do uso do solo na bacia hidrográfica                                     | 66 |
| Figura 4.8 - Mapa de declividade                                                                              | 67 |
| Figura 4.9 - Distribuição das variações de declividades na bacia hidrográfica                                 | 68 |
| Figura 4.10 - Localização das amostras de solo coletadas na bacia hidrográfica                                | 70 |
| Figura 4.11 - Áreas aptas e não aptas à implantação de aterro sanitário                                       | 72 |
| Figura 4.12 - Geração de resíduos sólidos dos municípios pelo número de habitantes                            | 74 |

## LISTA DE TABELAS

pág.

|                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 2.1 - Classificação dos Resíduos Sólidos segundo seu grau de biodegradabilidade.                    | 07 |
| Tabela 2.2 - Classificação dos Resíduos Sólidos com relação à sua periculosidade                           | 08 |
| Tabela 2.3 - Atribuição de responsabilidades dos resíduos gerados.                                         | 08 |
| Tabela 2.4 - Geração per capita de resíduos sólidos                                                        | 09 |
| Tabela 2.5 - Panorama de produção de metano no Brasil                                                      | 39 |
| Tabela 3.1 - Arquivos de entrada para a formação de banco de dados inicial                                 | 50 |
| Tabela 3.2 - Arquivos de entrada para formação das restrições.                                             | 51 |
| Tabela 4.1 - Características das áreas pré-selecionadas para a instalação de aterro sanitário consorciado. | 71 |

## LISTA DE SIGLAS

- 1- S.I.G. – Sistemas de Informação Geográfica
- 2- TWh – Tera Watts hora
- 3- NEPA – Núcleo de Estudos, Planejamento Ambiental e Geomática
- 4- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- 5- NBR – Normas Brasileiras (ABNT)
- 6- RSU – Resíduos Sólidos Urbanos
- 7- FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente
- 8- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
- 9- I.C.M.S. – Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
- 10- COPAM – Conselho Estadual de Política Ambiental
- 11- IGA – Instituto de Geociências Aplicadas
- 12- MCE – Avaliação Multi-Critério
- 13- KW – Kilowatt
- 14- MW – Megawatt
- 15- G.P.S. – Sistema de Posicionamento Global
- 16- COMIG – Companhia Mineradora de Minas Gerais
- 17- CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

## RESUMO

MAGALHÃES, Márcia Helena. “Estudo ambiental para seleção de áreas para implantação de aterros sanitários com recuperação de energia na Bacia do Rio Sapucaí.” Dissertação de Mestrado – Energia, Desenvolvimento e Meio Ambiente. Programa de Pós-Graduação, Mestrado em Engenharia da Energia, NEPA, Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, Itajubá, 90p., 2007.

Ao interagir com o meio, o ser humano modifica e transforma, objetivando a melhoria da qualidade de vida de sua espécie. Essa interação resulta inevitavelmente em impactos, como a geração e disposição inadequada de resíduos sólidos.

O presente trabalho tem por objetivo, através do levantamento e análise de variáveis ambientais, indicar áreas aptas à implantação de aterro sanitário consorciado para fins energéticos na bacia do Rio Sapucaí, Sul de Minas Gerais, utilizando para tanto, ferramentas de S.I.G. Foram consideradas as variáveis referentes à topografia, hidrografia, APP, declividade, uso do solo, geologia, e análise textural do solo. O método utilizado para a obtenção das restrições foi através da reclassificação das variáveis apresentadas atendendo às limitações impostas pela legislação federal, estadual e pelas Normas da ABNT. Foram cruzadas as informações pelo método MCE booleano, através do software IDRISI Andes, resultando no mapa com as áreas aptas e não aptas.

Dentre as áreas aptas foram selecionadas seis que poderiam atender a implantação de aterro sanitário consorciado, sendo que três destas áreas têm uma área perfeitamente adequada ao volume de resíduos esperados. A quantidade prevista para geração de energia elétrica foi feita a partir da projeção da produção de gás metano de 200 m<sup>3</sup> por tonelada de resíduo, multiplicada pela geração de resíduos sólidos dos municípios envolvidos no estudo, com uma população total de 203.898 habitantes para o ano de 2007, tendo então uma capacidade de geração da ordem de 2,77 MW de potência elétrica ao ano, quantidade suficiente para atender uma cidade de 20 mil habitantes. Fazendo-se a projeção da mesma população, utilizando-se a taxa de crescimento do estado de Minas Gerais de 2000, para um período de 20 anos, ter-se-ia uma população total de aproximadamente de 275 mil habitantes, com capacidade de geração de energia elétrica de 4,88 MW por ano, montante capaz de atender uma cidade de 30 mil habitantes.

A análise realizada demonstrou que embora o cenário exija uma verificação de viabilidade técnica-econômica, os municípios de pequeno porte já poderiam cogitar a implantação de projetos neste sentido, obtendo para tanto, financiamento, como por exemplo, de projetos de venda de créditos de carbono, possibilitando assim o gerenciamento integrado e conseqüente ganhos ambientais e sociais para as comunidades envolvidas.

**Palavras Chave:** Disposição de resíduos sólidos urbanos, resíduos sólidos, aterro sanitário, planejamento urbano, S.I.G.

## ABSTRACT

By interacting with the environment, the human beings modify and transform it, aiming at improving their life quality. Inevitably, this interaction results in impacts such as the generation and the inappropriate disposal of solid waste.

By surveying and analyzing environmental variables using S.I.G tools, the present study aims at indicating areas that are suitable for the implementation of landfills, which can also be used with energetic purposes, on the River Sapucaí Basin in the south of the state of Minas Gerais. The following variables were considered: topography, hydrography, APP, declivity, use of land, geology and soil texture analysis. The method used for attaining the restrictions was the re-classification of the variables presented, meeting the limitations imposed by the federal and state legislations and by the ABNT norms. The information was crossed by the Boolean MCE method through the IDRISI Andes software, resulting in a map showing suitable and unsuitable areas. Out of the suitable areas, six of them were selected. They could receive the implementation of the landfill syndication, where three of them have a perfect area that is suitable to the volume of expected residues. The forecast for the amount of electric energy production was based on the projection of methane gas production of 200 m<sup>3</sup> per ton of residue multiplied by the generation of solid residues of the cities involved in the study, with a total population of 203,898 inhabitants for the year of 2007. Thus the generation capacity will range about 2.77 MW of electric power a year, enough quantity to meet the demand of a city of 20 thousand inhabitants. Projecting the same population and using the 2000 growth rate of the state of Minas Gerais for a period of 20 years, there would be a total population of total of about 275 thousand inhabitants, with an electric energy generating capacity of 4.88 MW per year, an amount that can meet the needs of a city with 30 thousand inhabitants.

The analysis that was carried out showed that although the scenario demands a verification of the techno-economic feasibility, the small towns could already consider the implementation of such project, and the funding for such project would come through a project regarding the sales of carbon credits, enabling integrated management and, consequently, environmental and social gains.

**Keywords:** Solids waste disposal, solid waste, sanitary landfill, urban planning, G.I.S.

# 1. INTRODUÇÃO

---

*Apesar do meio ambiente ser entendido como o conjunto dos recursos naturais e suas inter-relações com os seres vivos, é comum este conceito ser associado apenas ao “verde” da paisagem. Esquecemos das questões relativas à poluição, acabamos relegando a um segundo plano o meio ambiente urbano e que somos parte ativa do meio ambiente em que vivemos (BARBOSA & GOLDEMBERG, 2004).*

Em meados do século 20, algumas nações em desenvolvimento questionavam a preocupação com o meio ambiente, pois acreditavam que este seria um empecilho para o seu desenvolvimento, pois ainda possuíam recursos naturais em abundância a serem explorados. Já as nações desenvolvidas, sentiam os efeitos do desenvolvimento a qualquer custo na escassez de seus recursos e no prejuízo à sua população.

A sensibilidade ecológica em todo o planeta vinha aumentando e também ia se verificando um aumento da percepção e da preocupação das pessoas em relação à questão ambiental. Mas só a partir da década de 80, que houve um forte movimento sócio-ambiental, com a elaboração do relatório denominado “Nosso Futuro Comum”, onde as nações realmente começaram a discutir o meio ambiente, não apenas como um problema, mas também como uma solução.

O crescimento populacional vem agravando esses problemas ambientais, em 1950, a população mundial estimada para o ano 2000 era de 2,5 bilhões de pessoas, hoje são mais de 6.6 bilhões (IBGE, 2007).

Fatores como crescimento demográfico, melhora do nível sócio-econômico da população, desenvolvimento de novos hábitos e intensificação do consumo, além de provocar modificações nas características dos resíduos sólidos gerados, acabam por trazer dificuldades técnicas e operacionais para a correta destinação final e o respectivo tratamento (PRADO FILHO & SOBREIRA, 2007). Some-se a isso o fato de que na grande maioria das

cidades brasileiras o destino final dos resíduos sólidos urbanos é totalmente inadequado. Cerca de 88% dos resíduos sólidos coletados no país ainda são depositados em áreas sem tratamento adequado (WEBER & HASENACK, s/a; LARANJEIRA, 2003).

Vários autores divergem sobre a quantidade de resíduos sólidos urbanos gerados no Brasil. Em 2000, eram coletados cerca de 125 mil toneladas de resíduos sólidos por dia (IBGE, 2000). Segundo VIEIRA, ORTH e WANKA, 2000, eram coletados neste ano 240 mil toneladas, já JUCÁ considera que em 2003 foram coletados 228.413 mil toneladas de resíduos diários. Fazendo-se o cálculo da produção de resíduos pelo número de habitantes no país, a uma produção média de 0,50 kg per capita, ter-se-ia um volume diário de 95 milhões de toneladas atualmente.

Estudos recentes mostram que apesar do processo de urbanização na América Latina tender a concentrar a população em grandes cidades, cerca de 47% da população urbana vive em pequenas e médias cidades. Apesar de parecer que as pequenas cidades apresentam problemas ambientais menos urgentes, o combinado do “stress” ecológico provocado em uma região pode ser maior que o de uma grande cidade (BRILHANTE, 2000).

Um fator positivo no recente processo de descentralização na América Latina é que este tende a dar mais responsabilidades e gradualmente destinar mais recursos financeiros para as pequenas cidades, enquanto que ao mesmo tempo cresce a percepção e a conscientização da necessidade de uma gestão ambiental integrada das cidades. Por outro lado, a capacidade de gestão nas pequenas e medias cidades é ainda muito limitada comparada com as grandes. Uma ação urgente, portanto, se faz necessária para aumentar a capacidade de gestão dessas cidades, para prevenir a ocorrência dos problemas complexos que afligem hoje as grandes cidades. Remedia-los mais tarde causará um maior custo sócio - econômico, ambiental e de saúde pública (BRILHANTE,2000; SILVEIRA & PHILIPPI,2005).

Hoje são oferecidas inúmeras possibilidades e tecnologias para o desenvolvimento sustentável, inclusive no que diz respeito ao tratamento de resíduos sólidos urbanos. Pode ser citados a coleta seletiva, que economiza recursos naturais e gera renda a parte mais carente da sociedade, os aterros

sanitários que além de serem o destino mais correto, podem ser fontes de renda para os municípios como geradores de energia elétrica e pela venda de créditos de Carbono, através do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, agindo como grande mitigador ambiental.

Selecionar locais adequados à disposição destes resíduos é uma maneira de diminuir os riscos de danos posteriores. Para tanto, deve-se haver um gerenciamento integrado desses resíduos, que pressupõe a redução da quantidade gerada, a reutilização ou reciclagem e a disposição dos resíduos finais em locais apropriados, como aterros sanitários.

Neste contexto, os Sistemas de Informações Geográficas (S.I.G.)<sup>[1]</sup> permitem o uso de inúmeras ferramentas computacionais que manipulam mapas, imagens digitais, que possibilitam integrar e combinar diversas fontes de dados. Fornecendo subsídio aos estudos do meio ambiente, bem como realizando avaliações complexas em grandes extensões territoriais.

Outro fator importante com relação aos ganhos ambientais, sociais e econômicos com o tratamento adequado desses resíduos é em relação ao seu potencial de aproveitamento energético. Através da recuperação do biogás em aterros sanitários, que no Brasil atinge 25 TWh<sup>[2]</sup>, cerca de 8% do consumo total do país, a custos competitivos com as opções tradicionais, além de abater emissões de gases do efeito estufa (TEIXEIRA, 2004).

Pelas razões apresentadas, este trabalho pretende analisar a viabilidade da realização de aterro consorciado para disposição de resíduos sólidos urbanos entre as cidades do entorno da bacia hidrográfica de Santa Rita do Sapucaí, delimitada pelo NEPA<sup>[3]</sup>, para a realização de estudos durante a elaboração do Plano Diretor Participativo de Santa Rita do Sapucaí (MG). Analisará também, por meio de ferramentas de geoprocessamento, as melhores áreas para a implantação deste empreendimento, onde tais áreas serão as que apresentarem o menor potencial de impactos ao meio ambiente, bem como a verificação de viabilidade de geração de energia elétrica através da recuperação do biogás deste aterro, na tentativa de promover uma gestão sócio-ambiental compartilhada e eficaz.

## **1.1. Objetivos**

Para delimitar sua abrangência, o presente trabalho enumera os objetivos gerais e específicos.

### **Geral**

Oferecer cenários com opções de localização de áreas aptas para implantação de aterro sanitário consorciado visando à geração de energia elétrica e a minimização de impactos ambientais e sociais.

### **Específicos**

1. Selecionar e levantar dados de variáveis ambientais (topografia, hidrografia, infra-estrutura, geologia e solos) para que sejam utilizados em ambiente S.I.G.;
2. Oferecer cenários preliminares aos poderes executivos municipais e regionais, que possibilitem indicar as áreas mais adequadas para a implantação de aterro sanitário intermunicipal;
3. Analisar o potencial inicial de geração de energia elétrica por meio da recuperação do biogás gerado.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

---

A revisão bibliográfica que é apresentada abrange a problemática da geração de resíduos sólidos, as atribuições de responsabilidades, bem como a destinação e tratamento adequados. Ainda neste contexto, são englobados os aspectos de planejamento ambiental integrado e alguns exemplos de ferramentas de ação, como também as potencialidades de uso destes resíduos, citando o exemplo de geração de energia através da recuperação de biogás.

### 2.1. Resíduos Sólidos

#### Aspectos Gerais

Atualmente não há um consenso em definir, distinguindo resíduos sólidos de lixo. GUIMARÃES (2000) considera que quando o lixo de uma comunidade precisa ser destinado, ele passa a ser chamado de resíduo sólido, sendo assim, neste trabalho é adotado preferencialmente o termo resíduo sólido, pois a sua destinação está sendo considerada.

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2004) <sup>[4]</sup>, em sua NBR <sup>[5]</sup> 10.004, resíduos sólidos são definidos como sendo:

*“Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição”* (ABNT, 2004).

Segundo o Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos (IBAM, 2001), alguns autores de publicações sobre resíduos sólidos se utilizam indistintamente dos termos "lixo" e "resíduos sólidos". Para este manual é considerado resíduo sólido:

*Todo material sólido ou semi-sólido indesejável e que necessita ser removido por ter sido considerado inútil por quem o descarta em qualquer recipiente destinado a este ato* (IBAM, 2001).

Em todo o mundo, a destinação final inadequada dos resíduos sólidos tem sido vista como um dos principais problemas da atualidade. Países economicamente desenvolvidos deparam-se com um resíduo cada vez mais complexo em sua constituição e com conseqüentes problemas relativos a seu tratamento.

No Brasil, como em tantos outros países em desenvolvimento, a globalização tem induzido mesmo nos pequenos e particularmente pobres aglomerados do interior, a um sem número de resíduos sintéticos cuja simples deposição sobre o solo, freqüentemente associada à queima a céu aberto, implica significativo impacto ambiental e riscos à saúde pública (LANGE *et al*, 2002).

Os resíduos sólidos urbanos (RSU)<sup>[6]</sup> se caracterizam como importantes agentes causadores de degradação do ambiente urbano e natural e constituem-se meios para o desenvolvimento e proliferação de vetores que transmitem doenças infecciosas (PRADO FILHO & SOBREIRA, 2007).

As suas características físicas, químicas e biológicas variam de acordo com a sua fonte ou atividade geradora. Fatores econômicos, sociais, geográficos, educacionais, culturais, tecnológicos e legais afetam o processo de geração de resíduos sólidos urbanos.

Uma vez gerado o resíduo, a forma como é manejado, tratado e destinado pode alterar suas características, de maneira que os riscos à saúde e ao meio ambiente são potencializados (CASTILHO JUNIOR, 2006).

Tal situação tem dificultado o gerenciamento dos resíduos sólidos, frente aos elevados custos que estes acarretam ao orçamento municipal. Nos grandes centros urbanos, no caso específico dos resíduos sólidos de origem domiciliar, o problema é ainda mais grave devido à elevada quantidade de resíduos gerada e a falta de áreas adequadas disponíveis, próximas às cidades, para sua disposição (AVEZUM & SCHALCH, 2001).

Embora o gerenciamento dos resíduos sólidos seja atribuição da prefeitura local, seus governantes devem, juntamente com a comunidade, decidir qual proporção desses resíduos será aterrada e de que forma este aterro será executado, visto que os impactos ambientais, sociais e econômicos da disposição final do lixo afetam a comunidade como um todo.

### 2.1.1 Classificação

As classificações do resíduo não diferem muito entre os profissionais que atuam na área e entre os órgãos de fiscalização e controle. Entretanto, convém assinalar que um resíduo pode se enquadrar em mais de uma classificação.

Além de se classificar a procedência do resíduo, para o seu gerenciamento seguro é preciso que seja feita sua caracterização. São várias as formas possíveis de se caracterizar os resíduos. Segundo a NBR 10.004 (ABNT, 2004), pode ser:

- Por sua natureza física: seco ou molhado;
- Por sua composição química: orgânico ou inorgânico;
- Por seu grau de aproveitamento: reciclável, reutilizável;
- Pelos riscos potenciais ao meio ambiente: perigosos, não perigosos, não inertes e inertes (ABNT, 2004).

Também pode ser classificado segundo seu grau de biodegradabilidade, conforme apresentado na tabela 2.1:

Tabela 2.1: Classificação dos Resíduos Sólidos segundo seu grau de biodegradabilidade.

| <b>Classificação</b>     | <b>Tipo de Resíduo</b>                         |
|--------------------------|------------------------------------------------|
| Facilmente degradável    | matéria orgânica                               |
| Moderadamente degradável | papel, papelão e outros produtos celulósicos   |
| Difícilmente degradável  | tecido, couro, borracha e madeira              |
| Não degradável           | vidro, metal, plástico, pedras, terra e outros |

Fonte: SCHALCH *et al.* (1990) e GOMES (1989), apud NARUO (2003).

Ainda podem ser classificados segundo sua periculosidade (tabela 2.2).

Tabela 2.2: Classificação dos Resíduos Sólidos com relação à sua periculosidade.

| <b>Classificação</b>      | <b>Tipo de Resíduo</b>                                                                                                                                                               |
|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Classe I (perigosos)      | Apresentam risco à saúde pública ou ao meio ambiente (devem apresentar ao menos uma dessas características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade) |
| Classe II (não perigosos) | Com características de biodegradabilidade,                                                                                                                                           |

|                                  |                                                                                      |
|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| – A                              | combustibilidade e solubilidade (são os que não se enquadram na Classe I e III)      |
| Classe II (não perigosos)<br>– B | Não tem constituinte solubilizado em concentração superior ao padrão de potabilidade |

Fonte: NBR 10.004, ABNT (2004).

No que diz respeito aos resíduos sólidos, também deve ser observada a responsabilidade de coleta, destinação e tratamentos dos resíduos gerados, como é mostrado na tabela 2.3.

Tabela 2.3: Atribuição de responsabilidades dos resíduos gerados.

| <b>Classificação</b> | <b>Tipo de Resíduo</b>                          | <b>Responsável</b>     |
|----------------------|-------------------------------------------------|------------------------|
| Domiciliar           | Gerado nas residências comuns                   | Prefeitura             |
| Comercial            | Estabelecimentos comerciais e serviços          | Prefeitura (até 100 l) |
| Público              | Limpeza pública urbana                          | Prefeitura             |
| Saúde                | Serviços de saúde, que podem transmitir doenças | Gerador                |
| Industrial           | Indústrias                                      | Gerador                |
| Agrícola             | Agricultura e pecuária                          | Gerador                |
| Entulho              | Construção civil                                | Gerador                |

Fonte: D'ALMEIDA & VILHENA (2000).

### 2.1.2. Geração

A média de geração diária de resíduos sólidos domésticos, dos países do primeiro mundo, corresponde a 1,77 kg per capita. No Brasil, nas grandes cidades, o resíduo domiciliar produzido já está em torno de 0,8 kg per capita. Isto indica a crescente necessidade, no país, de programas que tratem os resíduos gerados de forma adequada, e que possam, além de combater a poluição, gerar riquezas e empregos.

No estado de Minas Gerais, tomando-se como referência a produção de resíduos sólidos domésticos de 0,5 a 0,7 kg/hab./dia, observa-se que há produção diária mínima de aproximadamente 9.000 toneladas desse tipo de resíduo, levando em consideração a população atual do estado (PRADO FILHO & SOBREIRA, 2007).

Para a quantificação dos resíduos gerados pelos municípios, segundo o Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos (IBAM, 2001), é apresentada a tabela 2.4.

Tabela 2.4– Geração per capita de resíduos sólidos

| Tamanho da cidade | Pop. em n.º de hab.    | Geração per capita (kg/hab/dia) |
|-------------------|------------------------|---------------------------------|
| Pequena           | Até 30 mil             | 0,50                            |
| Média             | De 30 mil a 500 mil    | 0,50 a 0,80                     |
| Grande            | De 500 mil a 5 milhões | 0,80 a 1,00                     |
| Megalópole        | Acima de 5 milhões     | Acima de 1,00                   |

Fonte: IBAM, 2001.

### 2.1.3. Tratamento e Destinação

Em muitos municípios brasileiros a forma mais utilizada de destinação são os chamados “lixões”. Podemos entender como locais onde o resíduo é “descartado” sem qualquer cuidado especial. Por outro lado, em um aterro controlado existe uma cobertura diária com material inerte sobre o lixo depositado. Essa forma de destinação já diminui um pouco os impactos visuais negativos porque evita a proliferação dos vetores transmissores de doenças.

Os aterros sanitários são locais previamente tratados e preparados para receber os resíduos, a sua operação inclui não só a cobertura do resíduo, mas também a drenagem dos líquidos e gases formados na decomposição do mesmo.

Outro problema com relação à disposição dos resíduos sólidos são os impactos ao solo e aos reservatórios subterrâneos pela infiltração de lixiviado. O lixiviado pode conter matéria orgânica dissolvida ou solubilizada, nutrientes, produtos intermediários da digestão anaeróbia dos resíduos, como ácidos orgânicos voláteis, substâncias químicas, como por exemplo, metais pesados ou organoclorados oriundos do descarte de inseticidas e agrotóxicos, além de microorganismos (CASTILHO JUNIOR, 2006).

No Brasil, existe um número crescente de aterros sanitários, sobretudo nas Regiões Sudeste e Sul. Nas demais regiões, este tipo de destinação final é praticamente inexistente (JUCA et al, 2003).

Na figura 2.1, pode ser observado que a quantidade de aterros sanitários em nível nacional, ou seja, nos 5.507 municípios brasileiros, é maior que a de depósitos de resíduos a céu aberto, o mesmo não ocorre se observarmos em nível municipal, onde 73,1%, ou 4.026 municípios brasileiros

possuem população de até 20.000 habitantes, e nestes 68,5% dos resíduos gerados são depositados em lixões ou alagados (IBGE, 2000).

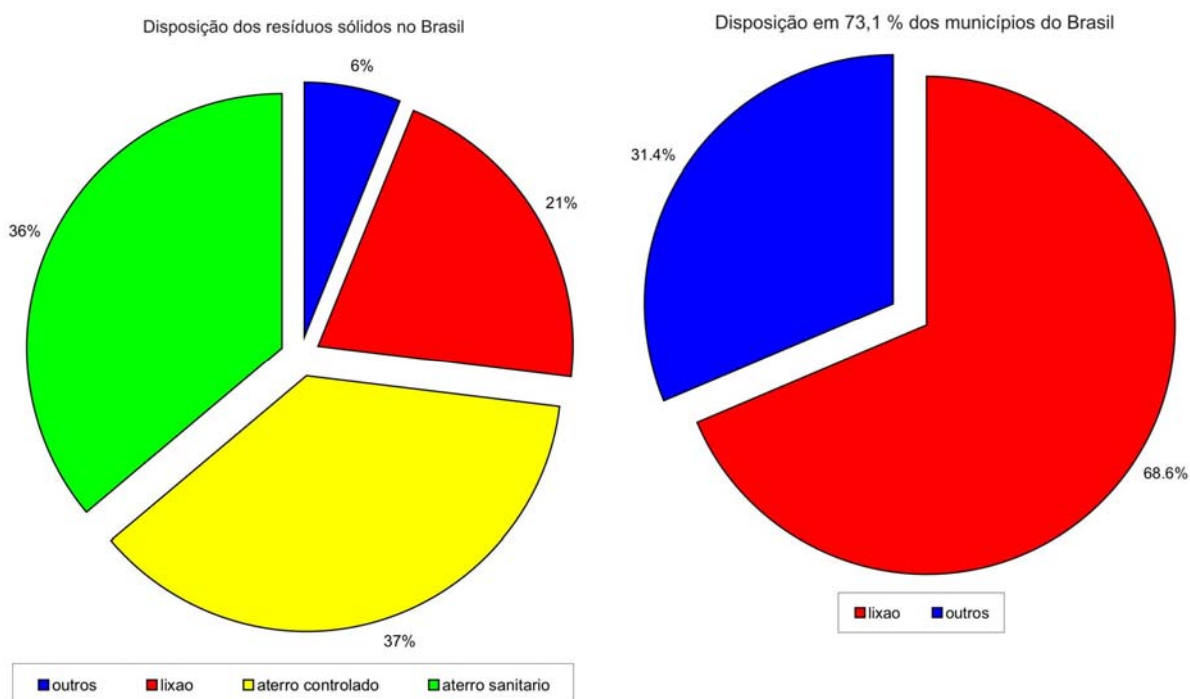


Figura 2.1 - Disposição dos Resíduos Sólidos no Brasil e disposição nos municípios com até 20 mil habitantes.  
Fonte: IBGE, 2000.

O Estado de Minas Gerais reforça esta estatística, onde segundo a FEAM<sup>[7]</sup>, até fevereiro de 2007 haviam 519 “lixões”, 207 aterros controlados e apenas 17 aterros sanitários em todo o estado. Por esta razão lançou a campanha “Minas sem lixões”, para tentar diminuir a quantidade desses depósitos de resíduos a céu aberto e sem tratamento, para que pelo o menos 60% dos resíduos sólidos urbanos gerados sejam descartados em sistemas tecnicamente adequados até o final de 2008.

Deve-se considerar também que existem poucos estudos, constantes na bibliografia nacional, que associam a exposição ambiental, relacionada à poluição e à contaminação ambiental ocorrentes nas áreas utilizadas para a disposição final de resíduos sólidos urbanos, aos agravos à saúde da população residente, vizinha a essas áreas (AZEVEDO & SCHALCH, 2005).

Com relação ao tratamento dos resíduos sólidos pode-se citar a reciclagem, a compostagem, a incineração e com relação à disposição final,

pode-se citar o depósito de lixo à céu aberto (“lixão”), o aterro controlado e o aterro sanitário que são apresentados nos itens seguintes.

#### **a) Reciclagem**

*A experiência de alguns países, no equacionamento deste problema, mostra que a redução na fonte, a reutilização e a reciclagem dos materiais são alternativas para se maximizar a vida útil dos aterros sanitários, além de reduzir a extração de recursos naturais para sua transformação em novos produtos. Entretanto, deve-se levar em consideração que a coleta seletiva envolve aspectos de ordem disciplinar e cultural, sendo que sua aplicação efetiva depende de um nível de conscientização da população (AVEZUM & SCHALCH, 2001).*

Uma usina de triagem separa os resíduos sólidos, em parte orgânica e inorgânica. A parte inorgânica é selecionada visando a reciclagem de materiais de interesse econômico como papel, plástico, vidro e metais (FEAM, 2007).

As etapas do processo de reciclagem são: coleta, transporte, triagem e estocagem. A coleta e o transporte podem ser diretas ou indiretas, seja pelo caminhão coletando diretamente nas residências, comércio, empresas, etc., ou indiretas através de vasilhames diferenciados colocados em pontos estratégicos da cidade.

Também podem ser organizados mutirões de coleta ou campanhas em colégios, igrejas, associações de bairros, etc. A triagem pode ser domiciliar ou feita pelo órgão gerenciador do resíduo. Porém, se os resíduos forem separados nos domicílios não haverá contaminação dos materiais e diminuirão os gastos no processo; por isso torna-se muito importante a participação e o envolvimento da sociedade enfatizando a necessidade da educação ambiental nas escolas, criando novos hábitos na população (GUIMARÃES, 2000).

No Brasil, a primeira experiência de coleta seletiva com resultados foi um programa no bairro de São Francisco, em Niterói-RJ, em 1985. Atualmente, existem, cerca de 240 programas de coleta seletiva, distribuídos em diferentes municípios. Os programas brasileiros deste tipo de coleta apresentam duas duas modalidades: a coleta porta a porta e a de entrega em

postos fixos, que são denominados PEV's ou LEV's (Postos ou Locais de Entrega Voluntária) (NOBREGA; LIMA; FLORES NETO, 2005).

As centrais de triagem e reciclagem em Minas Gerais atendem 4,4 milhões de pessoas, o que corresponde a 30 % da população urbana (PRADO FILHO & SOBREIRA, 2007).

## **b) Compostagem**

Define-se compostagem como processo natural de decomposição biológica e materiais orgânicos, de origem animal e vegetal, pela ação de microorganismos. Para que ele ocorra não é necessária a adição de qualquer componente físico ou químico à massa do lixo.

A compostagem pode ser aeróbia ou anaeróbia, em função da presença ou não de oxigênio no processo. Na compostagem anaeróbia a decomposição é realizada por microorganismos que podem viver em ambientes sem a presença de oxigênio; ocorre em baixa temperatura, com exalação de fortes odores, e leva mais tempo até que a matéria orgânica se estabilize.

Na compostagem aeróbia, processo mais adequado ao tratamento do lixo domiciliar, a decomposição é realizada por microorganismos que só vivem na presença de oxigênio. A temperatura pode chegar a até 70°C, os odores emanados não são agressivos e a decomposição é mais veloz. O processo de compostagem aeróbio de resíduos orgânicos tem como produto final o composto orgânico, um material rico em húmus e nutrientes minerais que pode ser utilizado na agricultura como condicionador de solos, com algum potencial fertilizante (IBAM, 2001).

Devido ao resíduo urbano no Brasil apresentar um alto percentual de matéria orgânica (em torno de 50 %), a utilização da compostagem seria uma solução viável para minimizar a quantidade de resíduo a ser disposta. Através da compostagem, pode-se reduzir à metade a massa de lixo processada, obtendo-se em prazo curto de tempo um produto final bioestabilizado (composto orgânico) que pode ser utilizado na agricultura ou lançado no solo sem risco ambiental significativo (GUIMARÃES, 2000).

### **c) Incineração**

A incineração é um processo de queima, na presença de excesso de oxigênio, o qual os materiais à base de carbono são decompostos, desprendendo calor e gerando um resíduo de cinzas. Normalmente, o excesso de oxigênio empregado na incineração é de 10 a 25 % das necessidades de queima dos resíduos (IBAM, 2001).

Conforme D'ALMEIDA & VILHENA (2000), o tratamento térmico é um processo onde pode se ter: assepsia do material, redução de volume e aproveitamento da energia contida no resíduo. Este tratamento pode ser classificado em dois tipos: o de baixa temperatura e de alta temperatura. Os tratamentos a baixa temperatura ocorrem em uma temperatura em torno de 100 °C e visa principalmente a assepsia do resíduo sólido, razão pela qual é utilizado normalmente para tratamento de Resíduos de Serviços de Saúde. A baixa temperatura, a massa orgânica praticamente não se altera, podendo ter uma leve redução em volume. Os tratamentos a alta temperatura normalmente ocorrem em temperaturas acima de 500 °C onde se objetiva principalmente a redução da massa orgânica (70%) e volume (90%) e também a assepsia.

Atualmente a tecnologia empregada na construção dos incineradores permite que o processo se dê com redução de peso (em até 85%) e de volume (em até 97%), do lixo, através da combustão controlada de 800 a 1.000° C. Tal sistema permite que resíduos classificados como perigosos (provenientes de atividades industriais ou de serviços de saúde) também possam ser incinerados, sendo considerado, portanto, atualmente, um dos melhores métodos de tratamento para resíduos, na medida em que o volume é reduzido drasticamente, bem como a periculosidade do mesmo (NARUO, 2003).

### **d) Depósito de lixo à céu aberto (Lixão)**

O lixão é a forma inadequada de disposição final dos resíduos sólidos, que se caracteriza pela simples descarga de resíduos sobre o solo, sem nenhuma medida de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública (FEAM, 2007).

Essa forma de disposição promove a proliferação de vetores de doenças, geração de maus odores, poluição do solo e de mananciais superficiais e subterrâneos pelo chorume. Acrescenta-se a isso o problema social e de saúde pública referente à presença de famílias inteiras garimpando o lixo em condições insalubres. Apesar de ser o pior tipo de disposição de resíduos sólidos é o mais comum no Brasil (NARUO, 2003).

#### **e) Aterro Controlado**

Segundo a norma NBR 8.849 – o Aterro Controlado é definido como:

*Técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos ou riscos à saúde pública e à 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 (ABNT, 1985).*

Este método, apesar de ser melhor que o lixão, ainda está longe de ser a melhor alternativa, pois, mesmo na NBR 8.849 (ABNT, 1985), não se prevê sistemas como a de drenagem e remoção do percolato, não garantindo a proteção do solo e mananciais de água potável (FEAM, 2007).

#### **f) Aterro Sanitário**

Para a FEAM, um aterro sanitário, ilustrado na figura 2.2, é a forma de disposição final do resíduo sólido em camadas cobertas com material inerte, geralmente solo, segundo normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e ao meio ambiente. O aterro sanitário é impermeabilizado e possui sistemas de drenagem de gases e tratamento de chorume (FEAM, 2007).

A norma ABNT NBR 8419/1992 define aterro sanitário como:

*Técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que 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 for necessário (ABNT, 1992).*



Figura 2.2 - Aterro Bandeirantes (foto aérea).  
Fonte: Site ARCADIS Logos Engenharia apud COSTA (2006).

A composição gravimétrica de um aterro de resíduos sólidos é uma informação básica para o monitoramento e avaliação de projetos ambientais. A obtenção dessa informação é dificultada pela inexistência de procedimentos padrões de amostragem, pela heterogeneidade dos RSU e pela forma de disposição desses resíduos ou tipo de aterro, entre outros fatores. (MATTEI & ESCOSTEGUY, 2007)

## **2.2 Aspectos Legais e Técnicos**

O contexto global de contaminação pelo tratamento e destinação finais inadequados tem gerado inúmeros estudos, para tanto, devem ser considerados os aspectos legais e técnicos de cada região ou país onde estes estudos são realizados, a fim de compreender as melhores soluções para cada caso, os aspectos relacionados com o estudo de caso deste trabalho são apresentados a seguir.

### 2.2.1 Aspectos Legais

A preocupação com o problema dos resíduos sólidos deu-se inicialmente sob o enfoque da saúde humana, com a edição da Lei n.º 2.312 de 03/1954, que prescrevia que a coleta, o transporte e o destino final do lixo deveria se dar em condições que não importassem inconvenientes à saúde humana e ao bem estar público (MILARÉ, 2007).

Com o advento da Constituição Federal de 1988 em seu Art. 225, os aspectos ambientais foram incorporados, onde menciona:

*Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo, para as presentes e futuras gerações* (MILARÉ, 2007).

A Constituição Federal, em seu Artigo 30, estabelece competência do município para organizar e prestar assistência direta ou indiretamente sob regime de concessão ou permissão aos serviços públicos de interesse local.

Também deve ser observado que os aterros sanitários como obra de engenharia devem atender, em seus projetos de construção a Lei n.º 9.605 de 02/1998 - Lei de Crimes Ambientais na Seção III – Da Poluição e outros Crimes Ambientais no artigo 54, e por gerar uma atividade modificadora do Meio Ambiente deve atender também a Resolução CONAMA <sup>[8]</sup>, n.º 001 de 01/1986 que estabelece a implementação da Avaliação de Impacto Ambiental (AIA); neste caso o licenciamento dessa atividade deve ser submetido à aprovação do órgão estadual competente.

Entre as legislações existentes destaca-se a Portaria n.º. 53, de 03/79, de caráter Federal, que estabelece normas aos projetos específicos de tratamento e disposição de resíduos sólidos, bem como a fiscalização de sua implantação, operação e manutenção. Ainda em caráter Federal pode-se considerar que a área de saneamento no Brasil atravessa momento de ricas possibilidades de novas formulações teórico-conceituais e metodológicas, após a promulgação da Política Nacional do Saneamento, Lei 11.445/2007 (MILARÉ, 2007). Tal instrumento legal implica na construção de um novo quadro institucional para a área, o qual, por sua vez, estabelece diretrizes

nacionais para o saneamento básico mais efetivo no atendimento dos interesses da população.

A nova legislação define as regras para o aumento de investimentos privados e públicos no setor. Os focos são o planejamento, a fiscalização e a participação social. Ao obrigar o poder público a produzir planos de resíduos sólidos, de recursos hídricos e de saneamento básico e a criar agências reguladoras, a lei torna o saneamento um negócio seguro e rentável. Outro destaque é o fortalecimento da comunidade na gestão associada dos consórcios municipais a serem implementados. (HELLER & CASTRO, 2007).

Na questão do planejamento integrado podemos citar a Lei dos Consórcios Públicos, Lei n.º 11.107/2005, criada para facilitar, principalmente, a solução de problemas comuns a municípios de regiões metropolitanas, a Lei dos Consórcios Públicos.

Em Minas Gerais, o ICMS<sup>[9]</sup> Ecológico, segundo a Lei Estadual n.º 12.040/95, incentiva as administrações municipais a buscar soluções para os problemas sócio-ambientais que se relacionam com os RSU. Tal instrumento legal define a redistribuição aos municípios uma parcela de um quarto da receita arrecadada pelo Estado com o ICMS, permitindo que eles se beneficiem desses recursos por meio da apresentação de projetos em várias áreas, inclusive a de meio ambiente e saneamento (PRADO FILHO & SOBREIRA, 2007).

Ainda no Estado de Minas Gerais, com relação à disposição final dos resíduos sólidos existe a Deliberação Normativa 52/2001, do COPAM<sup>[10]</sup> menciona:

- *dispor o lixo em local com solo e/ou rocha de baixa permeabilidade, com declividade inferior a 30%, boas condições de acesso, a uma distância mínima de 300m de cursos d'água ou qualquer coleção hídrica e de 500m de núcleos populacionais, fora de margens de estradas, de erosões e de áreas de preservação permanente;*
- *implantar sistema de drenagem pluvial em todo o terreno para reduzir o ingresso das águas de chuva na massa de lixo aterrado;*

- Compactar e recobrir o lixo com terra ou entulho, no mínimo, três vezes por semana;
- isolar com cerca complementada por arbustos ou árvores que contribuam para dificultar o acesso de pessoas e animais;
- proibir a permanência de pessoas no local de disposição final de lixo para fins de catação, devendo o município criar alternativas técnicas, sanitárias e ambientalmente adequadas para a realização das atividades de triagem de recicláveis, propiciando a manutenção de renda das pessoas que sobrevivem dessa atividade (FEAM, 2007).

### **2.2.2 Aspectos Técnicos**

Um dos aspectos mais importantes na destinação adequada dos resíduos sólidos é a escolha do local para implantação de um aterro sanitário. O local onde será executado o projeto de engenharia civil é uma etapa de pré-projeto e deve atender às condições impostas na legislação.

A ABNT, através de suas normas NBR 8419 - Apresentação de Projetos de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos e NBR 13896 – Aterros de resíduos sólidos não perigosos, critérios para projeto, implantação e operação (JURAS, 2001), apresenta os seguintes parâmetros:

- *Impacto ambiental a ser causado pela instalação seja minimizado;*
- *A aceitação da instalação pela população seja minimizada;*
- *Esteja de acordo com o Zoneamento Ambiental e da região;*
- *Possa ser utilizado por um longo período de tempo, necessitando apenas de um mínimo de obras para início da operação (ABNT, 1997).*

### **2.2.3 Variáveis Ambientais para escolha de áreas para implantação de aterros sanitários**

As variáveis ambientais consideradas na análise são decisivas, e os estudos realizados neste sentido, indicam que as análises devem ser realizadas de acordo com a disponibilidade de dados. As variáveis apresentadas a seguir são as que foram utilizadas no estudo de caso do presente trabalho.

### a) Textura

A textura é o tamanho relativo e a distribuição das partículas sólidas que formam os sedimentos ou solos. O estudo de textura é realizado por intermédio do ensaio de granulometria conjunta (peneiramento e sedimentação). Pela textura, os materiais podem ser classificados em dois grandes grupos: solos grossos (areia, pedregulho e matacão) e solos finos (silte e argila) (EMBRAPA, 1997).

A representação gráfica do resultado do ensaio de granulometria é dada pela curva granulométrica do solo. A partir desta curva pode-se separar os solos grossos dos solos finos, apontando as porcentagens equivalentes de cada fração granulométrica que constitui o sedimento (pedregulho, areia, silte e argila). Segundo a NBR 6502, os solos podem ser classificados pela escala granulométrica apresentada na figura 2.3.

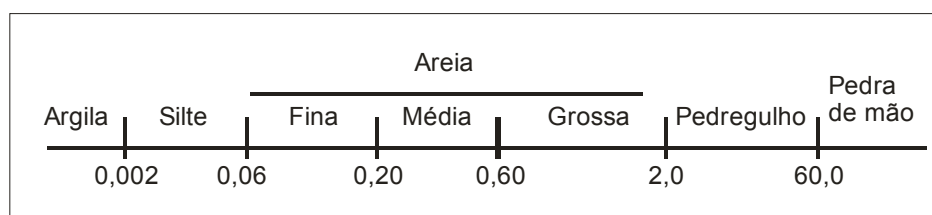


Figura 2.3: Escala granulométrica determinada pela NBR 6502.  
Fonte: ABNT (1986).

Para ELIS & ZUQUETTE (2002) e GUIMARÃES (2000), os solos aptos à implantação de aterro sanitário são os que possuem até 40 % de sua composição de areia e o restante de argila e silte.

Em geral, quanto mais finos forem os solos, ou seja, com mais silte e argila, mais adequado será para receber um aterro.

### b) Declividade

Podemos definir declividade como: *a inclinação da superfície do terreno em relação ao plano horizontal. Considerando um modelo numérico de terreno de dados altimétricos extraídos de uma carta topográfica e traçando um plano tangente a esta superfície num determinado ponto P, a declividade neste ponto corresponde a inclinação deste plano em relação ao plano horizontal*

(INPE, 2006). A declividade determina um único atributo, que é a variação da inclinação da superfície do terreno.

A formação do relevo do terreno deve ser observada durante a escolha de locais para a implantação de aterro sanitário. Tal procedimento visa atender legislação específica para o ordenamento urbano, melhorando o zoneamento da cidade. Segundo a Lei de Uso e Ocupação do Solo n.º 6.766/79 em seu artigo 3º, dispõe:

*Parágrafo único. Não será permitido o parcelamento do solo:*

*III - em terrenos com declividade igual ou superior a 30 % (trinta por cento) salvo se atendidas as exigências específicas das autoridades competentes;*

*IV - em terrenos onde as condições geológicas não aconselham a edificação (MEDAUER, 2006).*

### **c) Uso do solo**

Quando se trata da qualidade do meio ambiente, a expressão “uso do solo” não possui apenas um sentido. Ela traz diferentes significações conforme é empregada em Geologia, Agricultura, Física, Geografia. O solo tem normalmente dois significados, como recurso natural e como espaço social.

O uso do solo, como recurso natural ou como espaço social, não pode estar desvinculado de medidas indutoras e instrumentos reguladores de desenvolvimento nacional. É enfatizada, a importância das bacias hidrográficas como unidade de planejamento e desenvolvimento micro-regional. A proteção do solo é tutelada, geralmente, sob o enfoque da atividade humana que dele necessita para se desenvolver (MILARÉ, 2007).

Ele deve obrigatoriamente ser limitado a fim de atender a preservação do meio ambiente. Esta mesma limitação deve ser aplicada ao uso do solo para a implantação de aterro sanitário que deve respeitar tais limites ambientais, onde segundo a Resolução 303/2002 do CONAMA é considerado de dever Público e dos particulares:

*Preservar a biodiversidade, notadamente a flora, a fauna, os recursos hídricos, as belezas naturais e o equilíbrio ecológico, evitando a*

*poluição das águas, solo e ar, pressuposto intrínseco ao reconhecimento e exercício do direito de propriedade (MEDAUAR, 2006).*

Neste sentido pode-se ainda citar a Lei n.º 6.766/79 de Uso e Ocupação do Solo que em seu artigo 3º, dispõe, além do citado no item anterior (c), o seguinte:

*V – Em áreas de preservação ecológica ou naquelas onde a poluição impeça condições sanitárias suportáveis, até sua correção” (MEDAUAR, 2006).*

Ainda pode-se citar a NBR 13896, que determina que aterros sanitários só possam ser construídos em áreas de uso conforme a legislação local de uso do solo.

#### **d) Hidrografia**

A água dentro do ecossistema planetário tem um papel múltiplo junto aos biomas, seja como integrante da cadeia alimentar e dos processos biológicos, seja como condicionante do clima e dos diferentes habitats (MILARÉ, 2007).

O objetivo do estudo da hidrografia é toda a água da superfície da Terra, abrange os oceanos, mares, galerias, água do subsolo, lagos, água da atmosfera e rios é, portanto o conjunto de água de uma região.

Ao selecionar áreas para a implantação de aterro sanitário deve-se observar, prioritariamente a questão dos recursos hídricos, tendo como base para esta gestão a Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei n.º 9433/9, que define:

*Art. 1º A Política Nacional de Recursos Hídricos baseia-se nos seguintes fundamentos:*

*I - a água é um bem de domínio público;*

*II - a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;*

*III - em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;*

*IV - a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;*

*V - a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;*

*VI - a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades (MILARÉ, 2007).*

Atualmente os recursos hídricos têm sido tema de debates, sobretudo no meio acadêmico e nas diversas instâncias administrativas do setor público. Este quadro reflete a percepção de que a água destaca-se como um bem estratégico sob o ponto de vista de sua disponibilidade, qualidade e utilização.

Deve-se observar também que a profundidade do lençol freático possui grande importância na escolha de áreas para a implantação de aterro, uma vez que se relaciona diretamente à distância que o poluente deve percorrer para atingi-lo (LANJEIRA, 2003).

Para COSTA, 2001 devem ser consideradas áreas como não-aptas à implantação de aterro, onde a profundidade do lençol freático seja abaixo de 1 metro. Quanto mais profundo for o nível d'água subterrânea, mais protegido estará o aquífero e portanto, mais adequada será área para receber resíduos.

#### **e) Áreas de Proteção Permanente**

O Código Florestal (Lei nº 4.771, de 15/09/65, alterada pela Lei nº 7.803, de 8/08/93), em seu Artigo 1º Parágrafo II define como Áreas de Proteção Permanente como:

*Área protegida nos termos dos arts. 2º e 3º desta Lei, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger solo e assegurar o bem-estar das populações humanas (MEDAUAR, 2006).*

Esta mesma Lei, em seu artigo 2º considera Áreas de Preservação Permanente as florestas e demais formas de vegetação situadas em:

- a) *ao longo dos rios ou qualquer curso d'água desde seu nível mais alto em faixa marginal cuja largura mínima seja: 1) de 30 metros para cursos d'água de menos de 10 metros de largura; 2) de 50 metros para cursos d'água que tenham de 10 a 50 metros de largura; 3) de 100 metros para os cursos d'água que tenham de 50 a 200 metros de largura; 4) de 200 metros para os cursos d'água que tenham de 200 a 600 metros de largura e 5) de 500 metros para cursos d'água que tenham largura superior a 600 metros;*
- b) *ao redor de lagoas, lagos e reservatórios d'água naturais e artificiais;*
- c) *nas nascentes, ainda que intermitente e nos chamados "olho d'água", qualquer que seja sua situação topográfica;*
- d) *no topo de morros, montes, montanhas e serras;*
- e) *nas encostas ou partes destas, com declividade superior a 45°;*
- f) *restingas, como fixadoras de dunas ou estabilizadoras de mangues;*
- g) *as bordas dos tabuleiros ou chapadas, a partir da linha de ruptura de relevo em uma faixa nunca inferior a 100 metros;*
- h) *em altitude superior a 1.800 metros, qualquer que seja a vegetação.*

A NBR 13896 determina, ainda, que não deve ser implantado aterro sanitário em áreas sujeitas à inundações.

#### **f) Geologia**

Para uma seleção de áreas satisfatória, são criados vários modelos geológico-geotécnicos com base em critérios pré-estabelecidos, voltados à necessidade de cada área de estudo (LARANJEIRA, 2003).

A confecção de mapas de geologia orienta estudos - levantamentos e interpretações - visando identificar os atributos que sejam sensíveis para a compreensão da dinâmica e da vulnerabilidade do subsistema da natureza.

Quanto aos solos, eles são resultantes das transformações das rochas em decorrência da ação do relevo, clima e organismos. A estes processos de transformações denomina-se pedogênese. As rochas, portanto, são os materiais de origem dos solos, cuja mineralogia influencia em suas características físicas e químicas. Assim, a mineralogia que compõe as rochas influi na fertilidade e acidez dos solos, na profundidade e textura dos solos

(minerais mais ou menos resistentes aos processos de transformações) e na morfologia das unidades de paisagem. As características físicas dos solos e sua inserção na paisagem influem na dinâmica do Ciclo Hidrológico, considerando-se que as bacias hidrográficas são os compartimentos geográficos onde se processa este ciclo em interação com os componentes das respectivas paisagens. Por outro lado, as características mineralógicas dos solos e rochas, influem nas características químicas das águas superficiais e subterrâneas das bacias hidrográficas onde se inserem (IGA<sup>[11]</sup>, 2007).

Os processos naturais, como formação dos solos, lixiviação, erosão, deslizamentos, modificação do regime hidrológico e da cobertura vegetal, entre outros, ocorrem nos ambientes naturais, mesmo sem a intervenção humana. Entretanto, o homem com sua ação antrópica causa vários danos ao solo e à cobertura vegetal natural, trazendo como consequência a degradação dos recursos naturais e da qualidade de vida, o assoreamento de rios, o deslizamento das encostas, as enchentes, etc. (GUIMARÃES, 2000).

Nas últimas décadas, graças a avanços tecnológicos, tanto em termos computacionais como em equipamentos de laboratório e de campo mais refinados, tem sido intensa a obtenção de dados geológicos quantitativos. A sua análise, porém, esta muito aquém dessa imensa quantidade de informações coletadas (LANDIM, 2006).

Para a realização de um planejamento urbano e regional é necessário existir um sistema complexo de cooperação multidisciplinar, onde o ambiente natural é o aspecto a ser considerado, fazendo-se uso de todas as informações geológicas possíveis, assegurando uma harmonia entre os fatores sociais, econômicos, tecnológicos e ambientais (BARISON, 1995).

Para o mesmo autor, áreas com formação rochosa do tipo sedimentar Aluvião devem ser evitadas na escolha de locais para a implantação de aterro sanitário, por serem materiais muito permeáveis.

As rochas ausentes de alteração e preferencialmente sem fraturas, são os materiais ideais para um substrato que irá receber resíduos.

#### **f) Outros fatores que devem ser considerados**

Além das variáveis ambientais apresentadas, devem ser considerados, a direção dos ventos, a profundidade do solo e dos lençóis freáticos.

Os ventos são denominados a partir da direção de onde eles sopram. Um vento norte sopra de norte para sul, um vento leste sopra de leste para oeste. A direção do vento é, portanto, o ponto cardeal de onde vem o vento.

Os locais a montante de concentrações urbanas devem ser evitados, porque em época de inverno, em que as condições de inversão térmica se instalam, os ventos passam a conduzir os efluentes gasosos provenientes do aterro à área urbana. Nesse caso é indicado que seja guardada uma distância a partir da qual o efeito se dissipa, cerca de 10 km, dependendo do porte do aterro. Esta direção e intensidade predominantes não devem possibilitar o transporte de poeira ou maus odores para núcleos habitacionais (GUIMARÃES, 2000 e RODRIGUES, 2002).

Com relação à profundidade do solo, dois fatores devem ser observados. O nível da cota máxima do lençol freático e a profundidade do substrato rochoso.

A cota máxima do lençol freático deve estar, para solo argiloso a 3 metros de profundidade e para solos arenosos, a distâncias superiores. O substrato rochoso deve estar a uma profundidade de 20 a 25 m de solo da base do aterro (GUIMARÃES, 2000). Quanto maior for a profundidade, melhor será, porque o material escavado é inconsolidado, evitando explosões.

Devem ser considerados também o zoneamento e plano diretor municipal.

## **2.3 Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos**

A solução para o tratamento de resíduos passa obrigatoriamente pela implantação de um sistema de gerenciamento integrado, que é uma forma diferenciada de manejo de resíduos, que combina diferentes métodos de coleta e tratamento para lidar com todos os materiais no fluxo de geração e descarte dos resíduos, de maneira ambientalmente efetiva, economicamente pagável e socialmente aceitável (CASTILHO JUNIOR, 2006).

Para o Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos (IBAM, 2001), o gerenciamento é definido também como:

*Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos é, em síntese, o envolvimento de diferentes órgãos da administração pública e da sociedade civil com o propósito de realizar a limpeza urbana, a coleta, o tratamento e a disposição final do lixo, levando em consideração as características das fontes de produção, o volume e os tipos de resíduos, as características sociais, culturais e econômicas dos cidadãos e as peculiaridades demográficas, climáticas e urbanísticas locais (IBAM, 2001).*

O planejamento estratégico regional de um sistema integrado de gerenciamento de resíduos sólidos é uma etapa crítica que, se não for elaborado de maneira apropriada, poderá levar à concepção de um sistema de gerenciamento ineficiente. Portanto, o planejamento regional afeta o projeto, a implantação e a implementação, além da eficiência da totalidade dos sistemas gerencial e operacional. Assim, a otimização da estratégia do gerenciamento integrado para uma região requer o conhecimento das alternativas e tecnologias disponíveis de gerenciamento dos resíduos, custos econômicos e ambientais associados a essas alternativas e sua aplicabilidade para uma região específica, sendo importante que o administrador tenha como base um planejamento regional otimizado de gerenciamento para atingir metas pré-estabelecidas.

Cada estado brasileiro, a sua maneira, tem encontrado alternativas para aprimorar o sistema de limpeza pública, ficando limitado, entretanto, pela falta de dados técnicos relativos à geração, composição e conseqüente operacionalização dos resíduos sólidos urbanos. Entretanto, a falta de atualização e a não sistematização das informações sobre os resíduos sólidos no Brasil têm representado um grave empecilho para o conhecimento mais amplo da situação destes serviços, o que dificulta o estabelecimento de políticas públicas para o desenvolvimento desta área e, também, para direcionar a atuação das entidades governamentais ou privadas que tratam à questão. Outro fator importante e que deve ser considerado é a falta de dados

consistentes e confiáveis sobre a geração dos resíduos e os serviços prestados em municípios do interior dos estados (BRAGA & RAMOS, 2006).

O gerenciamento de resíduos sólidos, de forma adequada respeitando as condições ambientais locais, indica uma preocupação, por parte dos órgãos públicos, em estabelecer vínculos entre as atividades humanas e sociais e o sistema ambiental, interagindo de forma harmônica as três esferas da comunidade: a econômica, a social e a esfera ambiental.

Uma das alternativas para o gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos, seria a implantação de programas de coleta seletiva, primeiramente em um bairro piloto e, posteriormente, em todos os municípios envolvidos no programa. A coleta seletiva, a educação sanitária e ambiental além de outras ações integradas, representa práticas que garantem benefícios sociais, econômicos e principalmente, consciência ecológica por parte da população, resultando assim, em ações de mudança de comportamento para uma melhor qualidade de vida (FIORENTINI, 2002).

## **2.4 Exemplos de Ferramentas de Gerenciamento Integrado**

No gerenciamento integrado são utilizadas algumas ferramentas para efetivar seus objetivos. Esses instrumentos são mecanismos de que se vale a Administração Pública para implementar e perseguir os objetivos de uma determinada política. Tais mecanismos podem incluir os aparatos administrativos, os sistemas de informação, as licenças e autorizações, pesquisas e métodos científicos, técnicas educativas, incentivos fiscais e outras medidas econômicas.

Os instrumentos de política ambiental costumam ser classificados em: (i) instrumentos corretivos, que se destinam a tratar e corrigir casos de degradação ambiental resultantes de ações passadas, que incluem o controle ambiental de atividades econômicas instaladas sem as devidas medidas de proteção do meio ambiente, os investimentos em pesquisa, equipamento e obras, os incentivos fiscais, os planos de recuperação da qualidade de sistemas ambientais (baías, restingas, bacias hidrográficas etc.);

- (ii) instrumentos preventivos, que visam evitar a ocorrência de novas formas de degradação, como o licenciamento ambiental, a avaliação de impacto ambiental, os planos diretores do uso do solo e de outros recursos ambientais, a criação de *unidades de conservação* da natureza;
- (iii) os instrumentos de potencialização do uso dos recursos, que tratam de melhor aproveitá-los, como a reciclagem de materiais, o reaproveitamento de rejeitos, a economia e a racionalização do uso de energia ou de água, o emprego de fontes de energia não convencionais, as tecnologias limpas;
- (iv) instrumentos de persuasão, que pretendem a mudança de comportamento da sociedade no sentido de melhor harmonizar suas atividades com a proteção do meio ambiente, que incluem as diversas formas de educação ambiental, de informação e de incentivos para a adoção de práticas ambientalmente sustentáveis (MILARÉ, 2007).

A seguir são apresentados alguns instrumentos de gestão integrada, pertinentes à temática deste trabalho.

#### **2.4.1 Plano Diretor**

Plano Diretor é o instrumento básico da política de desenvolvimento e expansão urbana. A sua elaboração deve ser definida levando em consideração as vulnerabilidades locais, as peculiaridades do homem, da sociedade e da natureza, através de estudos ambientais e do meio físico, para que o parcelamento e uso do solo nas suas inúmeras atividades sejam planejados dentro de critérios jurídico-urbanísticos que conduzam ao desenvolvimento (MEDAUAR, 2006).

A Constituição Federal em vigor tornou obrigatório o Plano Diretor para os Municípios com mais de 20 mil habitantes, entretanto a maioria dos municípios brasileiros ainda não dispõe do seu plano (MEDAUAR, 2006).

#### **2.4.2 Zoneamento Ambiental**

O Zoneamento Ambiental foi instituído no art. 9º da Lei nº 6.938/81.

É um procedimento que visa à regulamentação do uso da propriedade do solo e das construções. Consiste na divisão do território (municipal, regional ou nacional) em parcelas, nas quais se autorizam determinadas atividades, seja para o zoneamento urbano ou para indústria.

Este tipo de zoneamento, na espacialização de um determinado território, deve utilizar os seguintes pressupostos: urbanismo, saúde pública, análise de risco da poluição e contaminação ambiental e principalmente da qualidade de vida da população.

Os Estados e municípios podem estabelecer seus zoneamentos ambientais, levando em consideração suas particularidades, para adequá-los às necessidades locais, devendo, porém cumprir os objetivos do plano nacional.

Através do Ordenamento Territorial procura-se atingir a sustentabilidade ecológica, econômica e social. Esse processo configura o denominado Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) que, conforme explicita a própria Constituição Federal, deve se constituir no principal instrumento para a ocupação racional dos espaços, objetivando o melhor aproveitamento ou o redirecionamento de atividades antrópicas.

O Zoneamento Ecológico-Econômico tem a finalidade de fornecer subsídios técnicos aos órgãos de planejamento do governo afim de que sejam estabelecidas políticas públicas de ordenamento territorial visando à melhoria da qualidade de vida das gerações futuras, consequentemente levando ao desenvolvimento sustentável (GUIMARÃES, 2000).

Deve-se citar também a Avaliação Ambiental Estratégica que é o conjunto de atividades com o objetivo de prever, interpretar, mensurar, qualificar e estimar a magnitude e a amplitude espacial e temporal do impacto ambiental potencialmente associado a uma determinada política, plano ou programa, tendo em vista, a opção por alternativas tecnológicas ou de localização que reduzam os efeitos ambientais adversos e a proposição de programas e ações compensatórias dos efeitos ambientais diversos (MILARÉ, 2007).

### **2.4.3 Educação Ambiental**

A Educação Ambiental foi primeiramente definida pela Conferência de Tbilisi (1977) apud ZANETTI, 2006) como:

*Um processo permanente no qual os indivíduos e a comunidade tomam consciência de seu meio ambiente e adquirem o conhecimento, os valores, as habilidades, as experiências e a determinação que os tornam aptos a agir.*

No Brasil, a Lei 9.795 de 27/04/99, dispõe sobre a Educação Ambiental e institui a Política Nacional de Educação Ambiental, que é definida como:

*Processos por meio dos quais o indivíduo e a coletividade constroem valores sociais, conhecimentos, habilidades, atitudes e competências voltadas para a conservação do meio ambiente, bem de uso comum do povo, essencial à sadia qualidade de vida e sua sustentabilidade (MEDAUAR, 2006).*

Os princípios básicos da educação ambiental são: enfoque humanista e participativo; concepção do meio ambiente em sua totalidade; pluralidade de idéias e concepções pedagógicas, na perspectiva de inter, multi e transdisciplinaridade; vinculação entre a ética, a educação, o trabalho e as práticas sociais; garantia de continuidade e permanência do processo educativo; abordagem articulada das questões ambientais locais, regionais, nacionais e globais; reconhecimento e respeito à pluralidade e a diversidade individual e cultural.

Há uma insustentabilidade da estrutura sócio-ambiental das cidades, tanto das relações entre as pessoas, como das relações das pessoas com a natureza e com os seus resíduos. Para que estas relações sejam viáveis, é necessário que haja uma Educação integrada no processo de Gestão Ambiental que:

*Proporcione as condições necessárias para a produção e aquisição de conhecimentos e habilidades, e, que desenvolva atitudes, visando à participação individual e coletiva na gestão do uso de recursos ambientais e na concepção e aplicação das decisões que afetam a qualidade dos meios físico-natural e sócio-cultural (ZANETTI, 2006).*

#### 2.4.4 Consórcios Municipais

A gestão de resíduos sólidos urbanos em municípios de pequeno porte sofre, em geral, diversas restrições diante do aumento de responsabilidades e da escassez de recursos financeiros do poder público municipal. Nesse contexto, o consórcio intermunicipal emerge como um instrumento facilitador.

Quanto à conceituação de Consórcio Intermunicipal, para FIORENTINI (2002), é:

*Uma proposta alternativa de solução do problema dos resíduos sólidos urbanos na microrregião, com adequado tratamento e/ou aproveitamento e disposição final dos resíduos sólidos urbanos (FIORENTINI, 2002).*

O consórcio intermunicipal que envolve a operação e o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos, necessita de muita determinação e perseverança por parte de todos os envolvidos: administração pública, empresas, escolas e organizações civis.

Um exemplo de atividade ambientalmente responsável e sustentável são os consórcios intermunicipais – aterros sanitários coletivos entre os municípios próximos para a gestão dos resíduos sólidos urbanos. Os desafios a serem superados para a implantação desse sistema referem-se a mais integração dos municípios, a garantia da continuidade do consórcio, a maior abrangência do programa e o avanço na área ambiental e na área tecnológica.

Os aterros coletivos são soluções a longo prazo e mostram-se eficientes. Lembra-se que os modelos devem oferecer alternativas para evitar problemas possíveis, inclusive os cidadãos têm uma co-responsabilidade para com os resíduos sólidos e industriais (FIORENTIN, 2002).

Os consórcios intermunicipais mais difundidos no território brasileiro são os referentes às áreas da saúde e de recursos hídricos, inclusive com legislação nacional específica para esses setores e que, segundo SILVEIRA & PHILIPPI (2005), são os que mais recebem um aporte de recursos financeiros do governo federal.

Na questão específica de resíduos sólidos, devido à fragmentação das informações relativas a esses consórcios (de tratamento ou disposição final;

de reciclagem, de coleta seletiva, etc.), não há como serem constatadas as interconexões, entre os diversos arranjos institucionais e a identificação dos municípios pertencentes aos mesmos. O que nos induz à questão dos mesmos possuírem mais de uma finalidade, fato que possibilita que sua contabilização se realize por mais de uma vez (SILVEIRA & PHILIPPI, 2005). Para que os consórcios possam ser constituídos, alguns pressupostos são necessários de acordo com SILVEIRA & PHILIPPI (2005), tais como a:

- 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. Categoria essa, que carece de maior precisão.

#### **2.4.5 Sistema de Informação Geográfica**

O S.I.G. é abordado geralmente na literatura, enfocando seus conceitos no sistema computacional. Porém, partindo do princípio de que um sistema para ser implementado, não basta apenas um software que trabalhe com um banco de dados e mapas digitalizados, é importante que exista recurso humano qualificado, um objetivo no seu uso e interação com outras áreas dentro da organização. Portanto, S.I.G. de uma forma mais ampla, pode ser entendido como uma coleção de software, hardware, dados geográficos e profissionais para facilitar o processo de tomada de decisão que envolve o uso de informações georeferenciadas na organização (NARUO, 2003).

Sucintamente o S.I.G. apresenta na sua estrutura os seguintes componentes:

dados - alimentados em bancos;

hardware - são os equipamentos necessários como computador, processador, impressora, plotter, mesa digitalizadora;

softwares - compostos por programas específicos (software gerenciador) para processamento de dados espaciais;

equipe de trabalho - composta preferencialmente de forma multidisciplinar.

Os dados espaciais possuem duas estruturas de representação: o raster e o vetorial ; como representado na Figura 2.4 . Na representação raster, o objeto espacial se encontra em formato matricial, organizado como uma malha de células, pixels (abreviatura para elementos de imagem), que associada aos valores numéricos podem representar algum aspecto do ambiente da área em estudo. Nesta forma de representação os pontos passam a ser os pixels, as linhas são uma seqüência de pixels adjacentes e enfileiradas, com orientação relacionada à forma, e as áreas são representadas por aglomerados de pixels adjacentes.

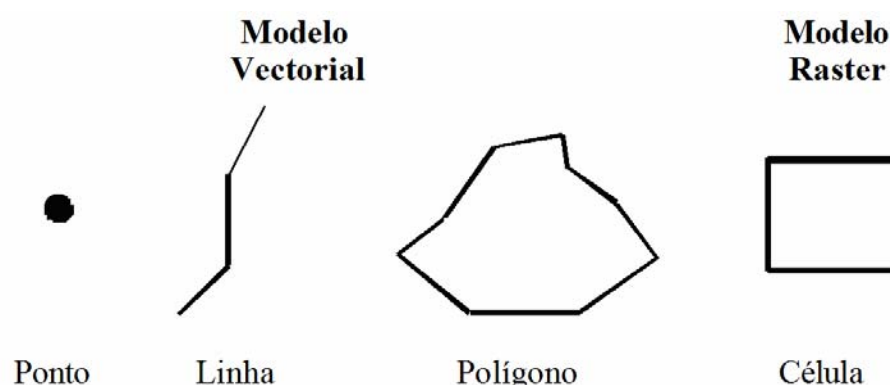


Figura 2.4: Objetos espaciais em representação vetorial e raster.Fonte: RAMOS, 2001.

As geotecnologias, apoiadas em técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, conforme VALÉRIO FILHO *et al.* (2004), são ferramentas capazes de propiciar meios para o levantamento de dados do meio físico, do uso e ocupação da superfície terrestre, além de ajudar na interação destes dados para posterior análise e interpretação, os quais resultam em subsídios relevantes às propostas de ordenamento físico territorial. Têm se mostrado, também, uma excelente ferramenta de suporte à decisão em estudos MCE <sup>[12]</sup>, onde há uma procura por caminhos para a sustentabilidade, traçando mapas de áreas com vulnerabilidades ambientais e recursos hídricos, na escolha de áreas para a implantação de aterros sanitários e na gerência participativa (BUSSINK, 2003; CELAETTIN *et al.*, 2006 e SOUPIOS *et al.*, 2007).

Um dos métodos de análise multicritério, é a lógica booleana, onde se pode entender como:..

*“A álgebra booleana foi desenvolvida por Geoge Boole, matemático inglês que viveu no período de 1815 -1864. A lógica que levou seu nome pode ser entendida como uma operação binária cujos valores 0 e 1 representam **falso** e **verdadeiro** respectivamente. As variáveis representadas por esses valores podem ser combinadas através de operadores booleanos **AND** ou **OR** de maneira que se obtenha como produto 1 se todas as condições são verdadeiras e 0 caso isso não ocorra” GUIMARAES (2000).*

Esta análise está fundamentada na definição de variáveis aptas e não aptas para um processo de tomada de decisão, formando restrições geográficas específicas, no caso da lógica booleana.

De acordo com a teoria da decisão, uma variável é alguma base mensurável e avaliável para uma decisão, e pode constituir um fator ou uma restrição. Restrições são aqueles critérios que cerceiam ou limitam a análise em foco a regiões geográficas específicas, constituindo normalmente mapas booleanos com classes do tipo apto/não apto.

Apesar da rapidez com que se obtêm resultados e da facilidade que o sistema oferece, a utilização do S.I.G. deve ser apoiada por trabalhos de campo, a fim de que as situações caracterizadas sejam corroboradas.

A realidade do Brasil, entretanto, praticamente inexistem bases de dados digitais e, das raríssimas existentes, as escalas são muito pequenas. Mapas em escalas maiores se existissem, deveriam ser utilizados para proporcionar análises mais detalhadas e refinadas. Da mesma forma, muitas outras informações, se existentes, e ou estivessem disponibilizadas, poderiam ser agregadas, proporcionando resultados mais robustos e de maior confiabilidade ao tomador de decisão (CALIJURI *et al*, 2007).

#### **2.4.6 Experiências do Uso de S.I.G. no Planejamento Ambiental e de Resíduos Sólidos**

A experiência realizada no Peru, em 2003, onde o Sistema de informação Geográfica, software IDRISI foi utilizado para mapear o uso da terra e propor, com a participação da sociedade e ONG locais um melhor uso do solo. Desde 1990, segundo o autor, muitas as tentativas foram feitas em numerosos projetos ao redor do mundo, a fim de escolher as melhores práticas em gestão de recursos naturais que integram a participação e a informação espacial, usando S.I.G. No projeto, foram elaborados mapas junto aos fazendeiros locais, em 3 locais, 2 no departamento do norte de Cajamarca e 1 no departamento do sul de Puno, com o 1 ONG que trabalha em cada local. Durante o projeto, a equipe de funcionários da Ong participou de oficinas de treinamento para o aprendizado em S.I.G. Em cada local de estudo, os comitês eram formados por autoridades municipais, líderes da comunidade, e instituições locais. Uma série de oficinas foram oferecidas em comunidades rurais selecionadas para analisar os problemas relacionados à Gestão de Recursos Naturais à produção agrícola (BUSSINK, 2003).

Na Grécia o S.I.G. foi utilizado para a escolha de áreas com ênfase à preservação dos recursos hídricos. Segundo os autores, o contexto global de contaminação por percolação de resíduos sólidos, faz necessários estudos mais apurados na escolha de áreas para a implantação de aterro sanitário. Neste contexto, a integração de vários dados geofísicos é uma ferramenta muito importante para quantificar e caracterizar os contaminantes gerados pelos resíduos sólidos urbanos. Foi caracterizado pelo estudo, o regime hidrogeológico, geológico e tectônico da área. Uma combinação de métodos geofísicos e da análise química foi executada para a caracterização e a gestão do aterro sanitário. Cinco tipos diferentes de dados geofísicos foram examinados: (1) Tomografia (2D) da resistência; (2) Medidas eletromagnéticas usando baixa frequência; (3) Condutividade eletromagnética; (4) Medidas Sísmicas de Refração; e (5) Medidas de ruído ambiental (SOUPIOS *et al*, 2007).

Também no tema de escolha de áreas, em Torbali, Turquia, o S.I.G., através do software ArcView, é usado para se obter uma metodologia sistemática durante as fases de avaliação de áreas para o depósito de resíduos sólidos, considerando a vulnerabilidade à poluição dos recursos

hídricos subterrâneos. A técnica é baseada na combinação linear de cinco parâmetros: hidrogeológicos; profundidade do aquífero; litologia da camada superior; permeabilidade; espessura da camada e topografia. Cinco categorias diferentes são desenvolvidas para classificar cada alternativa, baseadas na sustentabilidade do local. Cada local é expresso de acordo com os riscos da contaminação para os recursos subterrâneos. (CELALETTIN *et al*, 2006).

No Brasil pode-se citar alguns trabalhos que utilizaram S.I.G. para a escolha de áreas para implantação de aterro sanitário, como o trabalho de COSTA, 2006, onde as variáveis que foram utilizadas na classificação de áreas favoráveis a disposição de resíduos sólidos foram: declividade, espessura de solo, permeabilidade do solo, profundidade do nível d'água, distância dos principais cursos d'água, vegetação, distância da área do projeto e infra-estrutura.

Os critérios para a classificação das áreas foram àqueles estabelecidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT , pelo Código Florestal e pelo CONAMA e LARANJEIRA, 2004, desenvolvido no município de Americana, estado de São Paulo, teve como objetivo avaliar a adequabilidade à disposição de resíduos sólidos através da utilização dos métodos da Lógica Difusa, comparando-os aos resultados obtidos através da aplicação da análise booleana e da análise multicriterial ponderada. As variáveis utilizadas na análise foram: permeabilidade relativa, capacidade de troca catiônica (CTC), potencial hidrogeniônico (pH), profundidade do lençol freático, espessura do material inconsolidado, declividade, distância das áreas urbanas, distância das estações de captação de água, distância dos principais corpos d'água e distância das áreas de proteção ambiental. Os resultados obtidos foram discutidos em termos de vantagens de aplicação dos métodos e mostraram que as áreas com adequabilidade crescente à disposição de resíduos sólidos, encontradas através dos métodos de Lógica Difusa, são territorialmente mais restritas que as obtidas pelos métodos mais tradicionais. Existe também o trabalho de VIEIRA (2006), onde a metodologia utilizada neste trabalho consiste das seguintes etapas: análise dos dados existentes da área de estudo; separação dos diversos níveis de informações; definição dos diversos critérios técnicos para escolha das áreas; geoprocessamento das

informações; e análise das áreas selecionadas. Este trabalho apresenta como resultado áreas selecionadas para o sistema de resíduos sólidos do município de Florianópolis, Santa Catarina. Essas áreas foram analisadas sob critérios técnicos, sociais e ambientais, utilizando-se técnicas de geoprocessamento, com o intuito de facilitar a tomada de decisões quanto às alternativas a serem implementadas no município, na gestão integrada dos resíduos sólidos.

As ferramentas de SIG, são utilizadas também em outras áreas à disposição de aterro sanitário como o trabalho de SERRE (2005), onde descreve que a França e mais comumente o mundo, são submetidos a episódios freqüentes de devastações causadas por inundações. As inundações causam danos importantes e custos humanos e monetários consideráveis. As barragens frequentemente têm suas dimensões mal calculadas, mostrando suas fragilidades em diversas ocasiões. No estudo, foi realizado um levantamento, onde indicou que existem 7.500 quilômetros lineares de barragens na França. Este comprimento de instalação linear gera uma pergunta principal: por onde começar as ações de manutenção para ao mesmo tempo para assegurar a operação correta das barragens e otimizar as escolhas.

## **2.5 Potencial de Geração de Energia Elétrica dos Resíduos Sólidos**

Entre as energias renováveis, a biomassa é uma das opções para se diversificar a matriz energética, principalmente em países em desenvolvimento como o Brasil. Permitir um planejamento de sua utilização conjunta com fontes convencionais já existentes ou, dependendo das condições locais e do projeto a ser executado, apresentar-se como a principal fonte de energia. (COSTA, 2006; BERNARDI JUNIOR, GUNTHER e KASTRUP, 2005). Há muito tempo se pesquisa a potencialidade energética e a possibilidade de utilização do biogás gerado em aterros sanitários.

Muitos estudos já foram realizados no sentido de aproveitamento desse gás para geração de energia, quer seja através de geração de vapor em

caldeiras, quer seja através de queima em turbinas a gás. (BRAZ & SILVA, 2001).

Habitualmente, a eliminação do biogás se realiza por combustão em queimadores instalados no próprio aterro sanitário, mas cada vez são mais numerosos os casos em que se realiza uma recuperação energética através de seu uso como combustível em caldeiras, motores ou turbinas.

Embora no Brasil já existam algumas plantas de aproveitamento de biogás, como no Aterro Sanitário dos Bandeirantes/SP e Aterro de Canabrava, não existe metodologia desenvolvida para este assunto levando-se em conta as peculiaridades locais, entre as quais: composição dos resíduos, clima e operação do aterro.

As estimativas de geração de gases no país ainda são feitas indiretamente, baseadas em modelos e parâmetros obtidos de aterros sanitários europeus ou norte-americanos. Em geral, estes parâmetros não refletem adequadamente as condições de biodegradabilidade dos resíduos locais devido às diferenças climáticas e de projeto, operação e manutenção dos aterros. Portanto, tais estimativas podem estar susceptíveis a grande variabilidade (JUCA *et al*, 2003).

Para BRAZ (2001), em seus estudos realizados no aterro sanitário municipal de Rio Claro, a geração média de gás metano é da ordem de 866.164 m<sup>3</sup>/ano, gerando uma potência elétrica de 0,98 MW/ano, no primeiro ano de operação. Para SABIA *et al* (2005), para cada 13 milhões de toneladas de resíduos gerados anualmente tem-se uma produção de energia elétrica de 2,1 TWh por ano.

Neste contexto, podemos enquadrar os resíduos sólidos como potenciais geradores de energia renovável. Onde após dispostos nos aterros sanitários, os resíduos sólidos urbanos, que contém significativa parcela de matéria orgânica biodegradável, passam por um processo de digestão anaeróbia. O processo de digestão anaeróbia dos resíduos ocorre pela ação de microorganismos que transformam a matéria orgânica em um gás conhecido no Brasil como “biogás”.

Alguns cálculos indicam que aproximadamente 10% das emissões de metano liberadas na atmosfera provêm dos aterros sanitários. Para reduzir

este efeito, esse gás pode ser capturado e utilizado para produzir energia, minimizando as emissões atmosféricas e funcionando como fonte de energia não convencional que substitui o uso de combustível fóssil (KASTRUP, BERNARDI JUNIOR, GUNTHER, 2005).

O biogás gerado nos aterros sanitários é composto basicamente pelos seguintes gases: metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), nitrogênio ( $\text{N}_2$ ), hidrogênio ( $\text{H}_2$ ), oxigênio ( $\text{O}_2$ ) e gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ). Pelas características dos resíduos sólidos no Brasil, o biogás gerado na maioria dos aterros sanitários apresenta elevada concentração de metano, acima de 55%, e de Dióxido de Carbono, acima de 30%. O biogás pode ser proveniente de resíduos sólidos ou líquidos, de origem rural, urbano ou industrial (CENBIO, 2007). A tabela 2.5 mostra o panorama de produção de metano a partir dos resíduos sólidos depositados em aterro no Brasil.

Tabela 2.5 - Panorama da Produção de Metano no Brasil.

| Cidade         | Ton.produzida Lixo/dia | Ton. Disposta em aterro/dia | Qte. Disposta em aterro/ano | Emissão de $\text{CH}_4$ (ton.;ano) | Emissão de $\text{CH}_4$ $\text{M}^3/\text{ano}$ |
|----------------|------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------|
| São Paulo      | 20.855,70              | 16.126,50                   | 5.886.172,50                | 217.552,94                          | 311.234,53                                       |
| Rio de Janeiro | 8.343,00               | 6.124,00                    | 2.235.260,00                | 82.615,21                           | 118.190,57                                       |
| Belo Horizonte | 3.848,00               | 3.155,40                    | 1.151.721,00                | 42.567,61                           | 60.897,87                                        |
| <b>Brasil</b>  | <b>79.020,10</b>       | <b>64.164,10</b>            | <b>23.419.896,50</b>        | <b>865.599,37</b>                   | <b>1.238.339,59</b>                              |

Fonte: IBGE, 2000 apud CENBIO, 2007

Para cada tonelada de resíduo disposto em um aterro sanitário, são gerados em média 200  $\text{Nm}^3$  de biogás (IBAM/MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2006). Já para MENDES & MAGALHÃES (2005) os valores típicos para a produção de metano variam de 123  $\text{m}^3$  a 310  $\text{m}^3$  toneladas de metano para cada tonelada de resíduos depositados em aterros sanitários.

A produção do gás de aterro (LFG – Landfill gás) depende do substrato (resíduo) e do sistema microbiológico que compõem o aterro e das variáveis específicas do aterro. Há quatro fases de produção de LFG, a duração de cada uma delas é dependente de inúmeros fatores, incluindo o tipo de resíduo, teor de umidade, nutrientes, tipos de bactérias e nível de pH.

Tipicamente, os resíduos na maior parte dos aterros atingirão a fase metanogênica estabelecida num período que, dependendo da profundidade da massa de resíduos, de seis meses após a disposição, em casos mais específicos, esta fase pode demorar até dois anos. Pode ser produzido biogás, em níveis declinantes, até 20 anos após o encerramento das atividades no aterro (MENDES & MAGALHÃES, 2005). Para que seja possível a recuperação energética do biogás, um aterro sanitário deverá contar com os seguintes sistemas:

- Sistema de impermeabilização superior: este sistema deverá evitar a fuga do biogás para atmosfera. A cobertura superior dos aterros sanitários normalmente é feita com argila de baixa permeabilidade compactada;
- Poços de drenagem de biogás: estes poços, escavados na massa de resíduos, normalmente são feitos com brita e podem ser verticais ou horizontais. Alguns aterros sanitários adotam um sistema misto.
- Rede de coleta e bombas de vácuo: a rede de coleta de biogás leva o biogás drenado dos poços para a unidade de geração de energia elétrica. A rede coletora de biogás normalmente é constituída por tubos de polietileno de alta densidade e deve ser aterrada para evitar acidentes. As bombas de vácuo são importantes para compensar as perdas de carga nas tubulações e garantir uma vazão regular de biogás para a unidade de geração de energia elétrica.
- Grupos Geradores: estes equipamentos utilizam normalmente motores de combustão interna desenvolvidos especialmente para trabalharem utilizando o biogás como combustível (figura 2.5). Também é possível a geração de energia elétrica através da utilização de turbinas. A implantação de unidades de geração de energia elétrica em aterros sanitários deverá ser precedida de estudo de viabilidade técnica e econômica. Este estudo deverá obrigatoriamente indicar o potencial de geração de biogás no aterro sanitário, em função da quantidade e da composição dos resíduos aterrados e avaliar o custo de geração de energia elétrica comparando-o com o valor cobrado pela concessionária local (IBAM/MIN. CIDADES, 2006).



Figura 2.5 - Moto Geradores do Aterro Bandeirantes  
Fonte: COSTA, 2006.

Após a captação, o biogás é encaminhado a um tratamento para tirar o excesso de umidade. E depois é levado para a planta de utilização. Numa termoelétrica comum, é possível utilizar um motor Otto, um modificado (diesel + gás) ou uma turbina. O biogás ainda pode ser beneficiado e superar os 86% de teor de metano para atender o que requer a ANP para a utilização como combustível homologado. O esquema de recuperação pode ser exemplificado na figura 2.6.

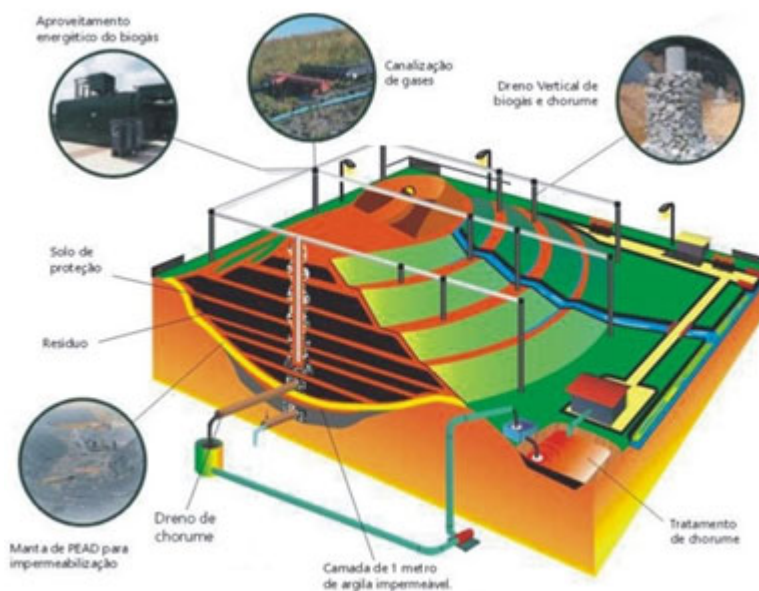


Figura 2.6 - Esquema de captação e geração de energia elétrica do biogás.  
Fonte : TEIXEIRA, 2006.

Para a geração de energia elétrica a partir do biogás, existem basicamente dois tipos de tecnologias disponíveis comercialmente: turbinas a gás e grupos geradores de combustão interna (Ciclo Otto).

No caso das turbinas a gás, elas ainda podem ser divididas em microturbinas, com uma faixa de potência de até 100 kW<sup>[13]</sup>, e turbinas de médio e grande porte, com faixas de potências de poucas centenas de kW até quase 300 MW<sup>[14]</sup> (COSTA, 2006). Esse processo é realizado através da co-geração.

A co-geração é um processo de elevada eficiência global pelo fato de utilizar o sistema de produção simultânea de energia elétrica e calor (água quente), o que eleva significativamente o rendimento do processo de tratamento de esgoto.

Além disso, existem as vantagens ambientais do uso de energia renovável (biogás), reduzindo a emissão de gases efeito estufa, e estratégicas, pelo fato de colaborar para diminuir a demanda de energia elétrica no país. Os aterros sanitários em todo o mundo, produzem cerca de 20 a 60 milhões de toneladas de metano por ano. Os Estados Unidos são o maior emissor, seguido pela China, Canadá, Alemanha e Reino Unido (Rosa *et al.* 2003). Os países em desenvolvimento, devido ao crescimento populacional, são responsáveis por uma parcela cada vez maior das emissões de metano. Nos Estados Unidos e no Reino Unido foram criados programas de recuperação de metano que reduzirão suas emissões em cinquenta por cento ou mais nas próximas décadas, que têm um ganho econômico pelas emissões evitadas e, principalmente, pela recuperação ou geração de energia.

Um exemplo bem sucedido de recuperação de biogás de aterro é o Aterro Bandeirantes, em São Paulo, é considerado um dos maiores do mundo, recebe cerca de 7000 toneladas de resíduos por dia, 50% do total produzido na cidade. Outro exemplo que pode ser citado é o antigo “lixão” de Canabrava (BA), que recebeu de 1974 a 1997 os resíduos sólidos urbanos gerados pela cidade de Salvador (BA), era um local degradado, com cerca de 1000 catadores que trabalhavam em cooperativas. Em parceria com o Canadá, houve a construção do Parque Sócio Ambiental de Canabrava. Este projeto envolveu estudos e ações para a selagem do território do antigo “lixão”, para o

planejamento de atividades de reciclagem e compostagem dos resíduos sólidos urbanos, e para o aproveitamento dos gases produzidos no interior do antigo “lixão”, hoje é área urbanizada e abriga um grande espaço destinado ao lazer da comunidade da região. Integrando também este espaço está o Projeto Criança Canabrava, que realiza ações ligadas à educação dos filhos dos antigos catadores, hoje funcionários do Parque. As unidades de compostagem para a produção de adubo e de triagem de material reciclável (plástico, vidro, papelão) e uma usina termelétrica piloto para a geração de energia elétrica (TEIXEIRA, 2006).

## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

---

Neste capítulo são apresentados os materiais e métodos utilizados no presente trabalho, onde as etapas do processo, suas limitações e aplicações para a obtenção dos resultados esperados são descritas.

### 3.1 Materiais

Para a realização deste trabalho, foram utilizados os seguintes itens:

- Softwares AutoCad 2004, Idrisi Andes 15.0, Corel Draw X3;
- Aparelho receptor G.P.S. <sup>[15]</sup>;
- Laboratório de solos UNIFEI;
- Mapa Geológico (Comig <sup>[16]</sup>, 1994), escala 1:1.000.000, em meio impresso;
- Mapas da Hidrografia, Declividade, Uso do Solo e APP e Substrato Rochoso, escala 1:50.000 (NEPA/CNPq <sup>[17]</sup>, 2007);
- Scanner de mesa;
- Cartas Topográficas, folhas de Conceição dos Ouros, Pouso Alegre, Heliodora e Santa Rita do Sapucaí, escala 1:50.000 (IBGE, 1971);
- Imagens orbitais do satélite CBERS 2 (2005), bandas 2, 3 e 4, passagem em 03/07/2005, às 13h:08min:05seg.

### 3.2 Métodos

São apresentadas as etapas do processo de construção dos resultados do presente trabalho. No item 3.2.1 é realizada a descrição da bacia hidrográfica em estudo. O fluxograma dos métodos e sua respectiva descrição são apresentados no item 3.2.2.

### 3.2.1 Aspectos Fisiográficos da Área de Estudo

A área de estudo, localiza-se na bacia do rio Sapucaí, de clima semi-úmido, que integra a bacia do rio Grande, localizada na região sudeste de Minas Gerais.

A bacia hidrográfica em estudo possui 449 km<sup>2</sup>, localiza-se em sua maioria no município de Santa Rita do Sapucaí, englobando em menor porção, os municípios de Piranguinho, Cachoeira de Minas e Natércia, fazendo divisa com os municípios de Pouso Alegre, São Sebastião da Bela Vista, Pedralva e São José do Alegre (figura 3.1).

O município de Santa Rita do Sapucaí está localizado no extremo sul do Estado de Minas Gerais, latitude -22,25 S e longitude 45,70 WGr, altitude mínima de 881m, na foz do Ribeirão Vermelho, e máxima de 1.494m, na Serra da Bocaina, a altitude média é de 826m na sede do município. O território do município corresponde a uma área de 351Km<sup>2</sup>.

A temperatura média anual é de aproximadamente 21,3 °C com um índice de precipitação médio anual de 1.416mm (IBGE, 2005). Como qualquer outro aglomerado urbano possui problemas relacionados ao crescimento desordenado e aumento na geração de resíduos sólidos urbanos.

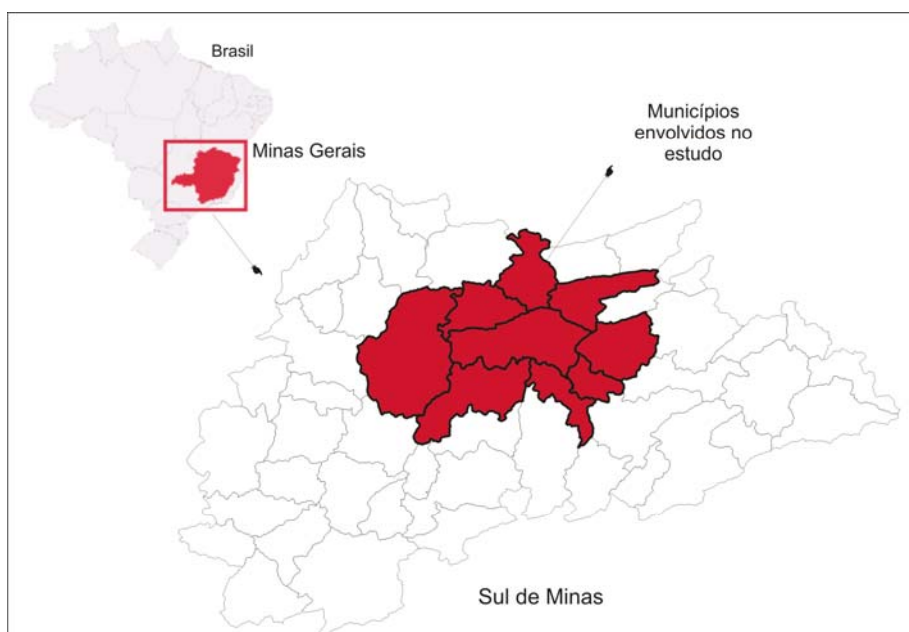


Figura 3.1 – Localização dos municípios em estudo.  
Fonte: NEPA/CNPq, 2007.

A região do Médio e Alto Sapucaí e do Rio Pardo, no Sul do Estado de Minas Gerais, abrange uma ampla área com diferentes famílias de rochas, que podem assim ser agrupadas: Rochas Primárias: granitos e gnaisses com suas variações; Rochas Primárias Alcalinas: tipos chaminés alcalinas e intrusivas máficas (rochas escuras); Rochas Sedimentares: aquelas resultantes do retrabalhamento das rochas primárias ao longo do tempo geológico (IGA, 2007).

A diversidade de ecossistemas inseridos em determinadas regiões nos leva a possibilidades e alternativas econômicas diversificadas. Esta heterogeneidade, notoriamente positiva, caracteriza o espaço da região estudada, onde foram identificadas várias unidades ambientais (ecossistemas) com possibilidades múltiplas para uso e ocupação. Os principais impactos ambientais identificados na região, segundo IGA <sup>[11]</sup> (2007), decorrem de atividades agropecuárias, minerárias e loteamentos. Dentre estas se destacam:

- erosão laminar em rampas de colúvio e vertentes convexas,
- topo de morro degradado,
- assoreamento dos cursos d'água,
- nascentes desprotegidas, degradadas e soterradas,
- vegetação ciliar pouco expressiva,
- uso de agroquímicos (IGA, 2007).

Na região da bacia hidrográfica em estudo, o tipo de solo é o Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, que diferem basicamente dos Latossolos Vermelhos pela coloração tendendo ao amarelo. Estas diferenças na coloração são devidas às diferenças nos teores de óxidos de ferro e alumínio nas respectivas frações argila. Portanto para cultivos necessitam de calagem (correção da acidez trocável) e adubação.

O município de Santa Rita do Sapucaí é conhecido como Pólo Tecnológico, com mais de 200 pequenas, médias e grandes indústrias do ramo da eletrônica. Esta característica fez com que a taxa de crescimento da população dobrasse nos últimos 20 anos, por sua vez, este aumento fez com que as obras de infra-estrutura fossem aceleradas, muitas vezes perdendo qualidade. Como todo município de pequeno porte que tem um salto no

crescimento, à quantidade de resíduos sólidos urbanos gerados teve um incremento (figura 3.2).



Figura 3.2: Bacia hidrográfica com os limites dos municípios do entorno de Santa Rita do Sapucaí.  
Fonte: NEPA/CNPq, 2007.

Tais fatos fazem com que aumente também a necessidade de um planejamento ambiental integrado direcionado ao saneamento. O Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos do município, recentemente elaborado, já enquadra a questão da disposição técnica e ambientalmente adequada dos resíduos gerados, bem como a necessidade da realização de consorcio intermunicipal como agente facilitador do gerenciamento e tratamento desses resíduos.

Destaca-se que na região onde a bacia encontra-se, apenas os municípios de Santa Rita do Sapucaí e Itajubá possuem aterro controlado, o restante, inclusive Pouso Alegre, o maior pólo produtor de resíduos, depositam

seus resíduos sólidos urbanos em “lixões” (figura 3.3).

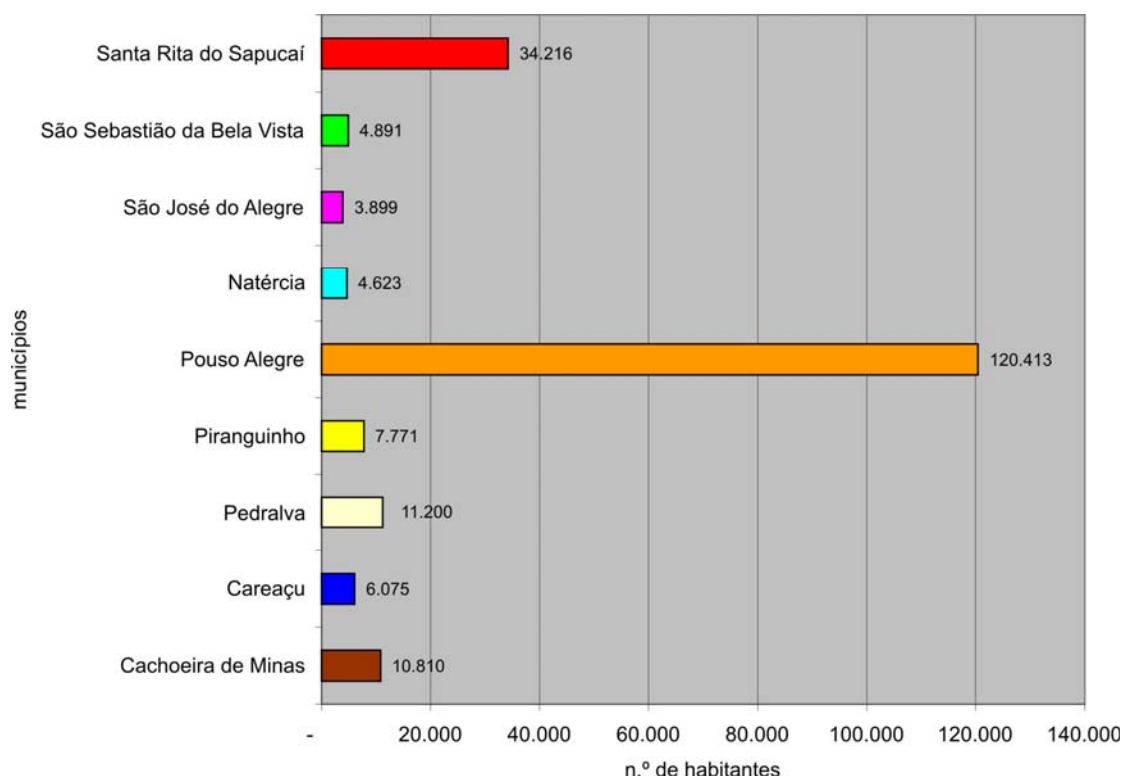


Figura 3.3 – População dos municípios da bacia em estudo e municípios do entorno.  
Fonte: IBGE, 2007.

### 3.2.2 Ordenação das atividades desenvolvidas

A metodologia é estruturada de acordo com as ações a serem realizadas, desde o levantamento bibliográfico, de onde se definiu os melhores métodos a serem empregados nesta análise, bem como as variáveis ambientais consideradas, de acordo com as características e os dados disponíveis da bacia hidrográfica em estudo. Estes dados formam o banco de dados iniciais, possibilitando o início das análises em S.I.G. Para tanto, cada critério empregado é reclassificado de acordo com as restrições impostas para cada tema. Com as restrições selecionadas, fez-se a sobreposição booleana para se determinar as áreas aptas à implantação de aterro, com a posterior quantificação dos resíduos gerados pela população envolvida e do potencial de geração de energia elétrica a partir de biogás, objetos do presente estudo.

Na figura 3.4 (fluxograma), apresenta-se a metodologia empregada.

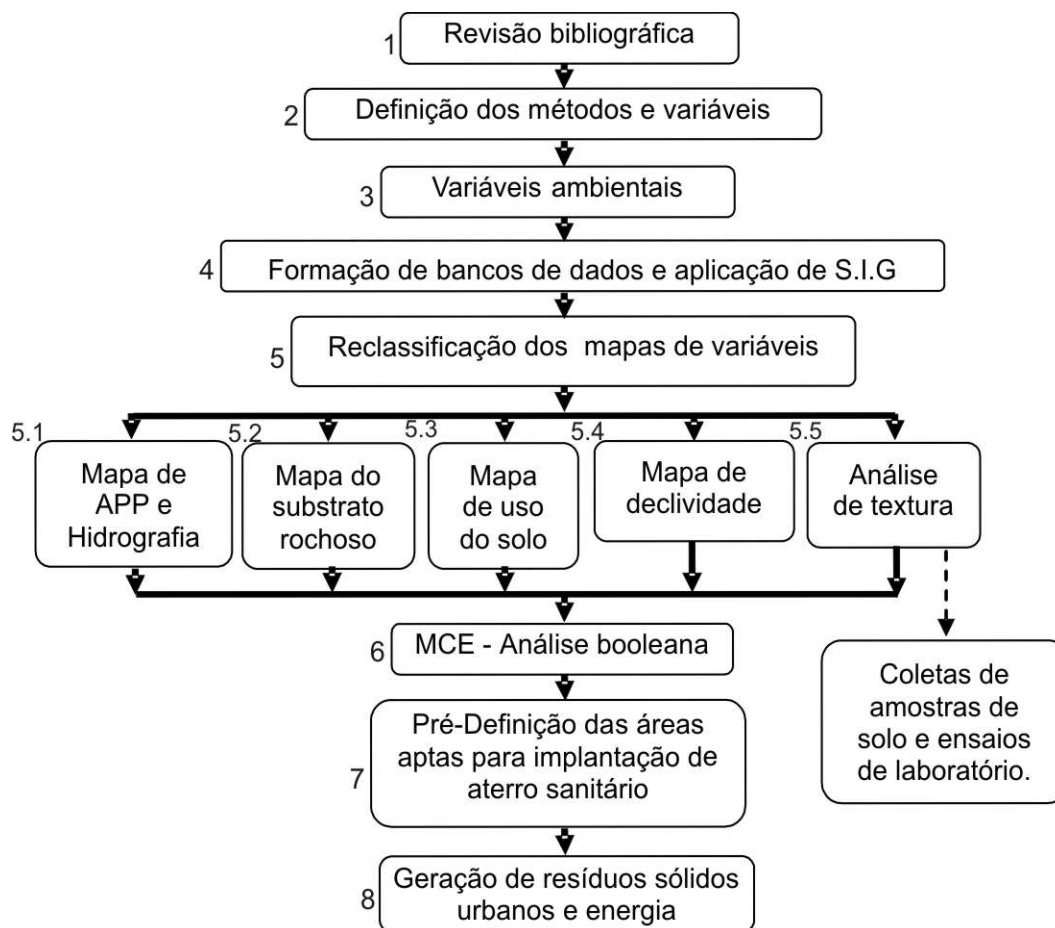


Figura 3.4 - Fluxograma dos métodos utilizados.

## 1- Revisão Bibliográfica

Foram levantados, em artigos, dissertações, teses, nacionais e internacionais, dados pertinentes ao tema proposto pelo trabalho.

## 2- Definição dos métodos e das variáveis

O método MCE booleano, conforme a revisão da literatura, item 2.4.5, permite uma análise mais conservadora, pois no processo de escolha de cruzamento de dados, na presença de qualquer inaptidão, toda área é desclassificada, mesmo tendo aptidão para as outras variáveis, diferente de outros processos que fazem uma escala de aptidão, portanto, as áreas consideradas nesta análise são as que possuem aptidão para todas as variáveis consideradas.

### 3 - Variáveis ambientais

São considerados atributos ambientais, todos aqueles que dizem respeito ao método aplicado. São referentes à topografia, declividade, hipsometria, hidrografia, APP, uso do solo, substrato rochoso e análises das amostras de solo, elaborados para o Projeto de Elaboração do Plano Diretor Participativo de Santa Rita do Sapucaí (NEPA/CNPq, 2007).

No item 5, são detalhadas todas as variáveis consideradas na análise.

### 4 – Banco de dados e aplicação de S.I.G.

Os arquivos mostrados na tabela 3.1, com extensão em dxf são importados para o software Idrisi Andes 15.0 através dos módulos Import/Export.

Tabela 3.1: Arquivos de entrada para a formação do banco de dados inicial.

| Variável         | Formato de entrada    |              | Conversão             |
|------------------|-----------------------|--------------|-----------------------|
|                  | Vetor                 | Raster       |                       |
| Hidrografia      | hidrobac.dxf          |              | hidrobacia.rst        |
| Topografia       |                       | mdtbacia.rst |                       |
| Declividade      |                       | decl%.rst    |                       |
| Geologia         | substrato rochoso.dxf |              | substrato rochoso.rst |
| APP              |                       | apptodas.rst |                       |
| Uso do Solo      |                       | usobacia.rst |                       |
| Perímetro Urbano | perímetro.dxf         |              | perímetro.rst         |
| Rodovia BR459    | rodovia.dxf           |              | rodovia.rst           |
| Amostras de solo | pontos de coleta.dxf  |              | pontos de coleta.rst  |
| Falha Geológica  | falha geológica.dxf   |              | falha geológica.rst   |

A conversão de arquivos vetores em raster é feita através da atualização de uma imagem existente com a informação do arquivo vetorial, sobreposta a ela, onde é criada uma imagem vazia, com números de linhas e colunas idênticos para todos os pixels.

### 5 – Reclassificação dos mapas de variáveis

Com o banco de dados formado, selecionou-se as restrições das variáveis, onde foram editadas, formando arquivos separados (tabela 3.2).

Tabela 3.2 – Arquivos de entrada para formação das restrições.

| Arquivo de entrada  | Arquivo de saída       | Restrições                                              |
|---------------------|------------------------|---------------------------------------------------------|
| hidrobacia.rst      | R buffer 300.rst       | Faixa 300 metros de qualquer coleção hídrica            |
| decl%.rst           | R decl.rst             | Declividade abaixo de 2% e acima de 30%                 |
| apptodas.rst        | R app.rst              | Áreas em APP                                            |
| usobacia.rst        | R usobacia.rst         | Mata nativa, plantações, perímetro urbano e de expansão |
| substrato roch.rst  | Rsubstrato.rst         | Planície Aluvionar                                      |
| falha geológica.rst | R buffer falha 200.rst | Faixa de 200 metros                                     |

Juntamente com os critérios técnicos baseados nestas informações do meio físico e nas exigências legais e ambientais para a seleção de áreas para disposição final de resíduos sólidos urbanos, conforme item 2.2 da revisão da literatura. As restrições são os critérios booleanos que limitam a análise a regiões geográficas específicas, diferenciando tais áreas em aptas e não aptas.

### 5.1 – Mapa de APP e hidrografia

Restrição 1 – Distância de 300 m de qualquer corpo d'água (COPAM D.N. 52/2001) e APP (Código Florestal, Lei nº 4.771/65)

A partir do mapa da hidrografia da bacia hidrográfica, excluiu-se os locais ao redor de qualquer curso d'água a uma distância de 300m, seguindo as recomendações mais restritivas levantadas no item 2.3 da revisão da literatura. Tal mapa pode ser gerado através da realização de uma faixa de proteção (“buffer”) de 300 metros ao redor de qualquer curso d'água, onde este mapa foi reclassificado, recebendo novos valores de 0 para as áreas do buffer e 1 para o restante da bacia. Este arquivo foi gerado através do operador “buffer”, onde o arquivo em dxf que continha a rede de drenagem foi importado e rasterizado seguindo os passos do item 4 desta metodologia.

O mesmo procedimento de reclassificação foi utilizado para o mapa de APP (cursos d'água e várzea), onde as áreas que se encontravam em APP receberam o valor 0 e o restante da bacia hidrográfica em estudo o valor 1.

## 5.2 – Mapa do substrato rochoso

Restrição 2 – Distância de 200 m da Falha Geológica (GUIMARÃES, 2000)  
Exclusão das áreas pertencentes à unidade litológica Aluvião (IGA, 2007).

Os dados geológicos da área de estudo foram obtidos através do Mapa do Substrato Rochoso e pelo mapa geológico do IGA <sup>[12]</sup> (2007), de onde foi retirada a informação que o tipo de solo predominante da área em estudo é o Latossolo vermelho amarelo distrófico.

A construção do mapa do Substrato Rochoso utilizou o mapeamento regional como subsídio básico e inicial, a partir do mapa geológico do Estado de Minas Gerais (COMIG, 1994). Os parâmetros utilizados para o agrupamento dos grupos litológicos, foram a gênese, a composição mineralógica, a porcentagem geral dos principais constituintes, a textura, e as estruturas marcantes e a sua distribuição real. Os contatos litológicos foram checados durante os trabalhos de campo e por foto-interpretação, promovendo as mudanças necessárias, corrigindo imperfeições, aumentando a escala e o detalhamento (BARISON & HARUI, 2007).

O mapa de restrição da Falha Geológica foi gerado através da realização de uma faixa de proteção (“buffer”) de 200 metros ao redor da falha geológica, onde este mapa foi reclassificado, recebendo novos valores de 0 para as áreas do buffer e 1 para o restante da bacia. Este arquivo foi gerado através do operador “buffer”, onde o arquivo em dxf que continha a falha foi importado para e rasterizado seguindo os passos do item 4 desta metodologia.

O mapa do substrato rochoso foi utilizado também para selecionar as áreas onde as formações rochosas se mostraram mais aptas à implantação de aterro sanitário. Foram excluídas as áreas pertencentes à unidade litológica Rocha Sedimentar Aluvião.

O mapa de restrição das unidades litológicas foi gerado através da reclassificação do mapa Substrato Rochoso, onde a unidade litológica Rocha Sedimentar Aluvião recebeu o valor 0 e o restante das unidades o valor 1.

### 5.3 – Mapa de uso do solo

Restrição 3 – Exclusão de áreas com cobertura vegetal nativa (Código Florestal, Lei nº 4.771/65). Exclusão de áreas com plantio de culturas fixas (COPAM D.N. 52/2001). Exclusão do Perímetro Urbano do Município de Santa Rita do Sapucaí (COPAM D.N. 52/2001 e NBR 13896/97).

Esta restrição foi gerada através da reclassificação do mapa de uso do solo da bacia hidrográfica em estudo, onde receberam o valor 0 as áreas de mata, café, área urbana e o restante (classificadas como solo exposto, sombreamento e pasto) receberam o valor 1.

### 5.4 – Mapa de declividade

Restrição 4 – Exclusão de áreas com declividade inferior a 2% e superior a 30% (COPAM D.N. 52/2001 e NBR 13896/1997).

O mapa de declividade foi reclassificado excluindo as áreas onde houvesse declividades inferiores a 2% e superiores a 30%, estas áreas receberam o valor 1 (aptas) e o restante das áreas onde a declividade encontra-se nos intervalos de abaixo de 2% e acima de 30% receberam o valor 0 (não-aptas), de acordo com as limitações levantadas na revisão da literatura, item 2.4.

### 5.5 - Textura

Restrição 5 – Amostras de solos com mais de 40% de areia (GUIMARÃES, 2000 apud ZUQUETTE, 1994).

Para se chegar aos resultados de textura do solo, foram realizadas, através do trabalho de campo, coleta de amostras de solo da bacia (figura 3.5), realizou-se então, ensaios de textura através do Método da Pipeta (EMBRAPA, 1997) sendo possível obter-se os resultados dos percentuais de areia, silte e argila de cada amostra (ANEXO A).



Figura 3.5– Coleta de amostras de solo e análise de laboratório. Fonte: NEPA/06,07.

## 6 e 7 – Análises MCE das restrições e pré-seleção das áreas

De acordo com a teoria da decisão, um critério é alguma base mensurável e avaliável para uma decisão, e pode constituir um fator ou uma restrição.

Restrições são aqueles critérios que cerceiam ou limitam a análise em foco a regiões geográficas específicas, constituindo normalmente mapas booleanos com classes do tipo apto/não apto. A forma como o dado disponível influi na definição da aptidão de uma área à implantação de um aterro sanitário na área estudada foi definida considerando-se os diferentes critérios técnicos e legais, normalmente adotados na seleção de locais para esse propósito.

A utilização da lógica booleana é um recurso de uso simples e é indicada como um primeiro passo na seleção de áreas, entretanto o resultado obtido não é hierarquizado.

Após a elaboração dos mapas de restrições, foi montado um novo banco de dados, onde todas as imagens continham o mesmo número de colunas e linhas, bem como as mesmas coordenadas geográficas. Tal procedimento é importante neste momento para se fazer a análise multicritério.

Esta operação foi executada através dos módulos MODELING – MODEL DEPLOYMENT TOLLS – MCE – Booleana intersectem, o resultado desta operação foi o mapa com as áreas aptas à implantação de aterro sanitário, dentro dos parâmetros adotados nesta análise (figura 3.6).

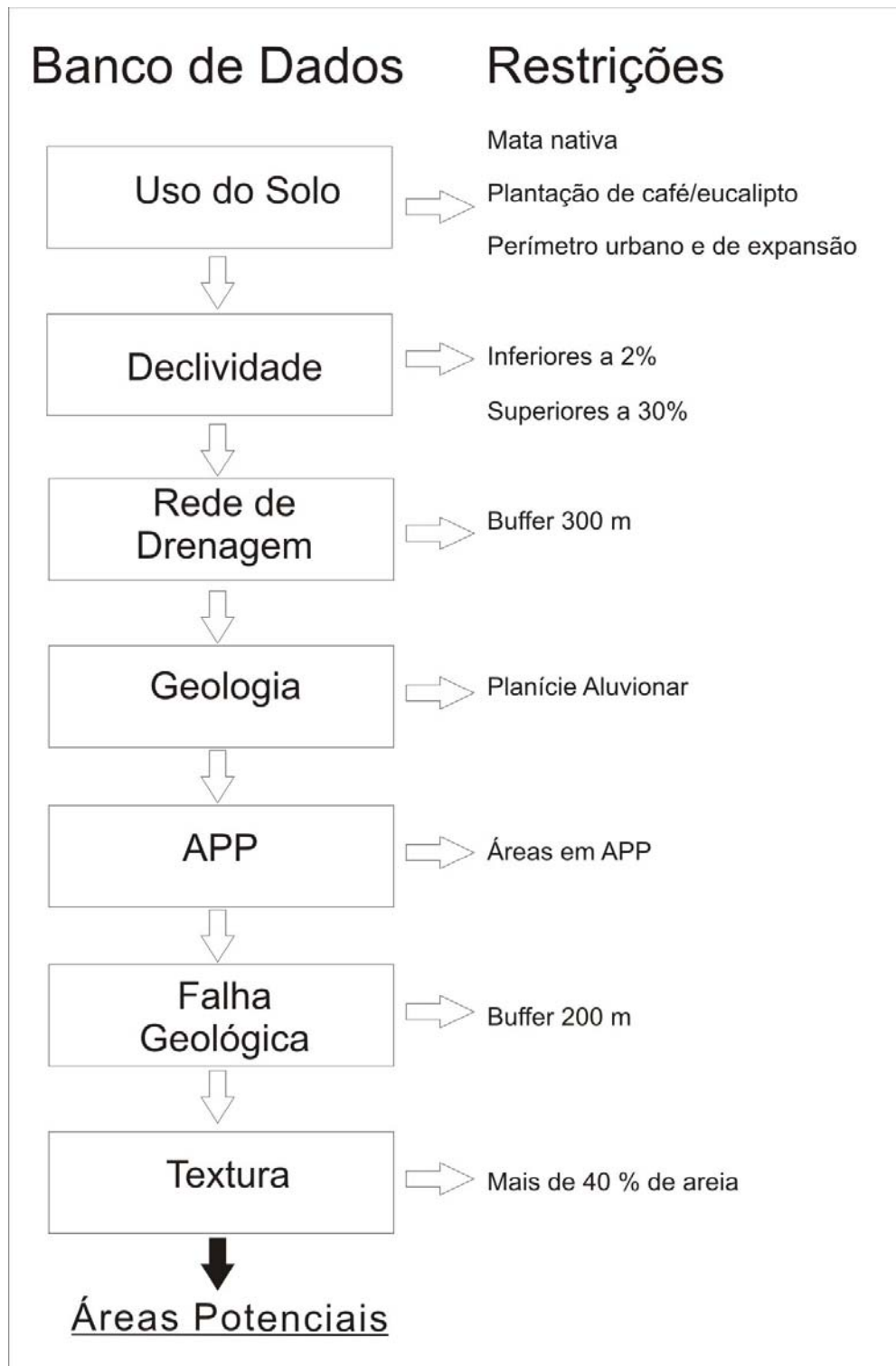


Figura 3.6 – Planos de informação utilizados para o MCE booleano.  
Fonte: Adaptado de GUIMARÃES, 2000.

## 8 - Quantificação de resíduos sólidos e potencial de geração de energia

Para a quantificação dos resíduos gerados, faz-se necessário o levantamento da população atual dos municípios envolvidos no estudo.

Depois de verificada a população mais atual dos municípios do entorno da área em estudo, foram quantificados os resíduos gerados, seguindo os parâmetros de geração per capita do Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos (IBAM, 2001), apresentada na revisão bibliográfica.

Com os volumes de resíduos gerados pela população atual, foi quantificado o potencial de produção de gás metano e feita uma projeção da produção de metano para daqui a 20 anos, sendo necessário, para isto, a projeção da população em estudo. Onde a quantidade de resíduos gerada, foi multiplicada pela média de produção de metano em aterros sanitários, levantada na revisão da literatura.

A taxa anual de crescimento foi calculada a partir da taxa de crescimento do estado de Minas Gerais para o ano de 2000, onde:

$$(Equação\ 1) \quad \Sigma P_{futura} = \Sigma P_{atual} \cdot \left(1 + \frac{\%Cresc}{100}\right)^n,$$

Onde,

$\Sigma P_{futura}$  = Somatória da população futura;

$\Sigma P_{atual}$  = Somatória da população atual;

%Cresc = Taxa de crescimento para o estado de Minas Gerais em 2000;

n = N.º de anos da previsão;

Para a estimativa de produção de energia elétrica, foi realizada uma média de produção, a partir dos trabalhos de BRAZ (2001) e SABIA *et al* (2005).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

---

Os dados utilizados foram coletados durante o processo de elaboração do Plano Diretor Participativo do município de Santa Rita do Sapucaí, na realização de trabalho de campo, análises laboratoriais e geoprocessamento das informações físicas e de infra-estrutura da bacia.

Os resultados e análises desta pesquisa estão organizados de forma a apresentar a seqüência em que foram obtidos, a partir da coleta de dados (topografia, infra-estrutura, hidrografia, declividade, uso do solo, geologia, pontos de coleta de amostras de solo e análise textural) e obtenção de restrições; na escolha de áreas para a implantação de aterro sanitário consorciado, na verificação de viabilidade de geração de energia elétrica e nas discussões finais.

Dentre as variáveis ambientais citadas acima, também se considera importante o nível do reservatório subterrâneo de água. Por falta desta informação, neste estudo, o nível freático do solo não foi considerado.

O mapa base mostrado na figura 4.1, utilizado para a composição do banco de dados foi o topográfico, obtendo-se as informações necessárias para a composição do mapa de declividade e da rede de drenagem. As altitudes na bacia variam entre 820 a 1.420 metros, com altitude média de 826 metros na sede do município de Santa Rita do Sapucaí.

A composição topográfica do município demonstra uma variação de planícies e algumas cadeias de montanhas ao norte, à leste e em parcelas da região central do município. A área urbana encontra-se praticamente toda em APP de várzea, por essa razão possui declividade pouco acentuada, sofrendo com as inundações sazonais do rio Sapucaí.

A hidrografia e a infra-estrutura podem ser observadas na figura 4.2, onde o município é cortado por 33 km da rodovia BR 459. O perímetro urbano e a área para expansão urbana também podem ser observados na mesma figura.

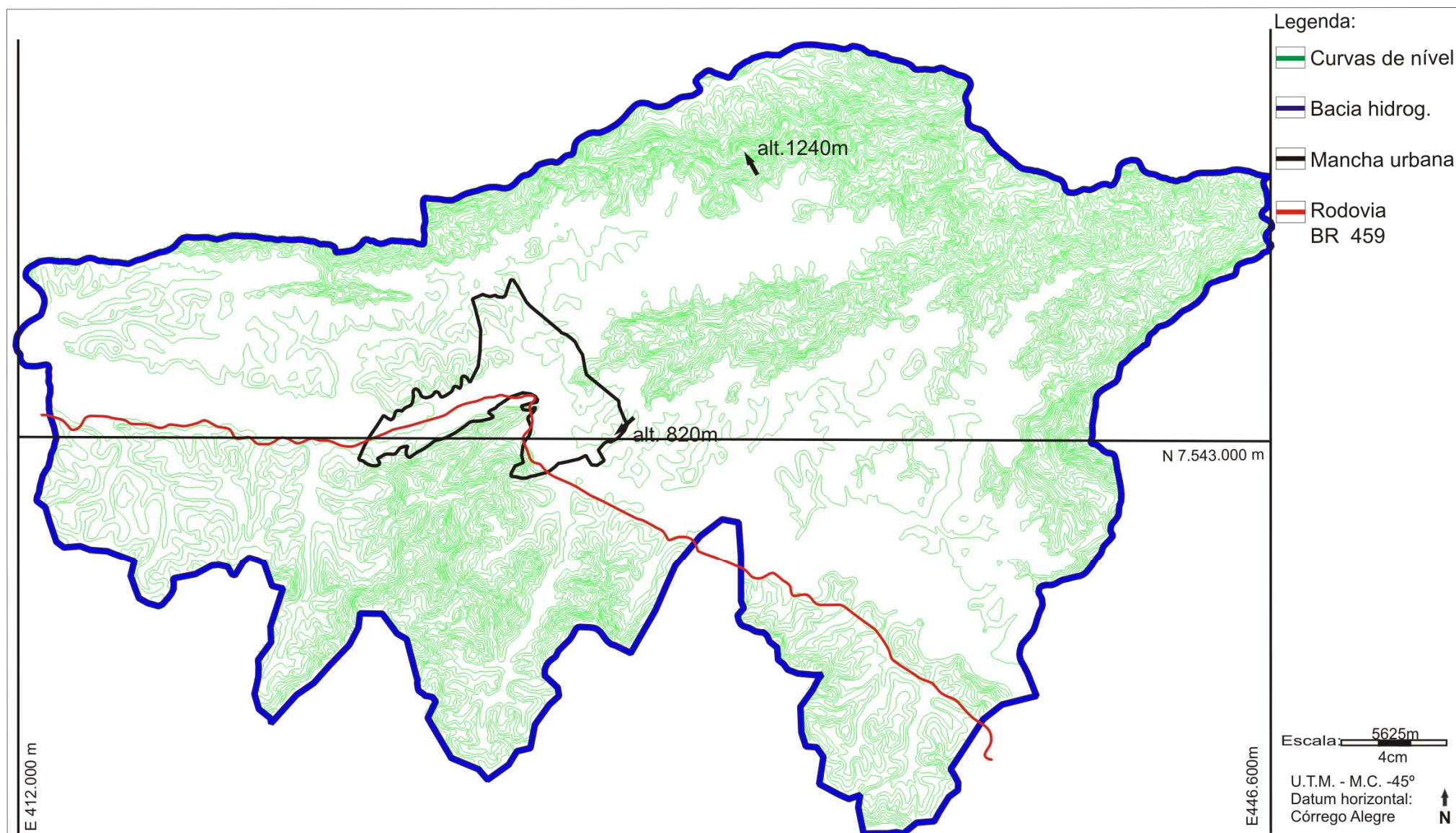


Figura 4.1 – Mapa topográfico. Fonte: NEPA/CNPq, 2007.

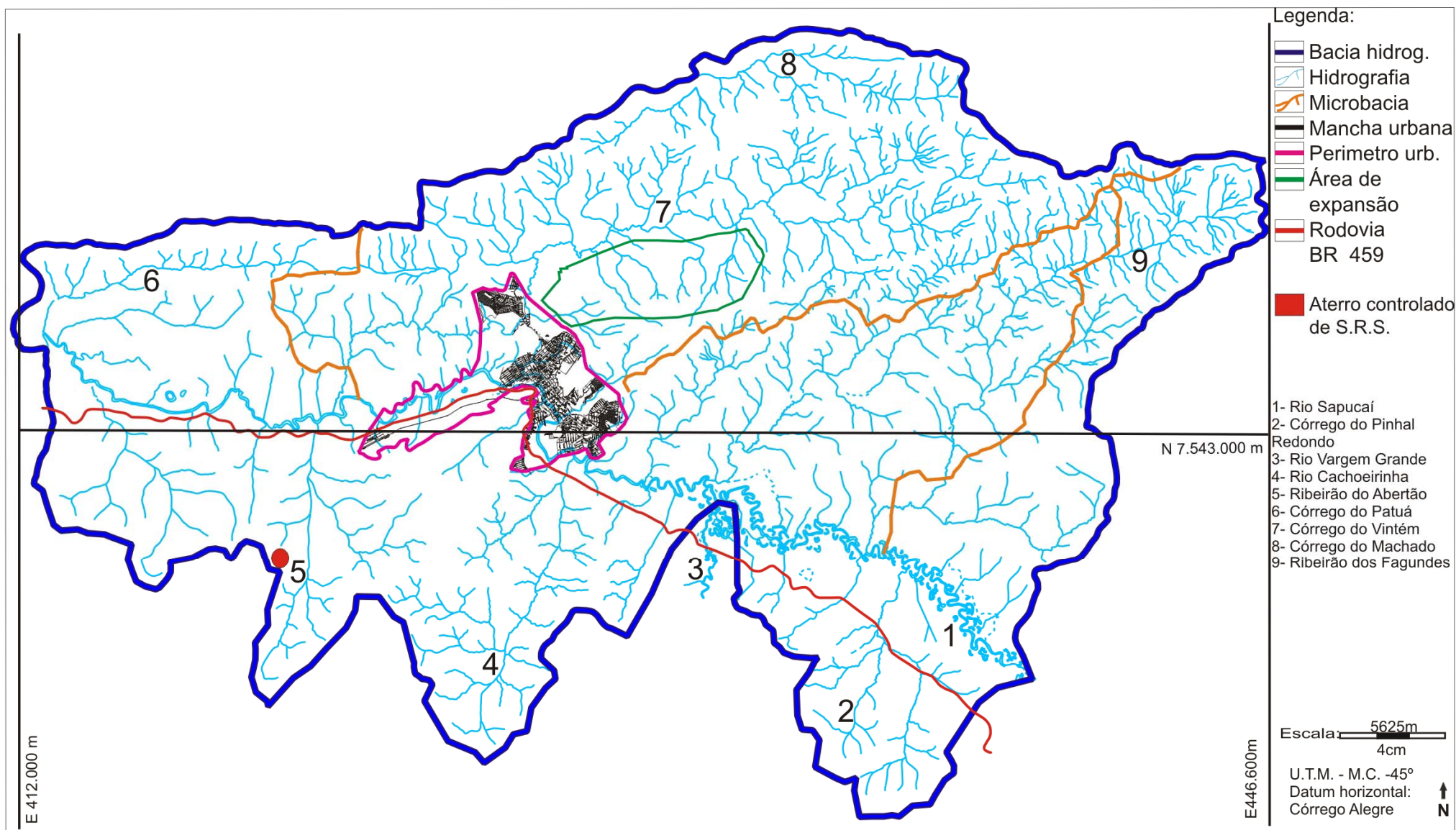


Figura 4.2 – Hidrografia e infra-estrutura.

A rede de drenagem é densa, com inúmeras nascentes e ribeirões, do tipo predominantemente dendrítica. Para a rede de drenagem, em virtude de seu tipo e sua distribuição espacial, as áreas consideradas inaptas foram as que se encontravam em uma faixa de 300 metros de qualquer curso d'água, fator que limita consideravelmente a disponibilidade de áreas para disposição de resíduos sólidos. O mapa desta restrição é apresentado na figura 4.3 (pág. 61).

Para a variável Área de Preservação Permanente (APP) de várzea e de curso d'água, o mapa reclassificado deste tema, deu origem às áreas que se encontravam em APP (não-aptas) e as áreas fora (aptas). O mapa desta restrição é apresentado na figura 4.4 (página 62).

Segundo BARISON & HARUI (2007), o substrato rochoso da bacia é composto predominantemente por rochas do tipo gnaiss, apresentando também rocha sedimentar aluvionar ao longo do curso e do entorno do Rio Sapucaí e ao norte da bacia encontra-se rochas do tipo moscovita xisto, predominantemente em locais com alta declividade. A variável geologia gerou dois mapas de restrições, um com a falha geológica, onde foram consideradas áreas não aptas, àquelas que estivessem em uma faixa de 200 metros ao seu redor, sendo, para este tema, o restante da área da bacia considerada apta.

A restrição substrato rochoso deu origem ao mapa onde as áreas que se encontravam na unidade litológica aluvião foram consideradas não-aptas para este tema, pois planícies aluvionais estão situadas em terrenos baixos, junto às margens dos rios, sujeitos periodicamente a inundações, com solos caracteristicamente arenosos, além do fato do reservatório subterrâneo encontrar-se muito próximo à superfície e as características de percolação também serem desfavoráveis.

O restante das unidades litológicas foi considerado, nesta análise como áreas com aptidão para a implantação de aterro sanitário. O mapa do substrato rochoso é apresentado na figura 4.5 (página 63).

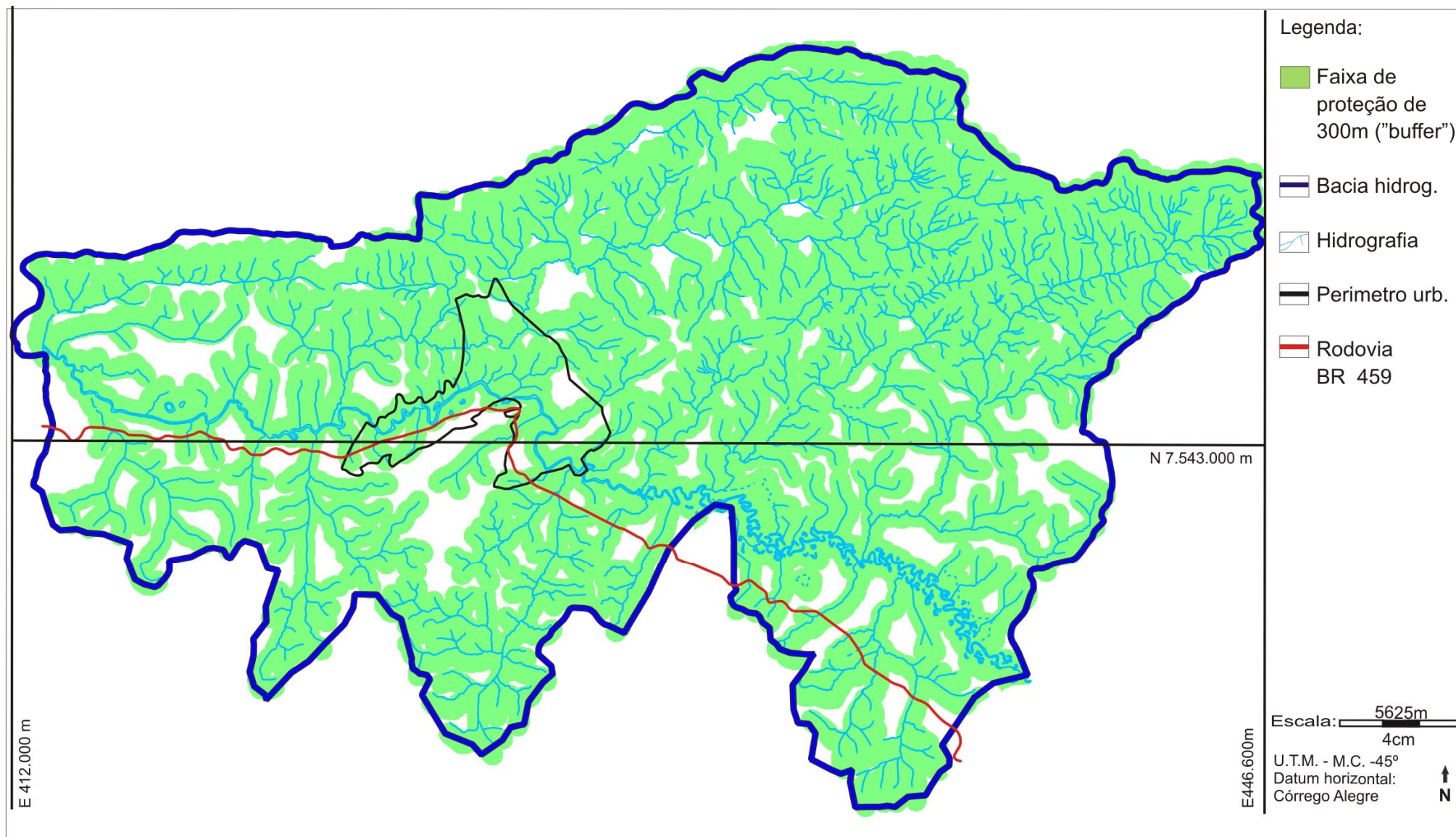


Figura 4.3 - Áreas não aptas em relação à rede de drenagem da bacia hidrográfica, segundo a D.N.52/01 (COPAM).Fonte: NEPA/CNPq, 2007.

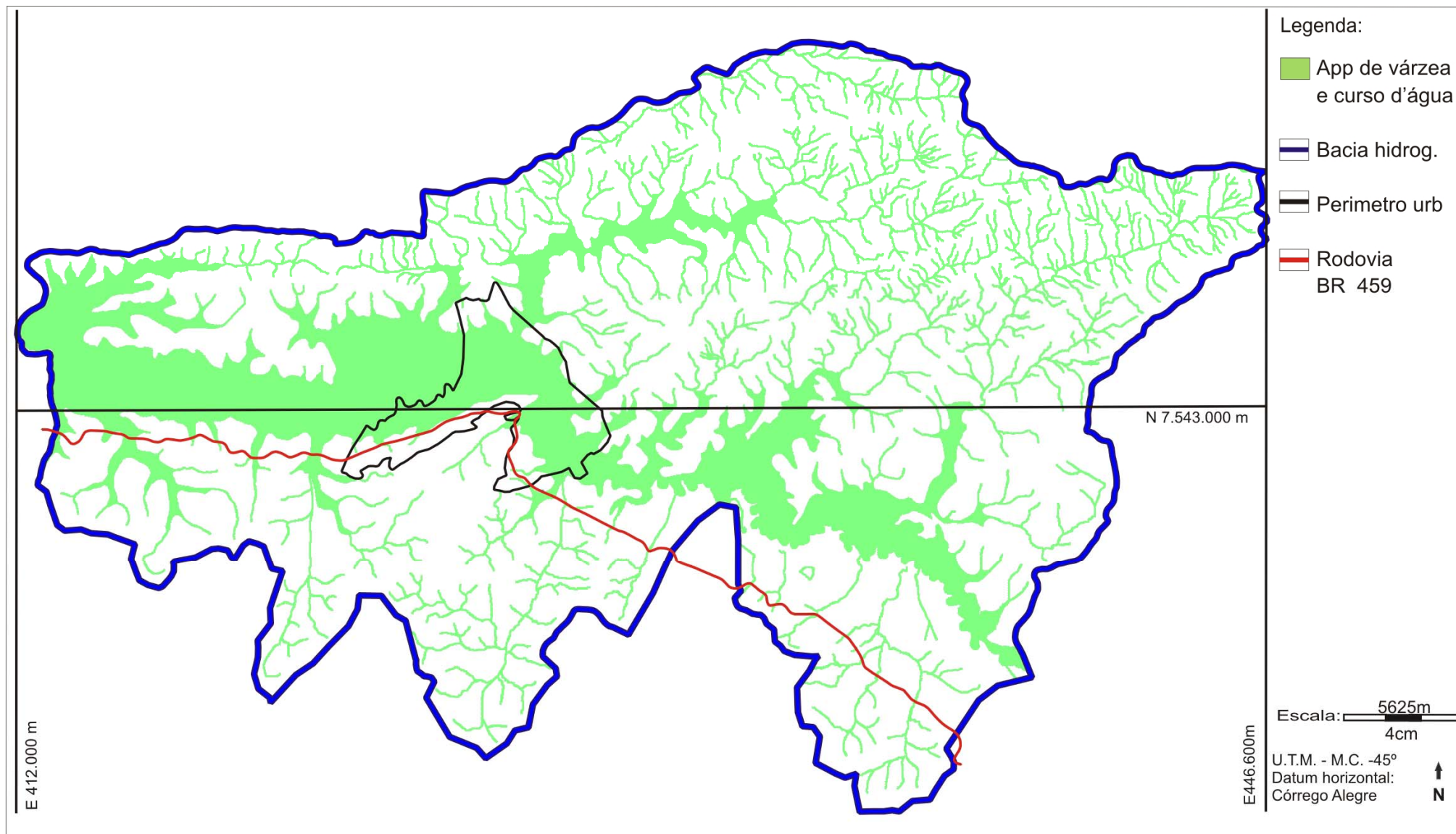


Figura 4.4 – APP de várzea e cursos d'água. Fonte: NEPA/CNPq, 2007.

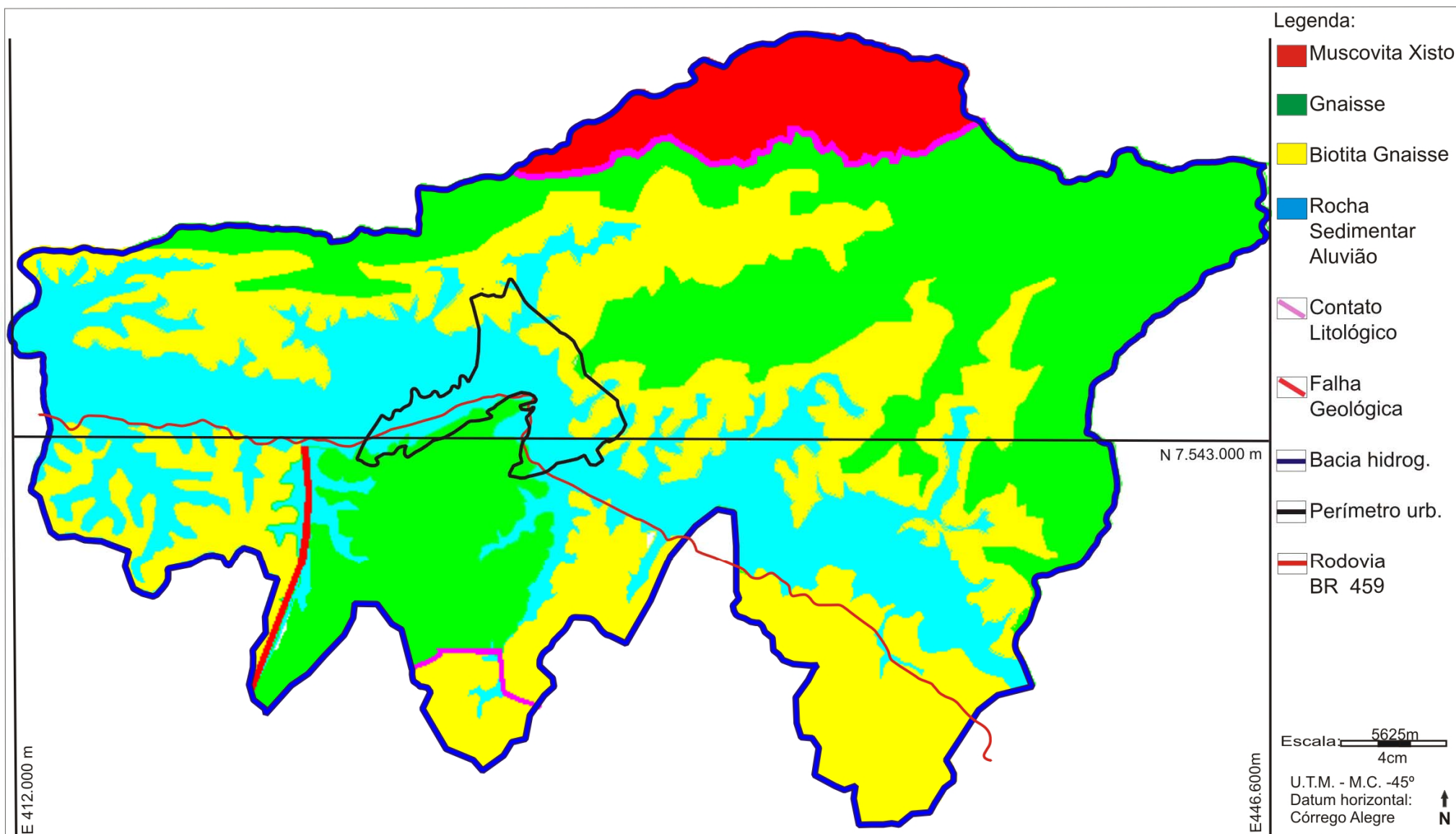


Figura 4.5 - Mapa do substrato rochoso. Fonte: NEPA/CNPq, 2007.

O uso do solo na bacia, que tem área total de 449 km<sup>2</sup> ou 44.900 hectares, apresenta um predomínio de uso para o tema pastagem, tendo este, área de 25.593 hectares.

Esta utilização representa 57% em relação à área total da bacia. O resultado em termos ambientais é preocupante, demonstrando a intensa utilização pecuária, mesmo em regiões com alta declividade.

O remanescente de mata nativa e o tema plantação de café, este representado por 12 mil hectares, o equivalente a 26% da área total, mostra-se destacado apenas nas regiões de encostas, onde se deduz que a preservação acontece apenas por ser uma região de forte declividade, acima de 45%, ou seja, APPs.

Ressalta-se ainda, que devido à confusão espectral atribuída às imagens de satélite para os respectivos temas, não foi possível quantificar com exatidão a área de cada tipo de cobertura.

Considera-se que o tema eucalipto, hoje representado por 1,8 mil hectares ou 4% da bacia, poderá ter sua área estendida em função da demanda por biomassa.

O solo exposto juntamente com a área urbana, perfazem uma área de 3 mil hectares, o que representa 7% da bacia.

Da mesma maneira que os temas mata nativa e café, os temas solo exposto e área urbana não tiveram suas áreas quantificadas separadamente.

O restante da área é ocupada por água, com 6 % ou seja 2,7 mil hectares

O mapa de uso do solo pode ser observado na figura 4.6 (página 65).

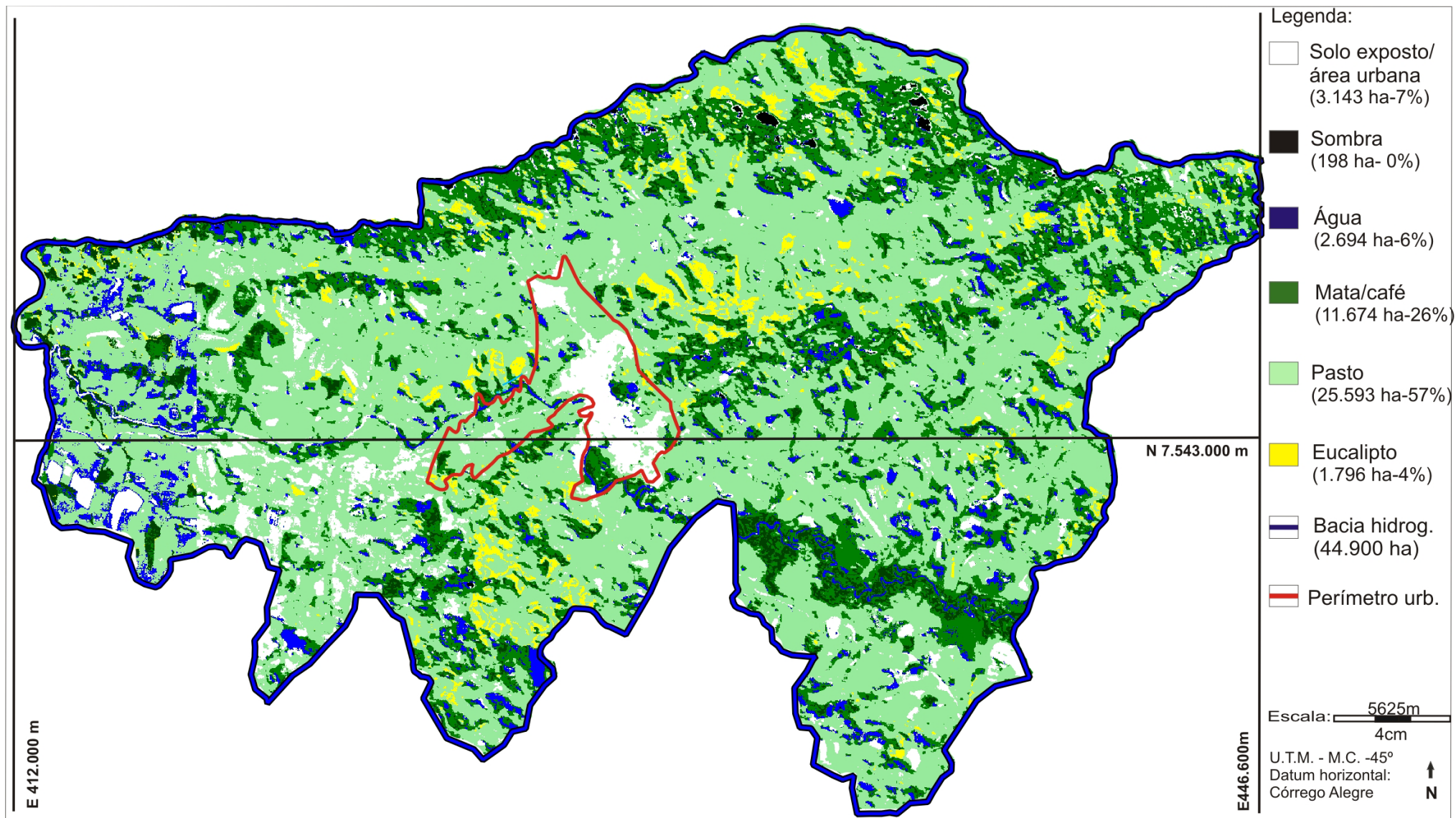


Figura 4.6 - Mapa de uso do solo. Fonte: NEPA/CNPq, 2007.

Para a restrição uso do solo, foram consideradas aptas as áreas de pastagem, sombra e solo exposto, atendendo à legislação levantada na revisão da literatura. As áreas de mata nativa/café, água e eucalipto, foram consideradas áreas não-aptas para a implantação de aterro sanitário.

No gráfico (figura 4.7), é apresentado o percentual de utilização de cada tema de uso do solo na bacia hidrográfica em estudo.

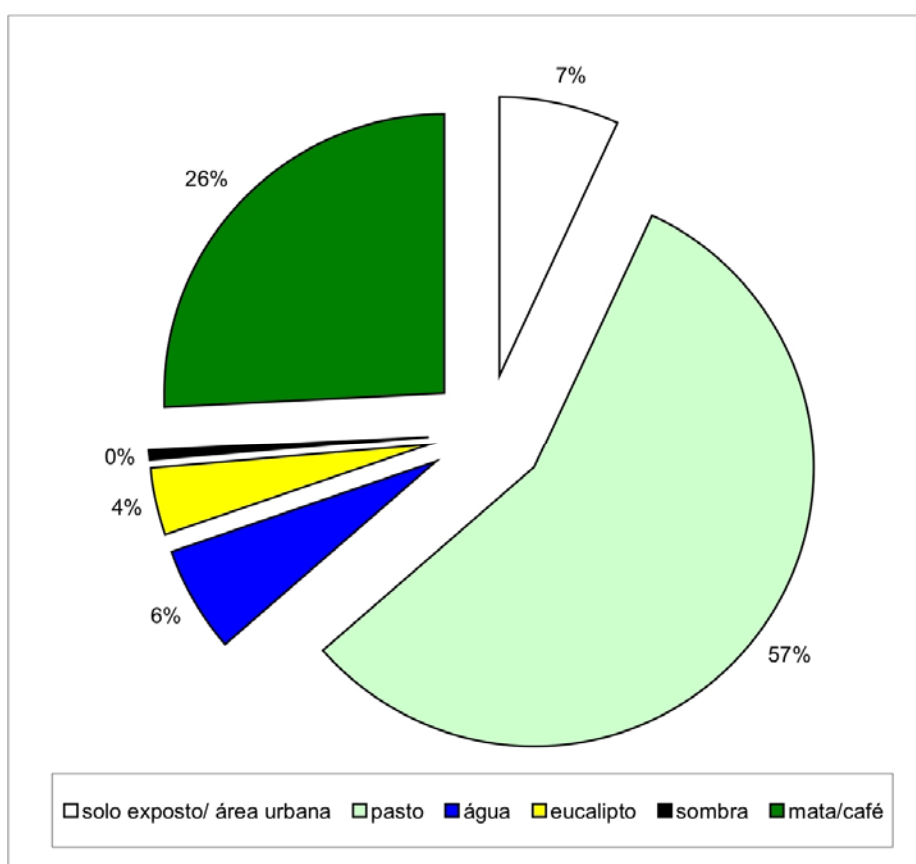


Figura 4.7 - Quantificação dos temas do uso do solo na bacia hidrográfica.  
Fonte: NEPA/CNPq, 2007.

Especifica-se para a declividade na bacia hidrográfica, sua área é composta por valores próximos de porcentagem para os intervalos de classes de 0% a 2%, de 10% a 20% e para o intervalo acima de 30%, apresenta-se distribuição de sua abrangência praticamente igual. Para o restante dos intervalos, apresenta-se uma variação de 6%.

O mapa de declividade pode ser observado na figura 4.8 (página 67).

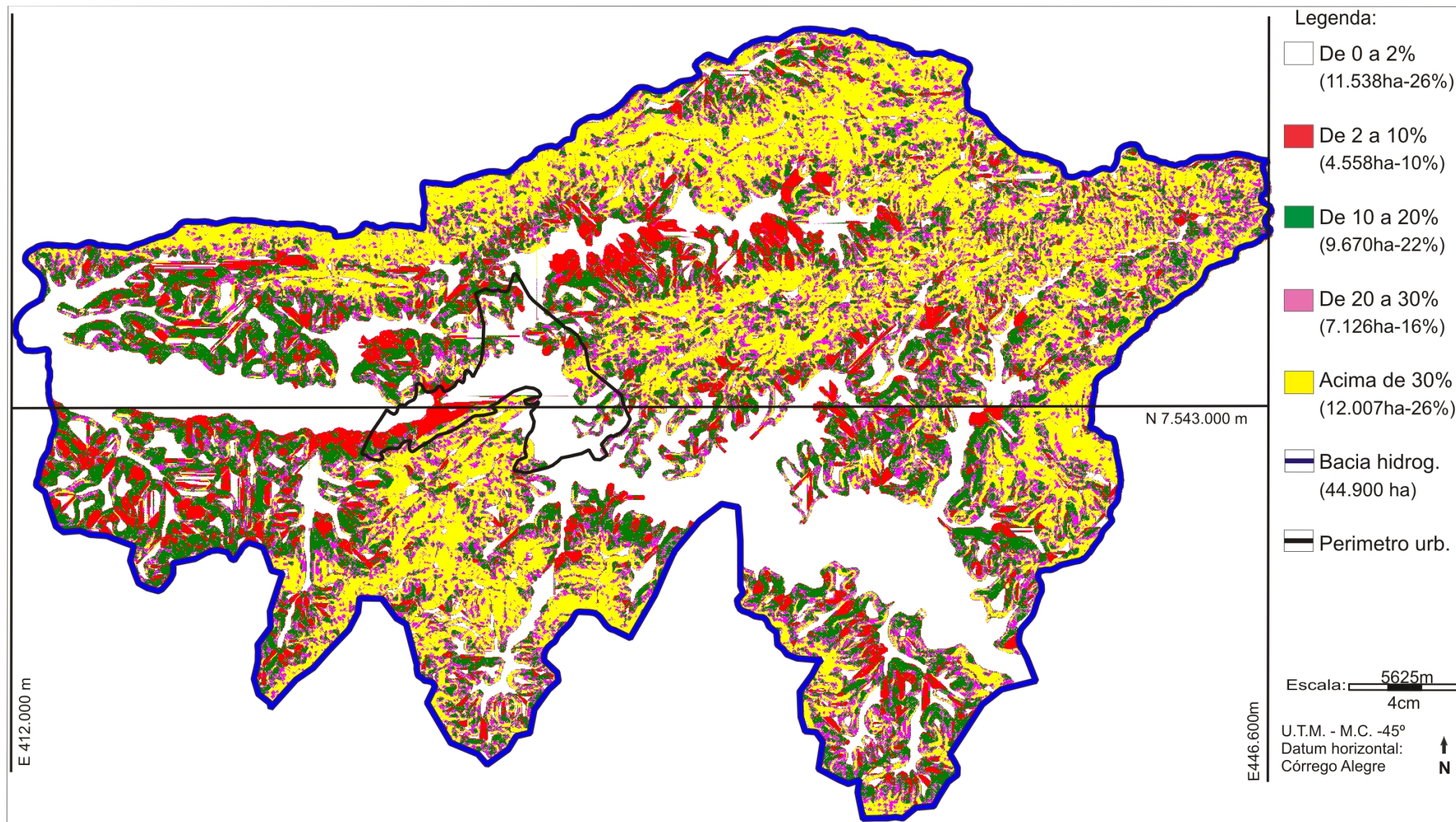


Figura 4.8 - Mapa de declividade. Fonte: NEPA/CNPq, 2007.

Com relação à restrição declividade, para os intervalos de classes de 0 a 2 %, de 10 a 20 % e acima de 30 % obtiveram resultados de 26 %, ou seja 11,5 mil hectares; 22 %, correspondendo a 9, 67 mil hectares e 26 % ou 12 mil hectares da área da bacia, respectivamente. Para os intervalos de classes de 20 a 30 % e de 2 a 10 %, os resultados foram de 16 %, ou seja 7,12 mil hectares e 10 % ou 10,1 mil hectares da área, respectivamente.

O gráfico (figura 4.9) demonstra os intervalos de classes das declividades separadas para este estudo de caso.

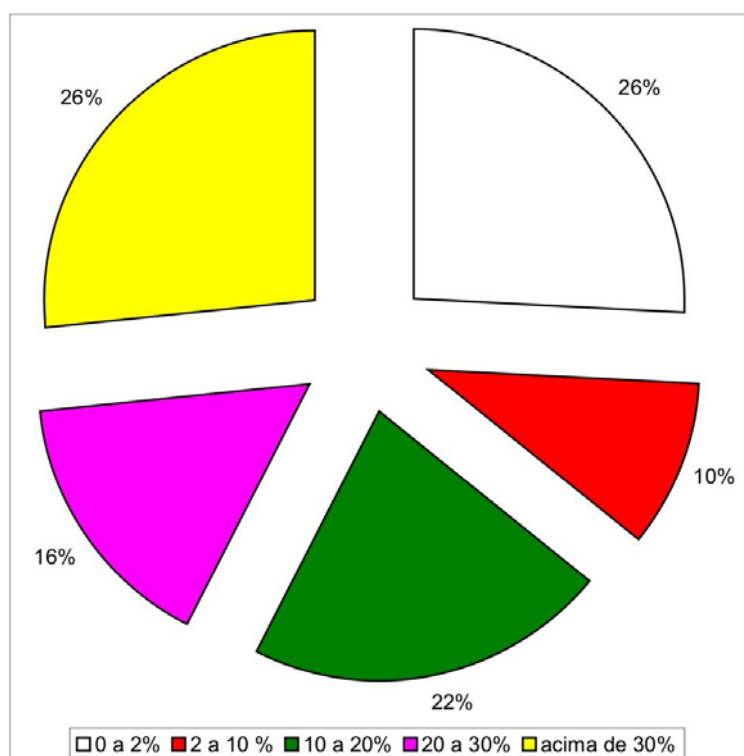


Figura 4.9 – Distribuição das variações de declividades na bacia hidrográfica.  
Fonte: NEPA/CNPq, 2007.

Embora a NBR 13896/1997 recomende declividades a partir de 1%, para este trabalho, as áreas que se encontrava em declividades inferiores a 2% foram consideradas não-aptas, pois as declividades abaixo deste valor, para a bacia hidrográfica, indicam áreas sujeitas a inundações sazonais. As áreas encontradas em declividades superiores a 30% também foram consideradas não-aptas, atendendo tanto a Norma Técnica quanto a legislação sobre o tema.

As análises de textura das amostras de solo coletadas em campo, que estão descritas no ANEXO A, definem a menor ou maior capacidade do substrato se deixar atravessar pelos efluentes provenientes da decomposição da matéria orgânica em aterros sanitários.

Solos com maior percentual de argila em sua composição são mais indicados para as áreas de aterros por apresentarem boa capacidade de depuração, dificultando a penetração dos poluentes. Solos com muita quantidade de areia apresentam maior capacidade de infiltração e maior permeabilidade. Foram consideradas áreas aptas onde os solos não apresentavam mais que 40% de areia (GUIMARES, 2000; ELIS & ZUQUETTE, 2002).

Vale considerar também, que o tipo de solo da bacia estuda (latossolo vermelho amarelo) é considerado apto para a implantação de aterro sanitário, pois CALIJURI (2007) considera em sua escala de aptidão, que vai de 0 a 255, o valor máximo de adequabilidade.

A pré-seleção das áreas apontadas por este estudo foi possível a partir do cruzamento MCE booleano de todas as restrições apresentadas. Como este trabalho não montou uma escala de aptidão, as áreas que foram excluídas podem ser incluídas em outros estudos que indiquem tal escala.

Os pontos de coleta de amostras de solo na bacia hidrográfica em estudo podem ser observados na figura 4.10 (página 70).

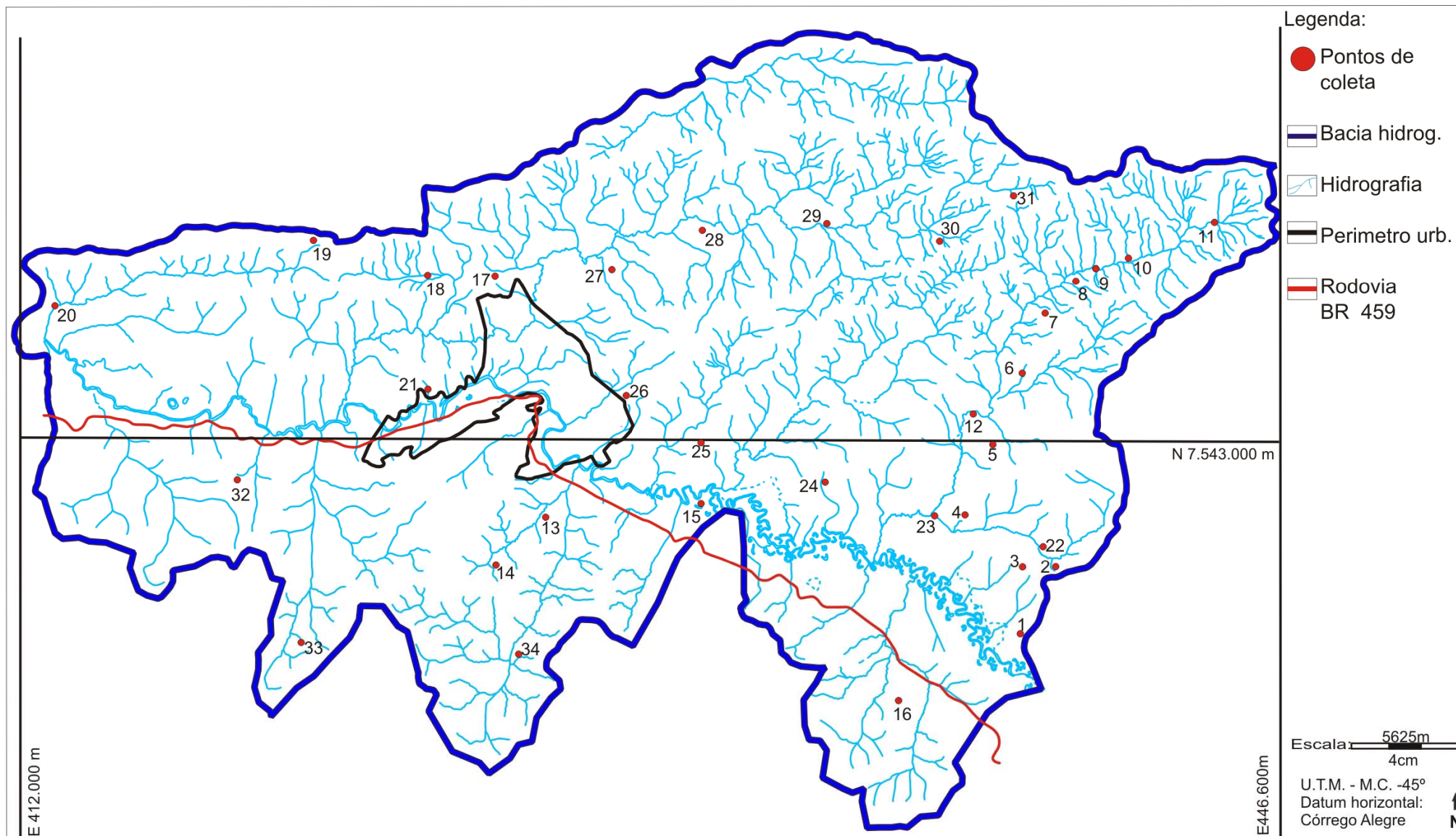


Figura 4.10 – Localização das amostras de solo coletadas na bacia hidrográfica. Fonte NEPA/CNPq, 2007.

Foram selecionadas, dentre as áreas aptas, seis áreas para serem analisadas. Tais áreas foram selecionadas por apresentarem maior extensão contínua (área), já que um dos objetivos deste trabalho é possibilitar a formação de consórcios intermunicipais para a geração de energia elétrica, necessitando assim de áreas maiores (tabela 4.1).

Tabela 4.1 – Características das áreas pré-selecionadas para a instalação de aterro sanitário consorciado.

| Área | Características                                                                         |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| 1    | 19 hectares, 3,6 km de distância linear da rodovia de acesso e declividade de até 20%   |
| 2    | 49 hectares, 900 m de distância linear da rodovia de acesso e declividade de até 10%.   |
| 3    | 19 hectares, 10 km de distância linear da rodovia de acesso e declividade de até 20%.   |
| 4    | 9,5 hectares, 2,6 km de distância linear da rodovia de acesso e declividade de até 20%. |
| 5    | 27 hectares, 13 km de distância linear da rodovia de acesso e declividade de até 20%.   |
| 6    | 62 hectares, 3 km de distância linear da rodovia de acesso e declividade de até 20%.    |

Também foi considerada a distância mínima de 800 metros da rodovia de acesso, pois este tipo de atividade pode gerar incômodos visuais e ambientais à população. Considerou-se que mesmo as áreas classificadas como aptas, mas que se encontram dentro das áreas de expansão futura da cidade, também não poderiam receber este tipo de atividade. Só foram escolhidas para a análise as áreas que se enquadravam em todos estes pré-requisitos.

A maior porção da área de estudo encontra-se na classificação de não apta, o que justifica as observações levantadas na literatura, onde se retrata que esta cada vez mais difícil encontrar áreas aptas à implantação de aterro sanitário. Para este caso, com estas condições de contorno, do total da área da bacia, apenas 5,32 %, ou seja 2.385 hectares da área total se mostraram adequados implantação de aterro sanitário. Na figura 4.11 são apresentadas as áreas aptas (página 72).

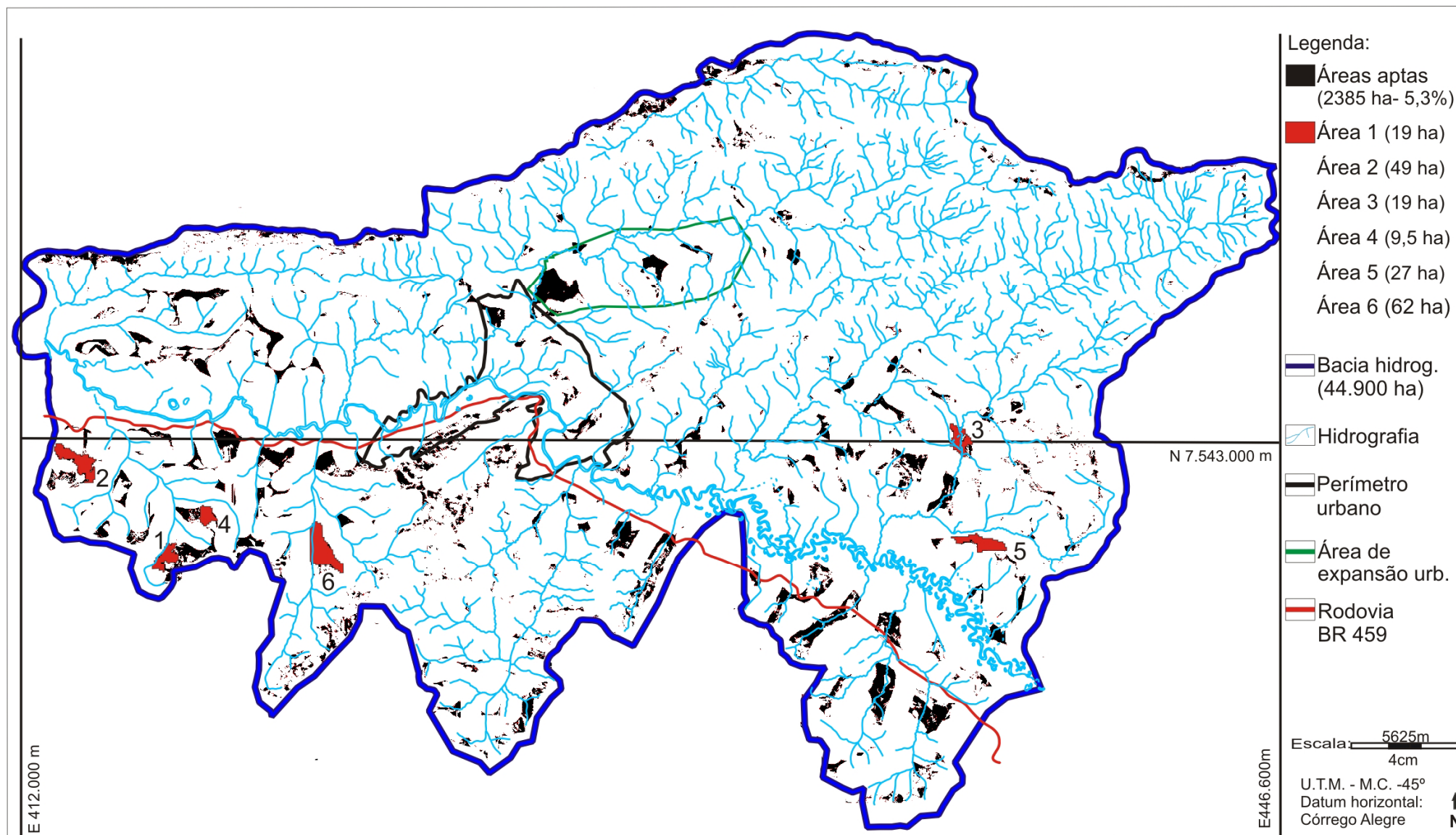


Figura 4.11 – Escolha de áreas aptas à implantação de aterro sanitário consorciado.

A análise booleana não permite fazer uma escala de aptidão para estas áreas, mas pode-se classificar como mais favoráveis ambientalmente às áreas 3 e 5, onde os resultados de textura do solo coletado indicam uma quantidade inferior a 30 % de areia, por outro lado, apesar de aptas, estas áreas são as mais distantes da rodovia de acesso e mais distantes da cidade de Pouso Alegre, a maior produtora de resíduos sólidos.

Já as áreas 1, 2, 4 e 6 tiveram um resultado em relação à textura do solo de mais de 40 % de areia, mas encontram-se mais próximas da rodovia de acesso e do maior pólo produtor de resíduos.

Com relação à extensão, fazendo-se uma projeção da área necessária para o volume de resíduos que seriam gerados pelo consórcio intermunicipal, pode-se classificar as áreas 2, 5 e 6.

Para a viabilidade de recuperação de biogás para a geração de energia elétrica a partir de aterro sanitário, o valor padrão considerado comercialmente viável é a produção de 200 toneladas de resíduos sólidos diárias, conforme levantado na revisão da literatura.

Assim, a produção de resíduos que seria gerada, se todos os municípios do entorno da área em estudo participassem do consórcio chegaria a uma taxa de aproximadamente 149 toneladas diárias. Com esta quantidade de resíduo diária, produzir-se-ia uma quantidade de gás na ordem de 29.668 m<sup>3</sup> de metano/dia e 10.680.480 m<sup>3</sup>/ano.

Essa produção anual de metano permitiria a geração de aproximadamente 2,77 MW de Potência elétrica, segundo BRAZ & SILVA (2001) o suficiente para atender uma população de 20 mil habitantes.

Considerando a possibilidade de implantação de tal consórcio, daqui a 20 anos, onde a população dos municípios envolvidos seria de 274.621 mil habitantes, a uma taxa média de produção de resíduos na ordem de 219.670 ton/dia, o que possibilitaria uma geração de energia elétrica da ordem de 4,28 MW Potência, segundo BRAZ & SILVA (2001) o suficiente para abastecer uma cidade de 30 mil habitantes.

Deve ser considerado também, que a partir da projeção realizada, neste estudo, a faixa superior de 200 ton/dia seria alcançada em 2022 (figura 4.12).

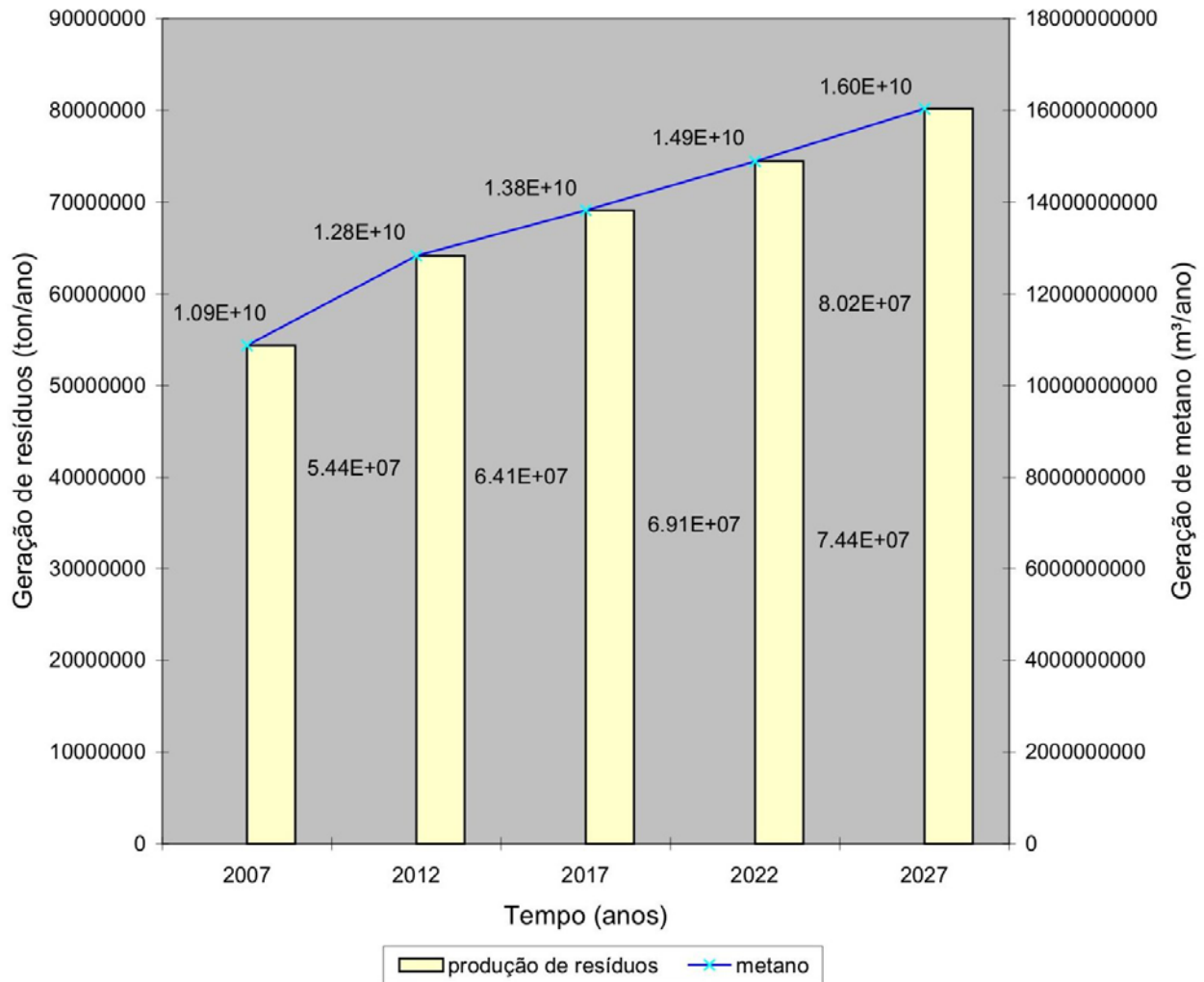


Figura 4.12 – Projeção da produção de metano a partir da produção de resíduos sólidos por número de habitantes.

Considera-se pertinente que este estudo ainda depende de outras variáveis para garantir a exatidão da produção de metano no aterro sanitário proposto. A definição depende de estudos técnico-econômicos e físicos a partir da operação de tal aterro, que demonstrarão a sua viabilidade comercial.

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

---

Para municípios de pequeno porte, principalmente com grande extensão territorial, como é o caso dos municípios envolvidos neste estudo. A disponibilização de dados é de grande valia, principalmente na área ambiental, já que tais municípios são carentes de dados e corpo técnico especializado.

Neste sentido, a seleção de áreas para futuras escolhas para a implantação de aterro sanitário é extremamente importante, para que os gestores municipais possam realizar um gerenciamento adequado de seus resíduos sólidos urbanos.

A etapa de levantamento de dados das variáveis ambientais selecionadas demonstrou claramente, que existe carência de dados digitalizados e atuais nos municípios de pequeno porte. Com o tratamento dos dados em S.I.G. foi possível verificar-se que a ocupação e o parcelamento do solo na região ocorreram sem planejamento, onde observa-se a ocupação em áreas de proteção ambiental, em altas declividades e no uso do solo para atividades agrícolas sem estudo de aptidão.

A escolha de áreas aptas para a implantação de aterro sanitário leva em consideração alguns condicionantes ambientais e técnicos que limitam a oferta dessas áreas. Para este estudo, as restrições utilizadas foram baseadas nas leis e normas técnicas mais restritivas levantadas na revisão bibliográfica.

Dentre as seis áreas com aptidão selecionadas, as áreas 2, 5 e 6 são as que têm maior aptidão para receber o empreendimento proposto, já que o objetivo é viabilizar a geração de energia elétrica através da realização de consórcio intermunicipal. Devendo haver a participação de todos os municípios envolvidos para que haja o volume de resíduos necessários à viabilização do projeto.

O cálculo do potencial de geração de energia foi calculado de acordo com os dados levantados na revisão da literatura. A partir do volume de resíduos esperados com o consórcio intermunicipal, seria possível a produção de energia elétrica para abastecer uma população de 20 mil habitantes, e daqui a 20 anos, uma população de 30 mil habitantes.

Para a estimativa da geração de metano, utilizou-se dados levantados na revisão da literatura, como a mesma diverge em valores, faz-se necessária à avaliação do potencial de geração de energia quando o aterro estiver efetivamente em operação.

As empresas e instituições interessadas em investir em projetos como estes, serão mais facilmente atraídas por projetos de maior porte, que recebam resíduos de populações acima de 250 mil habitantes, mas seguramente, não descartam a possibilidade de captação de gás de aterros de resíduos municipais com população na faixa de 150 mil habitantes, por apresentarem grande potencial, principalmente com relação ao Mercado de Créditos de Carbono

Para a viabilização de empreendimentos desse tipo, deve-se buscar investimentos federais, estaduais e até mesmo internacionais, pois embora o potencial de geração de energia seja significativo, a viabilidade econômica pode ser questionada.

Conclui-se, portanto, que existe uma pré-viabilidade na implantação deste empreendimento, possibilitando para os municípios de pequeno porte, além do saneamento integrado dos resíduos sólidos, minimização dos impactos ao meio ambiente, a oportunidade de ganhos pelo aumento de escala, a redução de custos operacionais e o favorecimento da adoção de tecnologia mais avançada.

Ressalta-se ainda, que mesmo o projeto de aterro sanitário seja correto, para um gerenciamento ambiental adequado, a necessidade de reciclagem prévia não deve ser descartada.

### **Considerações para trabalhos futuros**

Como este estudo é de caráter estratégico, com pretensão apenas indicativa, se faz necessária para trabalhos futuros, a avaliação real dos locais e a realização de análises de viabilidade técnico-econômica e física dos resíduos, bem como a realização de uma escala de aptidão das áreas pré-selecionadas e da real geração de metano, quando o aterro estiver efetivamente em operação.

Neste contexto devem ser realizados estudos para logística, do ponto de origem a área do aterro.

O projeto do aterro sanitário deve ser direcionado à eficiência de captação do biogás.

Deve ser considerada a questão da venda de créditos de carbono, pois é de extrema importância para viabilizá-la mais recursos para amortização dos investimentos.

O projeto do Estado de Minas Gerais, “Minas sem lixões”, pode ser um aliado na implantação de novos aterros sanitários na região abrangida por este estudo.

Devido às características do relevo e drenagem da Serra da Mantiqueira, existe grande dificuldade de disposição resíduos sólidos urbanos. Certamente, outras formas de disposição ou tratamento poderão ser encontradas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 8849. “Apresentação de projetos de aterros controlados de resíduos sólidos urbanos”. Rio de Janeiro, ABNT. 9 p, 1985.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 8419. “Apresentação projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos”. Rio de Janeiro, ABNT. 7 p, 1992.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 10.004. “Resíduos Sólidos - Classificação”. Rio de Janeiro; 63 p. 1987.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 6502. “Terminologia de Rochas e Solos”. Rio de Janeiro; 1986.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 13.896 “Aterros de resíduos não perigosos: critérios para projeto, instalação e operação”. Rio de Janeiro; 1997.

AVEZUM, Marcus César A. de Castro & SCHALCH, Valdir. “Avaliação da eficiência de uma usina de reciclagem e compostagem: estudo de caso”, 2001. Disponível em <http://www.resol.com.br>. Acesso em 21 Set. 2007.

AZEVEDO, Mônica de Abreu & SCHALCH, Valdir. “Metodologia para avaliação do risco à saúde da população vizinha a áreas de disposição final de resíduos sólidos”. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, 2005. <http://www.resol.com.br>. Acesso em: 31 Out. 2007.

BARBOSA, Luiz Mauro & GOLDEMBERG, José. “O meio ambiente no Brasil e no mundo”. Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, Set. 2004. Disponível em: [http://www.ambiente.sp.gov.br/artigos/030904\\_meioamb\\_brasil.htm](http://www.ambiente.sp.gov.br/artigos/030904_meioamb_brasil.htm). Acesso em: Out. 2005.

BARISON, Marcelo Ribeiro. "Mapeamento geotécnico regional da quadrícula de Amparo/SP, escala 1:50.000: com base na análise dos landforms e de perfis típicos de alteração". Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 1995: 195 p.

BARISON, Marcelo Ribeiro & HARUI, Taciana Gomes. "Elaboração do mapa do substrato rochoso: relatório do Plano Diretor Participativo de Santa Rita do Sapucaí-MG". NEPA, UNIFEI, CNPq, 2007.

BRAGA, Maria Cristina Borba & RAMOS, Sonia Iara Portalupi. "Desenvolvimento de um modelo de banco de dados para sistematização de programas de gerenciamento integrado de resíduos sólidos em serviços de limpeza pública". Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 11, n. 2, 2006 Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arText&pid=S1413-1522006000200009&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arText&pid=S1413-1522006000200009&lng=pt&nrm=iso)>. Acesso em: 29 Out 2007.

BRAZ, José Adelino & SILVA, Celso Luiz da. "Avaliação do potencial energético do biogás de aterro sanitário gerado pelos resíduos sólidos domésticos do município de Rio Claro". 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, 2001. <http://www.resol.com.br>. Acesso em: 31 Out. 2007.

BRILHANTE, Ogenis Magno. "Gestão ambiental em pequenas e médias cidades da América Latina". Conferência Internacional sobre Água e Saneamento. Cali, Colômbia, Out. 2000. Disponível em: [http://www.ihs.nl/downloads/IHS%20publications/staff/o\\_Brilhante/Brilhante%202000-Gestao%ambienta%20em%20cidades%20pequenas%20e%20medias%20da%20america%20latina.pdf](http://www.ihs.nl/downloads/IHS%20publications/staff/o_Brilhante/Brilhante%202000-Gestao%ambienta%20em%20cidades%20pequenas%20e%20medias%20da%20america%20latina.pdf). Acesso em: 26 Set. 2006.

BUSSINK, Coen. "Gis as a tools in participatory natural resource management – exemples from Peruvian Andes". Mountain Reserch and Development, n.º 04 (v:23): 320-323, 2003.

CALDAS, Eduardo de L. (2003). CITRESU: Consórcio Intermunicipal de Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos. In LOTTA, Gabriela S. et al (Orgs.) 20 Experiências de Gestão Pública e Cidadania. São Paulo: Programa Gestão Pública e Cidadania/FGV apud SILVEIRA, Rose Cristina & PHILIPPI, Luiz Sérgio. “O papel dos consórcios intermunicipais na gestão de resíduos sólidos urbanos: uma breve contribuição para o debate”. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, 2005. <http://www.abes-dn.org.br/publicações/engenharia/Resonline/iNDex.htm>. Acesso em: 31 Out. 2007.

CALIJURI, Maria Lúcia; LOURDES, Samuel Santana Paes; SANTIAGO, Aníbal da Fonseca; SCHAEFFER, Carlos Ernesto G.R.; LUGÃO, Wilson Gandini e ALVES, José Ernesto Mattos. “Identificação de áreas alternativas para disposição de resíduos sólidos na região do Baixo Ribeira do Iguaçu – SP”. Engenharia Sanitária e Ambiental, São Paulo, 3(12):335-342, jul./set., 2007. Disponível em: <http://www.abes-dn.org.br/publicações/engenharia/resaonline/iNDex.htm>. Acesso em: 31 Out. 2007.

CASTILHO JUNIOR, Armando. “Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos com ênfase na proteção dos corpos d’água: prevenção, geração e tratamento de lixiviados de aterros sanitários”. Rio de Janeiro: ABES, 2006. Disponível em <http://www.finep.gov.br/prosab/produtos.html#lixo>. Acesso em 31 Out. 2007.

CELALETTIN, Simsek; CEM, Kincal e ORHAN, Gunduz. “ A solid waste disposal site selection procedure based on groundwater vulnerability mapping”. Environ Gel, n.º49: 620-633, 2006. Disponível em: <http://www.springerlink.com/content/7j5v138r27157371/fulltext.pdf>. Acesso em: 14 Set. 2007

CENBIO. “Produção de biogás a partir da disposição de resíduos sólidos urbanos nos municípios do Brasil”. CENBIO, 2007. Disponível em: <http://www.cenbio.org.br>. Acesso em 30 Set. 2007.

COMIG. Companhia Mineradora de Minas Gerais. “Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais”, 1994.

COPAM – Conselho Estadual de Política Ambiental. “Deliberação Normativa – 52/2001”. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNoRma=3987>. Acesso em 20 Out. 2007.

COSTA, David Freire da. “Geração de energia elétrica a partir de biogás”. Dissertação de Mestrado. USP – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia – PIPGE, 2006.

COSTA, Kelly de Vasconcelos. “Classificação de áreas favoráveis à disposição de resíduos sólidos utilizando geoprocessamento”. Monografia de Especialização. UFMG, Belo Horizonte, 2001. Disponível em: <http://www.crs.ufmg.br/geoprocessamento/centrorecursos/3cursopub/vasconceloscosta.2000.pdf>. Acesso em: 06 de Nov. 2006.

D’ALMEIDA, M. L. O.; VILHENA, A., coord. Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado. 2. ed. São Paulo, IPT - CEMPRE. 370 p, 2000.

ELIS, Vagner Roberto & ZUQUETTE, Lázaro Valentim. “Caracterização geofísica de áreas utilizadas para disposição de resíduos sólidos urbanos”. Geociências, São Paulo, 32(1):119-134, mar, 2002.

EMBRAPA – CNPS. “Manual de métodos e análise de solos”. 2ª ed., Rio de Janeiro, p. 31, 1997.

ESCOSTEGUY, Pedro Alexandre Varella & MATTEI, Greice. “Composição gravimétrica de resíduos sólidos aterrados”. Engenharia Sanitária e Ambiental, São Paulo, 3(12):247-251, jul/set, 2007. Disponível em <http://www.abes-dn.org.br/publicações/engenharia/resaonline/iNdex.htm>. Acesso em: 31 Out. 2007

FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente. “Minas sem lixões”. Disponível em [http://www.feam.br/index.php?option=com\\_content&task=view&id=233](http://www.feam.br/index.php?option=com_content&task=view&id=233). Acesso em 20 Out. 2007.

FIORENTIN, Odacir. “Uma proposta de consórcio para gerenciamento de resíduos sólidos urbanos na unidade de receita da costa oeste pela companhia de saneamento do Paraná”. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – UFSC, Florianópolis, 93 p., 2002.

GUIMARÃES, Lucy Teixeira. “Utilização de sistemas de informações geográficas (SIG) para identificação de áreas potenciais para disposição de resíduos sólidos na Bacia do Paquequer, município de Teresópolis – RJ”. Dissertação de Mestrado, COOPE/UFRJ, Programa de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do RJ, Rio de Janeiro: fevereiro, 2000. Disponível em: <http://www.fgel.ufrj.br/labBlicações/lucy/index.htm>. Acesso em: 19 de Out. 2006.

HELLER, Léo & CASTRO, José Esteban “Política pública de saneamento: apontamentos teórico-conceituais”. Engenharia Sanitária e Ambiental, São Paulo, 3(12):284-295, jul/set, 2007. Disponível em <http://www.abes-dn.org.br/publicações/engenharia/resaonline/iNdex.htm>. Acesso em: 31 Out. 2007

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. “Pesquisa Nacional de Saneamento Básico”. Rio de Janeiro, 2000.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. “Contagem Populacional – Censo 2007”. Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br). Acesso em 05 Out. 2007.

IBAM/ MIN. DAS CIDADES – Escola Nacional de Serviços Urbanos; Ministério das Cidades e PMSS – Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. “Biogás em aterros e os créditos de carbono”. s/d.

IBAM - Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos / José Henrique Penido Monteiro et al. coordenação técnica: Victor Zular Zveibil. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

IGA – Instituto de Geociências Aplicadas. “Levantamento geoambiental das regiões do médio e alto Rio Sapucaí e do alto Rio Pardo”. Secretaria de Estado de Ciência e Tecnologia e Ensino e Pesquisa – Governo do Estado de Minas Gerais, 2007.

INPE - DPI. Tutorial de Geoprocessamento – SPRING, DPI/INPE. Disponível em [www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/modelagem.html](http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/modelagem.html) . Acesso em 23 de Out. 2006.

JUCÁ, José Fernando Thomé; MARIANO, Maria Odete Holanda; ALVES, Maria Cristina Moreira; MACIEL, Felipe Jucá e BRITO, Antônio. “Disponibilidade do biogás em uma célula do aterro de resíduos sólidos da Muribeca”. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, 2005. <http://www.abes-dn.org.br/publicações/engenaria/resaonline/iNdex.htm>. Acesso em: 31 Out. 2007.

JURAS, Ilidia A. G. Martins. “Consultoria legislativa – destino dos resíduos sólidos e legislação sobre o tema”. Nota técnica, Câmara dos Deputados, 2001.

KASTRUP, Luiz Felipe de Camargo; BERNARDI JÚNIOR, Paulo e GÜNTHER, Wanda Maria Risso. “Geração de energia limpa através da reforma de gás metano de aterros sanitários”. Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental, 2005. Disponível em <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/iswa2005/energia.pdf>. Acesso em Out. 2007.

LANDIM, Paulo M. Barbosa. “Análise estatística espacial de dados geológicos multivariados”. Texto didático n.º 15 – Laboratório de Geomatemática – Departamento de Geologia – UNESP, Rio Claro, 2006.

LANGE, Lisete Celina; SIMOES, Gustavo Ferreira; FERREIRA, Cynthia Fantoni Alves e SILVA, Florence Vasconcelos. "Alternativas de disposição de resíduos sólidos urbanos em pequenas comunidades". Coletânea de Trabalhos técnicos. CASTILHO JUNIOR, Armando; LANGE, Lisete Celina; GOMES, Luciana Paulo e PESSIN, Neide (org). Rio de Janeiro, ABES, 2002. Disponível em <http://www.finep.gov.br/prosab/produtos.html#lixo>. Acesso em 31 Out. 2007.

LARANJEIRA, Lia Ranieri. "Utilização da lógica difusa na caracterização e áreas favoráveis à disposição de resíduos sólidos no município de Americana (SP)". Dissertação de Mestrado. UNESP – Curso de Pós-Graduação em Geociências, Rio Claro, SP, 2003. Disponível em: <http://www.biblioteca.unesp.br/bibliotecadigital/document/?down=1812>. Acesso em: 19 de Out. 2006.

LIMA, Gustavo da Costa "Questão ambiental e educação: contribuições para o debate". Ambiente e Sociedade, Campinas, SP, n.º 05, 1999. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?=scarttext%pid=S1414-753X1999000200010&lng=pt&rm=isso>. Acesso em: 21 Set. 2006.

MEDAUAR, Odete (org.). "Coletânea de legislação de direito ambiental e constituição federal". 5ª ed. São Paulo: RT, 2006.

MENDES, Luiz Gustavo Galhardo & MAGALHÃES SOBRINHO, Pedro. "Métodos de estimativa de geração de biogás em aterro sanitário". Ver. Ciências Exatas, v: 11, n.º 22, 71-76, Taubaté, 2005.

MILARÉ, Edis. "Direito do ambiente: doutrina, jurisprudência, glossário". 5ª ed. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2007.

NARUO, Mauro Kenji. "O estudo do consórcio entre municípios de pequeno porte para disposição final de resíduos sólidos urbanos utilizando sistema de informações geográficas". Dissertação de Mestrado. USP - Escola de Eng. De São Carlos, São Carlos, SP, 2003.

NEPA/CNPQ. “Plano Diretor Participativo de Santa Rita do Sapucaí (MG)”, Projeto CNPq, 2006/2007.

NOBREGA, Cláudia Coutinho; LIMA, José Dantas e FLORES NETO, José Peixoto. “Análise do processo de implantação do programa de coleta seletiva na cidade de João Pessoa – Paraíba”. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, 2005. <http://www.abes-dn.org.br/publicacoes/engenharia/resaonline/iNdex.htm>. Acesso em: 31 Out. 2007.

PRADO FILHO, José Francisco & SOBREIRA, Frederico Garcia. “Desempenho operacional e ambiental de unidades de reciclagem e disposição final de resíduos sólidos domésticos financiadas pelo ICMS ecológico de Minas Gerais”. Engenharia Sanitária e Ambiental, São Paulo, 1(12):52-61, jan/mar, 2007. Disponível em <http://www.abes-dn.org.br/publicações/engenharia/resonline/iNdex.htm>. Acesso em: 31 Out. 2007.

RAMOS, Rui António Rodrigues. “Localização industrial: um modelo espacial para o noroeste de Portugal”. Tese de Doutorado. Universidade do Minho – Escola de Engenharia, Braga, 2000. Disponível em: <http://www.repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/184>. Acesso em: 26 Mar. 2007.

RODRIGUES, João Osvaldo. “Uma contribuição metodológica ao estudo da dinâmica da paisagem aplicada a escolha de áreas para construção de aterro sanitário em Presidente Prudente, SP”. Tese de Doutorado. UNESP – Doutorado em Geografia, Rio Claro, 2002.

ROSA, LUIZ P. et al. “Fontes Renováveis de Energia no Brasil – Geração de Energia a partir de Resíduos do Lixo e Óleos Vegetais”, Rio de Janeiro, 2003.

SABIA, Rodolfo José; DUARTE, Paulo Henrique G; MARTINS, Maria da Conceição Bezerra e ALVES JUNIOR, Francisco Tarcísio. “Estudo da geração

de energia a partir dos resíduos sólidos”. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, 2005. <http://www.abes-dn.org.br/publicacoes/engenharia/Resonline/iNDex.htm>. Acesso em: 31 Out. 2007.

SARIKA, Rathi. “Optimization model for integrated municipal solid waste management in Mumbai, Índia”. *Environment and Development Economics*, n.º 12: 105-121, 2007. Disponível em: [http://www.journals.cambridge.org/download.php?file=%2FEDE%2FEDE12\\_01%2FSI1355770X0600341Xa.pdf](http://www.journals.cambridge.org/download.php?file=%2FEDE%2FEDE12_01%2FSI1355770X0600341Xa.pdf). Acesso em: 14 de Set. 2007.

SCHALCH, V.; LEITE, W. C. A.; GOMES, L. P. (1990). Curso sobre gerenciamento de resíduos sólidos. Goiânia, ABES. 227 p. apud NARUO, Mauro Kenji. “O Estudo do Consórcio entre Municípios de Pequeno Porte para Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos Utilizando Sistema de Informações Geográficas”. Dissertação de Mestrado. USP- Escola de Eng. De São Carlos, São Carlos, SP, 2003.

SERRE, Damien. “Evaluation de la performance des digues de protection contre les inondations – modelisation de criteres de decision dans un systeme d’ information geographique”. Tese de Doutorado. Université de Marne La Vallé – Spécialité: Sciences de l’ Informacion Geographique, França, Dez., 2005.

SILVEIRA, Rose Cristina & PHILIPPI, Luiz Sérgio. “O papel dos consórcios intermunicipais na gestão de resíduos sólidos urbanos: uma breve contribuição para o debate”. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, 2005. <http://www.abes-dn.org.br/publicacoes/engenharia/Resonline/iNDex.htm>. Acesso em: 31 Out. 2007.

SOUPIOS, Pantelis; PAPADOPOULOS, Nikos; PAPADOPOULOS, Ilias; KOULI, Maria; VALLIANATOS, Filippos; SARRIS, Apóstolos e MANIOS, Thrassyvoulos. “Application of integrated methods in mapping waste disposal areas”. *Environ Gel*, 2007. Disponível em: <http://www.springerlink.com/content/K22442n0064h3515/fulltext.pdf>. Acesso em: 14 Set. 2007.

SOUZA, Marcelo Pereira de, "Instrumentos de gestão ambiental". São Carlos, SP : Riani Costa, 2000, 112 pg.

TEIXEIRA, Pedro Rios de Moura. "Simulação do processo de combustão de gases provenientes de aterros sanitários". Dissertação de Mestrado. Pontifícia Universidade Católica – Departamento de Engenharia Mecânica, Rio de Janeiro, RJ, 2004. Disponível em: [http://www.maxwell.lambda.ele.puc-rio.br/cgi-bin/qPRG\\_0599.EXE/0370\\_3.PDF](http://www.maxwell.lambda.ele.puc-rio.br/cgi-bin/qPRG_0599.EXE/0370_3.PDF). Acesso em Ago. 2007.

VALÉRIO FILHO, M.;et al. "Geotecnologias Aplicadas no Monitoramento do Crescimento Urbano em Áreas de Risco á Erosão". Anais eletrônicos do Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, Florianópolis, Outubro 2004, Disponível em: [http://geodesia.ufsc.br/Geodesiaonline/arquivo/Cobrac\\_2004/119.pdf](http://geodesia.ufsc.br/Geodesiaonline/arquivo/Cobrac_2004/119.pdf), Acesso em 8 de novembro de 2006.

VIEIRA, Sálvio José; ORTH, Dora Maria e WANKA, João Vicente Hess Guimarães Klettenberg. "A escolha de áreas, utilizando geoprocessamento, para o sistema de tratamento e disposição final de resíduos sólidos". COBRAC – Congresso Brás. De Cadastro Técnico Multifinalitário – UFSC, Florianópolis, SC, Out, 2000. Disponível em: <http://www.geodesia.ufsc.br/GEodEsiaonline/arquivo/cobrac-2000/036/036.htm>. Acesso em: 19 de Out. 2006.

WEBER, Eliseu & HASENACK, Heinrich. "Avaliação de áreas para instalação de aterro sanitário através de análises em S.I.G. com classificação contínua dos dados". Disponível em: <http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo/artigos/aterro.df> Acesso em: 19 de Out. 2006.

ZANETTI, Izabel Cristina Bruno Bacellar & Lais Mourão Sá. "A educação ambiental como instrumento de mudança na concepção de gestão dos resíduos sólidos domiciliares e na preservação do meio ambiente". Universidade Federal de Brasília, 2006. Disponível em: [http://www.ambiente.sp.gov.br/EA/adm/admarqs/Texto\\_Zaneti.pdf](http://www.ambiente.sp.gov.br/EA/adm/admarqs/Texto_Zaneti.pdf). Acesso em 26 Set. 2006.

## ANEXO A

Análises laboratoriais das amostras de solo coletadas na área em estudo.

| Amostra | Areia    |               |                      | Argila   |               |                      | % areia | % silte | % argila |
|---------|----------|---------------|----------------------|----------|---------------|----------------------|---------|---------|----------|
|         | Tara [g] | Peso Seco [g] | Peso Seco - Tara [g] | Tara [g] | Peso Seco [g] | Peso Seco - Tara [g] |         |         |          |
| 1       | 28.41    | 31.332        | 2.922                | 6.022    | 6.082         | 0.06                 | 29.22   | 14.78   | 56       |
| 2       | 28.392   | 31.604        | 3.212                | 5.795    | 5.84          | 0.045                | 32.12   | 26.88   | 41       |
| 3       | 28.07    | 31.102        | 3.032                | 6.048    | 6.114         | 0.066                | 30.32   | 7.68    | 62       |
| 4       | 28.241   | 30.655        | 2.414                | 6.048    | 6.103         | 0.055                | 24.14   | 24.86   | 51       |
| 5       | 27.244   | 30.62         | 3.376                | 5.999    | 6.059         | 0.06                 | 33.76   | 10.24   | 56       |
| 6       | 25.299   | 28.594        | 3.295                | 5.78     | 5.834         | 0.054                | 32.95   | 17.05   | 50       |
| 7       | 24.335   | 27.485        | 3.15                 | 5.944    | 5.99          | 0.046                | 31.5    | 26.5    | 42       |
| 8       | 25.922   | 28.064        | 2.142                | 6.228    | 6.283         | 0.055                | 21.42   | 27.58   | 51       |
| 9       | 24.335   | 29.046        | 4.711                | 5.944    | 5.96          | 0.016                | 47.11   | 40.89   | 12       |
| 10      | 25.922   | 28.246        | 2.324                | 6.228    | 6.285         | 0.057                | 23.24   | 23.76   | 53       |
| 11      | 28.41    | 30.709        | 2.299                | 6.022    | 6.081         | 0.059                | 22.99   | 22.01   | 55       |
| 12      | 28.392   | 29.672        | 1.28                 | 5.795    | 5.877         | 0.082                | 12.8    | 9.2     | 78       |
| 13      | 28.07    | 30.531        | 2.461                | 6.048    | 6.117         | 0.069                | 24.61   | 10.39   | 65       |
| 14      | 28.241   | 31.318        | 3.077                | 6.048    | 6.114         | 0.066                | 30.77   | 7.23    | 62       |
| 15      | 27.244   | 30.701        | 3.457                | 5.999    | 6.058         | 0.059                | 34.57   | 10.43   | 55       |
| 16      | 25.299   | 30.033        | 4.734                | 5.78     | 5.824         | 0.044                | 47.34   | 12.66   | 40       |
| 17      | 27.572   | 29.93         | 2.358                | 6.013    | 6.08          | 0.067                | 23.58   | 13.42   | 63       |
| 18      | 26.626   | 31.455        | 4.829                | 5.794    | 5.823         | 0.029                | 48.29   | 26.71   | 25       |
| 19      | 27.475   | 29.659        | 2.184                | 6.05     | 6.104         | 0.054                | 21.84   | 28.16   | 50       |
| 20      | 26.68    | 29.186        | 2.506                | 5.96     | 6.015         | 0.055                | 25.06   | 23.94   | 51       |
| 21      | 28.39    | 35.444        | 7.054                | 5.674    | 5.687         | 0.013                | 70.54   | 20.46   | 9        |
| 22      | 26.225   | 29.306        | 3.081                | 6.281    | 6.341         | 0.06                 | 30.81   | 13.19   | 56       |
| 23      | 28.722   | 31.764        | 3.042                | 6.415    | 6.476         | 0.061                | 30.42   | 12.58   | 57       |
| 24      | 27.514   | 30.703        | 3.189                | 5.78     | 5.824         | 0.044                | 31.89   | 28.11   | 40       |
| 25      | 22.113   | 24.922        | 2.809                | 6.235    | 6.287         | 0.052                | 28.09   | 23.91   | 48       |
| 26      | 28.776   | 31.17         | 2.394                | 5.959    | 6.032         | 0.073                | 23.94   | 7.06    | 69       |
| 27      | 26.631   | 29.262        | 2.631                | 5.68     | 5.742         | 0.062                | 26.31   | 15.69   | 58       |
| 28      | 29.09    | 30.746        | 1.656                | 6.067    | 6.137         | 0.07                 | 16.56   | 17.44   | 66       |
| 29      | 23.086   | 24.461        | 1.375                | 6.418    | 6.503         | 0.085                | 13.75   | 5.25    | 81       |
| 30      | 26.476   | 28.328        | 1.852                | 6.006    | 6.055         | 0.049                | 18.52   | 36.48   | 45       |
| 31      | 27.596   | 30.188        | 2.592                | 6.012    | 6.064         | 0.052                | 25.92   | 26.08   | 48       |
| 32      | 28.789   | 32.605        | 3.816                | 5.959    | 6.007         | 0.048                | 38.16   | 17.84   | 44       |
| 33      | 26.51    | 30.391        | 3.881                | 6.087    | 6.114         | 0.027                | 38.81   | 38.19   | 23       |
| 34      | 28.915   | 30.92         | 2.005                | 6.233    | 6.294         | 0.061                | 20.05   | 22.95   | 57       |

## ANEXO B

---

Método de Análise para obtenção dos dados sobre textura.

O procedimento utilizado para a determinação da textura é o Método da Pipeta. O princípio desta análise textural é baseado na sedimentação. Para se definir a porcentagem de areia, silte e argila em uma amostra de solo, parte do princípio que, por essas partículas apresentarem tamanhos diferentes, cada uma delas tem um tempo de sedimentação diferente. Dessa forma, em um mesmo intervalo de tempo, a areia sedimenta mais rápido que o silte que, por sua vez, sedimenta mais rápido que a argila (os menores grãos).

Inicialmente, é necessário que a amostra de solo seja dispersada antes de iniciar a sedimentação. A dispersão é feita de duas formas: primeiro realiza-se a dispersão química, com a adição de 10 ml de Hidróxido de Sódio (NaOH). É necessário que a solução (água destilada, NaOH e solo) permaneça alguns minutos em repouso para que de tempo suficiente do NaOH agir. A função do NaOH é separar os agregados do solo que existem na amostra. A segunda dispersão é feita no dispersor elétrico, onde solução anterior é agitada por tempo determinado, com a finalidade de dispersar os agregados. Com a dispersão, nosso objetivo é separar os agregados, fazendo com que na solução estejam somente partículas unitárias, evitando-se o erro de que agregados de argila, por exemplo, sejam contados como uma partícula de areia.

Depois de agitada no dispersor elétrico, a solução é colocada em uma proveta de um litro e, em seguida, com um termômetro apropriado, faz-se a leitura da temperatura desta solução. O tempo de sedimentação da solução varia de acordo com a temperatura da mesma: quanto mais alta a temperatura, menor o tempo de sedimentação. Decorrido o tempo de sedimentação, com o auxílio de uma pipeta de 10 ml, é coletado da proveta de 1 litro apenas 10 ml. Nesta fase deve-se destinar devida atenção para que não se esbarre na proveta e altere a sedimentação das partículas de solo. Pela metodologia sabe-se também que nos 10 primeiros centímetros da proveta (a contar pela borda), está a concentração de silte. Por isso, é coletado com a pipeta 10 ml da

solução que se encontra nesses 10 centímetros superiores e levamos, em um cadinho metálico, para estufa.

Para se determinar a quantidade de areia, o restante do conteúdo da proveta é passado em uma peneira de 0.053 mm de abertura. O que fica retido nesta peneira é a areia. A determinação da areia é direta. Leva-se para a estufa, em cadinho metálico, para ser feita a secagem da água. A massa pesada posteriormente já é a quantidade de areia. A porcentagem de areia é determinada da seguinte forma:

$$\% \text{ Areia} = 10 \times (\text{Peso da areia})$$

Onde o peso da areia é o resultado do cadinho de metálico depois de seco, a porcentagem de argila é determinada pela seguinte fórmula:

$$\% \text{ Argila} = 1000 \times (\text{Peso da argila} - 0,004)$$

Onde o peso da argila é o resultado do cadinho de metálico depois de seco, a porcentagem de silte é dada por:

$$\% \text{ de silte} = 100 - (\% \text{ Areia} + \% \text{ Argila})$$