

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL

OSMAR MENDES FERREIRA

**DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM ATERROS SANITÁRIOS:  
ELEMENTOS NORTEADORES E CUSTOS DECORRENTES  
NO ESTADO DE GOIÁS**

GOIÂNIA  
2006

# **Livros Grátis**

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

Milhares de livros grátis para download.

OSMAR MENDES FERREIRA

**DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM ATERROS SANITÁRIOS:  
ELEMENTOS NORTEADORES E CUSTOS DECORRENTES  
NO ESTADO DE GOIÁS**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia do Meio Ambiente da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás, para obtenção do título em Mestre em Engenharia do Meio Ambiente.

Linha de Pesquisa: Gerenciamento de resíduos sólidos

Orientador: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. Simone Costa Pfeiffer

GOIÂNIA  
2006

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
(GPT/BC/UFG)

Ferreira, Osmar Mendes.

F383d Disposição de resíduos sólidos urbanos em aterros Sanitários: elementos norteadores e custos decorrentes no estado de Goiás / Osmar Mendes Ferreira. – Goiânia, 2006.

vii,166f. : il., color., figs., qds., tabs.

Orientadora: Simone Costa Pfeiffer.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil, 2006.

**Bibliografia: f.158-166.**

Inclui listas de figuras, quadros, tabelas, abreviaturas e siglas e de símbolos.

**1. Resíduos sólidos – Goiás (Estado) 2. Resíduos sólidos urbanos – Goiás (Estado) 3. Aterro sanitário – Avaliação econômica 4. Gerenciamento de resíduos**  
**I. Pfeiffer, Simone Costa II. Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil III. Título.**

CDU: 628.4(817.3)

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

**DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM ATERROS SANITÁRIOS:  
ELEMENTOS NORTEADORES E CUSTOS DECORRENTES  
NO ESTADO DE GOIÁS**

Candidato: Engenheiro Sanitarista **OSMAR MENDES FERREIRA**

Dissertação defendida e aprovada em 08/12/2006 pela comissão julgadora

Prof<sup>a</sup> Colaboradora Dr.<sup>a</sup> **SIMONE COSTA PFEIFFER (orientadora)**  
(Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia do Meio Ambiente –  
PPGEMA / Escola de Engenharia Civil – Universidade Federal de Goiás)

Prof.<sup>o</sup> Adjunto Dr. **ERALDO HENRIQUES DE CARVALHO**  
(Escola de Engenharia Civil – Universidade Federal de Goiás)

Prof<sup>a</sup> Adjunta Dr.<sup>a</sup> **VIVIANA MARIA ZANTA**  
(Universidade Federal da Bahia - UFBA)

## **DEDICO ESTE TRABALHO**

Ao conhecimento, aos meus pais **Antônio e Abadia**, pelo esforço dispensado para minha formação escolar A minha esposa e filhas **Vânia, Thaís, Danielle e Letícia**, pela presença em todos os momentos difíceis e importantes de minha vida e que souberam compreender minha ausência para desenvolver essa pesquisa e concluir esse curso.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pela minha existência, pela ajuda nos momentos obscuros e difíceis e pela compreensão das minhas fraquezas nunca deixando de acolher - me e iluminar.

A minha orientadora, Professora Dr<sup>a</sup>. Simone Costa Pfeiffer, que com muita serenidade acolheu me e conduziu essa pesquisa com determinação, a minha gratidão.

Ao Professor Dr. Eraldo Henriques de Carvalho, que para mim espelha o exemplo de dedicação a arte de ensinar, o meu reconhecimento.

A Professora Adjunta da Universidade Federal da Bahia Dr<sup>a</sup>. Viviana Maria Zanta, pela participação nessa banca examinadora e pelas valiosas contribuições dadas a esse trabalho.

A Professora Dr<sup>a</sup>. Luiza Cintra Campos, Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente - PPGEMA, pela dedicação determinante para o início desse curso, tornando viável a qualificação de novos profissionais e em seu nome agradeço a direção da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás.

A todos os professores do PPGEMA, catedráticos exigentes e dedicados, acima de tudo revelando ser especial essa missão doutrinária, obrigado por tudo.

As secretárias do PPGEMA (Deuzélia e Marizan) pela dedicação e especial atenção que me tem atendido, meus sinceros agradecimentos.

Ao amigo Eng<sup>o</sup> Msc. Fábio Mauricio Corrêa (Secretário Municipal do Desenvolvimento Urbano Sustentável de Anápolis) que me abriu as portas da prefeitura de Anápolis para realizar essa pesquisa no cenário de minha cidade e em seu nome agradeço ao Prof<sup>o</sup> Pedro Fernando Sahium (Prefeito Municipal), que autorizou o acesso às informações apresentadas nesse estudo.

Ao Eng<sup>o</sup> Sergio de Souza, colaborador da Secretária Municipal de Meio Ambiente e Recursos Hídrico de Anápolis, profissional dedicado à tarefa de gestão do aterro sanitário, pelo tempo dispensado em me atender e pelas informações prestadas com muita sinceridade.

Ao Eng<sup>o</sup> Carlyle Nunes, profissional, colaborador, dedicado e gestor do aterro sanitário de Aparecida de Goiânia, e em seu nome agradeço a todos os operários e em especial o Sr. Geraldo Carlos da Silva (auxiliar), que tantas vezes dispensarão seus tempos para me atender e pelas informações prestadas, sou muito grato.

Ao Eng<sup>o</sup> Sergio Arnaldo da Silva, colaborador da QUALIX, gestor do aterro sanitário de Goiânia e em seu nome agradeço a todos operadores deste aterro em especial o

Sr. Adilson Rangel Soares (operador dedicado) e ao Pablo Frederick (colaborador administrativo), pelo tempo dispensado em me atender e por todas informações prestadas.

A empresa GAE /CONSTRURBAN que opera o aterro sanitário de Anápolis, através de seu diretor Engº Daniel Jean Laperche, por receber de braços abertos e pelas valiosas informações que muito me ajudam.

Aos Engºs. Fabiano Pereira Baptista e Jane Inácio das empresas SANEPAC Engenharia e Central Engenharia, profissionais atuantes na execução e orçamento de obras de saneamento, sou grato pelas informações e colaborações a esse trabalho.

À Agência Ambiental de Goiás, que possibilitou meu ingresso a esse curso.

Aos meus colegas de curso, que com as discussões calorosas durante essa caminhada, proporcionou-me a troca de experiências, conhecimento e sabedoria.

A meus colegas da Agência Ambiental de Goiás, que abraçaram as causas ambientais com heroísmo, superando dificuldades, prestando serviços com fidelidade, dando de si o melhor, com idealismo, a favor das causas ambientais para o bem de todos e em especial a eles [... Joseirton Nogueira, Antônio Gabriel, Luciano Coelho, Neuzelides Rebelo, Roberto Freire, Ivanice Lima, Maria Anita, Arailson Moreira, Vilmar Queiros ...]

A todos os amigos pelas palavras de estímulo e motivação.

[... Estamos diante de um momento crítico na história da Terra, numa época em que a humanidade deve escolher o seu futuro. À medida que o mundo torna-se cada vez mais interdependente e frágil, o futuro enfrenta, ao mesmo tempo, grandes perigos e grandes promessas. Para seguir adiante, devemos reconhecer que, no meio da uma magnífica diversidade de culturas e formas de vida, somos uma família humana e uma comunidade terrestre com um destino comum. Devemos somar forças para gerar uma sociedade sustentável global baseada no respeito pela natureza, nos direitos humanos universais, na justiça econômica e numa cultura da paz. Para chegar a este propósito, é imperativo que nós, os povos da Terra, declaremos nossa responsabilidade uns para com os outros, com a grande comunidade da vida, e com as futuras gerações...]

“ONU - CARTA DA TERRA”

## RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo analisar no âmbito estadual, as questões da disposição dos resíduos sólidos urbanos em aterro sanitário. A pesquisa envolveu o acompanhamento dos aterros sanitários de Anápolis, Aparecida de Goiânia, Goiânia e Trindade, por um período contínuo de um ano. Para compreender de fato o papel de cada elemento norteador de um aterro sanitário, grande parte do trabalho fundamentou-se nos relatos dos operadores dos projetos pesquisados como as características construtivas que variam caso a caso, em função das peculiaridades locais, dos recursos materiais e técnicos disponíveis, do uso de materiais e modelos alternativos e, até, da vida útil prevista para o projeto. O estudo identificou os custos da disposição de resíduo sólido urbano em aterro sanitário praticados nos municípios estudados e em outros municípios regionais e nacionais. Ficou demonstrado também o grande número de variáveis que interfere nos custos de implantação e operação dos projetos e que a pluralidade desses fatores aumenta a dificuldade na obtenção de um modelo que relacione os elementos requeridos pelo projeto e esses custos, conduzindo o estudo a resultados pontuais. Ainda assim, em alguns casos, pode-se estabelecer uma correlação entre projetos com ordem de grandeza e modelo similar, acerca dos quais existem poucos estudos. Para o aterro sanitário da cidade de Anápolis, que possui população de 313.412 habitantes e uma produção média atual de resíduo sólido urbano de 173,00 t/dia, o modelo construtivo atual elaborado para um período de dezesseis anos, resultou em R\$ 29,50 por habitante equivalendo a R\$ 5,20 por tonelada. No modelo alternativo proposto neste estudo, o custo de implantação resultou em R\$ 16,76 por habitante equivalendo a R\$ 3,0 por tonelada. O custo atual com a operação desse projeto é de R\$ 22,93 por tonelada de resíduo sólido urbano disposto no aterro. Esse custo com a disposição equivale a 33% dos custos mensais de todo serviço de limpeza pública, representando R\$ 0,47 por habitante/mês. O custo de implantação por habitante, estabelecido para o projeto de Aparecida de Goiânia, ficou muito próximo ao de Anápolis, demonstrando a correlação dos custos entre esses projetos, que tem modelo e ordem de grandeza similar. Os custos de implantação do aterro sanitário pelo método da trincheira, considerando ainda, a capacidade de armazenamento de resíduo do projeto, ficaram muito próximo nos projetos de: Aparecida de Goiânia e Trindade, resultando em R\$ 10,60 por tonelada. No projeto de Anápolis, para o qual esta prevista a verticalização do aterro, esse custo foi de R\$ 5,20. Nesse estudo foi considerado o cenário atual, certamente, ao longo da vida útil de um projeto, fatores econômicos e o crescimento populacional, poderão resultar na necessidade de correções temporais, pelos indicadores da conjuntura econômica em vigor.

Palavras-chave: resíduos sólidos, aterro sanitário, avaliação econômica, gerenciamento de resíduos.

## **ABSTRACT**

This study aims at analyzing issues concerning the disposal of solid residues in the state's urban sanitary landfill. The investigation was held at the sanitary landfill of Anapolis, Aparecida de Goiania, Goiania and Trindade for a consecutive year. In order to understand the role of each element involved in a sanitary landfill, this survey was mostly based on reports of operators of the disposal plants examined. The reports included building characteristics that vary from case to case according to local peculiarities, material and technical resources available, the use of alternative materials and design, and even the expected useful life of the plant. The study identified the cost of solid urban residues dumped in sanitary landfill in the municipal districts investigated and in other regional and national districts. It also demonstrated that the great number of variables that interfere in the cost of implementing and operating these plants, and the plurality of such factors, increased the difficulties in obtaining a design which assembled the elements required by the plant and its costs, leading the research to precise results. Despite of all, in some cases, it is possible to establish a correlation between plants of similar size and design, about which there are few studies. For the waste disposal of the city of Anapolis, which has a population of 313,412 inhabitants and a current mean production of urban solid residue of 173,000 tons daily, the actual constructive design made for the next sixteen years resulted in R\$29.50 per inhabitant, which means R\$5.20 per ton. In the alternative design proposed in this study, the implementation cost resulted in R\$ 16.76 per inhabitant which means R\$3.00 per ton. Current costs for the operation of this plant is R\$22.93 per ton of urban solid residue in the landfill site. This cost, which disposes of 33% of the monthly expenses for public cleaning services, represents R\$0.47 per inhabitant monthly. The implementation cost per inhabitant, established for the disposal plant of Aparecida de Goiania, was very near to the one of Anapolis, demonstrating the correlation between costs among these plants of similar size and design. The cost of implementing a sanitary landfill by the trench model, considering the capacity of residue storage of the plant, was very close to the ones of Aparecida de Goiania and Trindade, resulting in R\$10.60 per ton. In the Anapolis disposal plant, for which is planned building constructions in the landfill site, this cost was R\$5.20. This survey considered the current stage. Certainly, during the useful life of the disposal plant, economical factors and population growth may result in the need of temporal corrections according to the indicator of the economic conjuncture of the time.

**Keywords:** solid residues; sanitary landfill; economic evaluation; residue management.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Municípios goianos cujos projetos operam na condição de aterro sanitário.....	58
Figura 2: Localização do aterro sanitário de Anápolis – Goiás.....	66
Figura 3: Localização do aterro sanitário de Aparecida de Goiânia – Goiás.....	67
Figura 4: Localização do aterro sanitário de Goiânia – Goiás (sem escala) .....	68
Figura 5: Localização do aterro sanitário de Trindade – Goiás (sem escala) .....	69
Figura 6: Via de acesso interna na área do aterro sanitário de Anápolis (a) e Goiânia (b).....	70
Figura 7: Cerca e cinturão verde em formação. Aterros sanitários de Trindade (a) e Cidade Ocidental (b).....	71
Figura 8: Guaritas dos aterros sanitários de Anápolis (a) e Goiânia (b).....	72
Figura 9: Instalações de apóio do projeto de Aparecida de Goiânia (a) e Goiânia (b).....	73
Figura 10: Detalhe das canaletas de escoamento das águas pluviais na área do aterro sanitário de Aparecida de Goiânia (a) e Goiânia (b).....	74
Figura 11: Drenos de percolado instalados nos aterros sanitários de Aparecida de Goiânia (a) e Anápolis (b) .....	75
Figura 12: Drenos de gás dos aterros sanitários de Aparecida de Goiânia (a) e Anápolis (b). 76	
Figura 13: Arbustos utilizados na proteção de taludes de aterro. Espinho-de-cerca ou agarra-compadre (a); franboyantzinho ou barba-de-barata (b) .....	77
Figura 14: Lagoas de estabilização empregadas no tratamento de percolado. Goiânia (a) e Aparecida de Goiânia (b). .....	78
Figura 15: Bacia de acumulação do percolado com sistema de bombeamento (a); ponto de lançamento do percolado no alto do maciço do aterro sanitário (b).....	79
Figura 16: Trincheira construída no aterro sanitário de Trindade para disposição dos resíduos sólidos urbanos .....	80
Figura 17: Detalhe da vala séptica do aterro sanitário de Anápolis, impermeabilizada e com cobertura móvel. ....	80
Figura 18: Poços de monitoramento instalados a jusante das áreas de. Anápolis (a) e Aparecida de Goiânia (b) .....	82
Figura 19: Cobertura final do aterro sanitário de Goiânia. Espessura da camada de solo de jazida (a), cobertura da massa de lixo com entulho (b) .....	83
Figura 20: Instalação das balanças rodoviária. Projeto de Cidade Ocidental, detalhe externo (a) e projeto de Anápolis, detalhe interno (b).....	
Figura 21: Pátio de compostagem do projeto de Goiânia .....	85
Figura 22: Material de construção mantido em estoque na área do projeto de Anápolis. Estoque de pedra maroadada (a), tubos de concreto (b).....	85

Figura 23: Quantidade de resíduos sólidos urbanos conduzidos para o aterro sanitário de Anápolis .....	89
Figura 24: Quantidade de resíduos sólidos do serviço de saúde conduzidos para o aterro sanitário de Anápolis.....	90
Figura 25: Esquema da pista com revestimento primário no aterro sanitário de Anápolis .....	98
Figura 26: Participação dos elementos do projeto na composição dos custos de implantação do modelo do projeto atual do projeto de Anápolis .....	104
Figura 27: Influência dos investimentos ao longo da vida útil do projeto de Anápolis .....	105
Figura 28: Participação dos investimentos iniciais e ao longo da vida útil do projeto de Anápolis, segundo o modelo atual.....	105
Figura 29: Desembolso acumulado no período da vida útil do projeto atual de Anápolis ....	106
Figura 30: Participação dos elementos do projeto de Anápolis na composição dos custos de implantação, com uso de material alternativo. ....	107
Figura 31: Influência dos investimentos ao longo da vida útil do projeto segundo o modelo alternativo.....	108
Figura 32: Influência dos custos do projeto – modelo alternativo. ....	108
Figura 33: Desembolso acumulado no período da vida útil do projeto alternativo.....	109
Figura 34: Fluxograma operacional de aterro sanitário com recirculação de percolado .....	115
Figura 35: Fluxograma operacional de aterro sanitário com tratamento e descarte do percolado .....	116
Figura 36: Método da trincheira para disposição de resíduos sólidos urbanos .....	127
Figura 37: Método da disposição de resíduos sólidos urbanos em superfície com verticalização.....	128
Figura 38: Descarga de resíduos em um aterro sanitário.....	133
Figura 39: Compactação e cobertura dos resíduos sólidos .....	133
Figura 40: Cobertura das células de lixo urbano .....	134
Figura 41: Detalhe do fechamento de uma trincheira (corte vertical), ilustrando a drenagem das águas pluviais. ....	134
Figura 42: Sistema de drenagem das águas pluviais do maciço de um aterro verticalizado .	135
Figura 43: Esquema de um Sistema de drenagem de percolado no interior de uma trincheira .....	136
Figura 44: Localização do dreno de percolado e dos coletores de gases no interior de uma trincheira.....	136
Figura 45: Aterro sanitário em construção. Preparação da área (a); colocação da geomembrana, canal de drenagem (b); execução da solda da geomembrana (c); execução do dreno do percolado sob a geomembrana (d). ....	137

Figura 46: Construção e preparação de uma vala para disposição do lixo do serviço de saúde. .....	138
Figura 47: Esquema de um poço de monitoramento de águas subterrâneas.....	140
Figura 48: Dreno de gás confeccionado com tubo de concreto furado e preenchido com pedra maroadada, corte vertical (a); vista real do dreno (b).....	142
Figura 49: Dreno confeccionado com tela (a) e tubo guia (b).....	142
Figura 50: Esquema de uma lagoa de estabilização utilizada no tratamento do percolado... ..	144
Figura 51: Encerramento da trincheira de um aterro sanitário.....	146
Figura 52: Encerramento da área de um aterro sanitário verticalizado .....	146
Figura 53: Cinturão verde e ajardinamento de um aterro sanitário .....	147

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Síntese dos elementos de um aterro sanitário e suas funções .....	44
Quadro 2: Critério para a especificação de trator sobre esteira utilizado em aterro sanitário .....	47
Quadro 3: Critério para a seleção de trator de esteira.....	48
Quadro 4: Critérios para a especificação de carregadeira de esteira .....	49
Quadro 5: Critérios para a especificação de carregadeira sobre de pneu.....	49
Quadro 6: Características de produção de pás-carregadeiras de rodas fabricadas no Brasil. ....	50
Quadro 7: Características do caminhão basculante de uma marca fabricada no Brasil.....	52
Quadro 8: Influência do fator de empolamento na remoção de solo .....	55
Quadro 9: Custos de referência de alguns serviços da limpeza pública para uma cidade de cem mil habitantes.....	57
Quadro 10: Principais espécies encontradas na formação do cinturão verde dos projetos estudados, .....	73
Quadro 11: Espécies de arbustos recomendadas para o plantio em taludes de aterros.....	77
Quadro 12: Produção de resíduos sólidos urbanos no município de Anápolis .....	89
Quadro 13: Demonstrativo dos serviços e custos das instalações preliminares no modelo atual do aterro sanitário de Anápolis.....	90
Quadro 14: Demonstrativo dos serviços e custos da construção das trincheiras de R.S.U no modelo atual do aterro sanitário de Anápolis .....	91
Quadro 15: Demonstrativo dos custos da construção do conjunto das trincheiras de R.S.S no modelo atual do aterro sanitário de Anápolis .....	92
Quadro 16: Demonstrativo dos custos de implantação das lagoas de estabilização no modelo atual do aterro sanitário de Anápolis.....	93
Quadro 17: Demonstrativo dos custos da impermeabilização com geomembrana de PEAD no modelo atual do aterro sanitário de Anápolis .....	94
Quadro 18: Demonstrativo dos custos da impermeabilização com solo argiloso compactado, alternativa proposta para o aterro sanitário de Anápolis .....	94
Quadro 19: Demonstrativo dos serviços e custos da drenagem das águas pluviais no modelo atual do aterro sanitário de Anápolis.....	95
Quadro 20: Demonstrativo dos serviços e custos da drenagem do percolado no modelo atual do aterro sanitário de Anápolis .....	96
Quadro 21: Demonstrativo dos serviços e custos do tratamento preliminar do percolado no modelo atual do aterro sanitário de Anápolis .....	96
Quadro 22: Demonstrativo dos serviços e custos do sistema de recirculação do	

percolado no modelo atual do aterro sanitário de Anápolis .....	97
Quadro 23: Demonstrativo dos serviços e custos da drenagem dos gases no modelo atual do aterro sanitário de Anápolis .....	97
Quadro 24: Demonstrativo dos serviços e custos da via de acesso no modelo atual do aterro sanitário de Anápolis.....	98
Quadro 25: Demonstrativo dos serviços e custos da implantação dos poços de monitoramento no modelo atual do aterro sanitário de Anápolis.....	98
Quadro 26: Demonstrativo dos serviços e custos do cercamento da área no modelo atual do aterro sanitário de Anápolis .....	99
Quadro 27: Demonstrativo dos serviços e custos da urbanização do perímetro da área no modelo atual do aterro sanitário de Anápolis .....	100
Quadro 28: Demonstrativo dos custos e serviços de instalação da balança no modelo atual do aterro sanitário de Anápolis .....	100
Quadro 29: Demonstrativo dos custos e serviços de recobrimento do aterro, no modelo atual do aterro sanitário de Anápolis .....	101
Quadro 30: Demonstrativo dos custos e serviços de recobrimento do aterro - alternativa proposta para o aterro sanitário de Anápolis.....	101
Quadro 31: Demonstrativo dos custos das instalações de apoio no modelo atual do aterro sanitário de Anápolis.....	102
Quadro 32: Comparação dos custos de implantação dos dois modelos do projeto do aterro sanitário de Anápolis.....	109
Quadro 33: Custos de implantação dos projetos de Aparecida de Goiânia, Trindade e Anápolis .....	110
Quadro 34: Custos atuais da destinação final dos resíduos sólidos urbanos de Anápolis ....	112
Quadro 35: Custo da disposição final dos resíduos sólidos urbanos praticados em outros municípios goianos.....	113
Quadro 36: Custo da disposição final dos resíduos sólidos urbanos, praticado em outras regiões do Brasil.....	114
Quadro 37: Modelo para obtenção dos custos de manutenção e monitoramento .....	125
Quadro 38: Parâmetros de avaliação da qualidade de águas subterrâneas .....	140
Quadro 39: Parâmetros de avaliação da qualidade de águas superficiais .....	141
Quadro 40: Parâmetros de avaliação da qualidade do percolado (afluente e efluente) .....	144
Quadro 41: Ficha para controlar a entrada de resíduo na área do projeto .....	151
Quadro 42: Elementos de monitoramento do aterro sanitário de resíduos urbanos .....	152

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Municípios e distritos com serviços de limpeza urbana e disposição final .....	27
Tabela 2: Formas de disposição final do resíduo coletado no Brasil .....	27
Tabela 3: Quantidade de resíduos sólidos urbanos gerados e coletados no Brasil para o ano de 2005.....	29
Tabela 4: Destinação final dos resíduos sólidos urbanos coletados no Brasil .....	29
Tabela 5: Responsabilidades sobre os resíduos sólidos, conforme a origem e classe.....	30
Tabela 6: Influência dos elementos do projeto nos custos de implantação para o modelo atual do aterro sanitário de Anápolis.....	103
Tabela 7: Influência dos elementos do projeto nos custos de implantação para o modelo alternativo proposto para o aterro sanitário de Anápolis .....	106

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas  
ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária  
APA's - Áreas de Proteção Ambiental  
BDI – Base de despesas indiretas  
CEE - Comunidade Econômica Européia  
CEF – Caixa Econômica Federal  
CFR - Code of Federal Regulations “Código de Regulamentos Federais”  
CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear  
CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo  
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente  
CV – Cavalo Vapor  
DG - Dreno de gases  
DAP - Dreno de águas pluviais  
DP - Dreno de percolado  
EIA - Estudos de Impacto Ambiental  
EPA - Environment Protection Agency “Agência Ambiental Americana”  
EPI – Equipamento de proteção individual  
ETP – Estação de tratamento de percolado  
ETE – Estação de tratamento de esgoto  
FUNASA – Fundação Nacional de Saúde  
HP – Horse Power “Potência hidráulica”  
IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis  
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
MMA – Ministério do Meio Ambiente  
NBR - Norma Brasileira Registrada  
NE – Norma Específica  
NPK – Nitrogênio, Fósforo e Potássio  
OD – Oxigênio dissolvido  
OPAS - Organização Pan-Americana da Saúde  
OMS - Organização Mundial da Saúde  
PEAD - Polietileno de Alta Densidade

PVC - Policloreto de Vinila

PNMA - Política Nacional do Meio Ambiente

PNRS - Política Nacional dos Resíduos Sólidos

PNSB - Pesquisa Nacional de Saneamento Básico

PRONAR - Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar

RCRA - Resource Conservation and Recovery Act “Conservação e Recuperação do Recurso”

RDC - Resolução da Diretoria Colegiada

RIMA - Relatórios de Impacto Ambiental

RSS - Resíduos Sólidos de Serviços de Saúde

RSU - Resíduos Sólidos Urbanos

SEDU - Secretária de Desenvolvimento Urbano

SISNIMA - Sistema Nacional de Informações Ambientais

SNIS - Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento

U.S. - United States “Estados Unidos”

USEPA - Agência de Proteção Ambiental Americana

## LISTA DE SÍMBOLOS

CH<sub>4</sub> - gás metano

CO<sub>2</sub> – Gás carbônico

cm - Centímetro

d - Dia

h – Hora

hht – Homem hora trabalhada

g – Grama (peso)

kg – Quilograma

km – Quilometro

m – Metro

ml – Metro linear

mm – Milímetro

pH - Potencial hidrogeniônico

t - Tonelada

un – Unidade

vb – Valor básico

δ – Peso específico

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	3
2.1 Objetivo geral.....	3
2.2 Objetivos específicos.....	3
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	4
3.1 Resíduos sólidos: definições e classificação.....	4
3.1.1 Definições .....	4
3.1.2 Classificação .....	5
3.1.2.1 Classificação Americana.....	5
3.1.2.2 Classificação Brasileira.....	6
3.2 Legislações ambientais.....	9
3.2.1 Histórico.....	9
3.2.1.1 Constituição Federal de 1988 .....	10
3.2.1.2 Leis federais .....	10
3.3 Legislações relacionadas à resíduos sólidos .....	12
3.3.1 Legislações federais.....	12
3.3.2 Legislação Estadual - Goiás.....	16
3.4 Planejamento urbano .....	17
3.5 Problemas associados a disposição dos resíduos sólidos .....	19
3.6 Gestão e gerenciamento integrado dos resíduos sólidos urbanos .....	23
3.6.1 Experiência Internacional .....	23
3.6.2 Realidade Brasileira.....	26
3.7 Modelos de aterros para destinação final de resíduos sólidos urbanos .....	31
3.7.1 Aterro sanitário convencional .....	31
3.7.2 Aterros sanitários manuais.....	31
3.7.3 Aterros sanitários com recuperação de energia.....	33
3.7.4 Aterros controlados .....	34
3.8 Elementos construtivos de um aterro sanitário .....	35
3.9 Equipamentos utilizados na implantação e operação de aterros sanitários .....	45
3.9.1 Escolha dos equipamentos utilizados na operação dos aterros sanitários .....	45
3.9.2 Principais características dos equipamentos de operação dos aterros sanitários ....	46
3.9.2.1 Equipamentos permanentes.....	46
3.9.2.2 Equipamentos temporários.....	52
3.10 Fatores que influenciam na movimentação de solo e custo do projeto de aterro sanitário .....	52
3.11 Custos dos sistemas de gestão integrada dos serviços de limpeza pública.....	56
<b>4. METODOLOGIA</b> .....	58

4.1 Introdução .....	58
4.2 Caracterização das áreas dos aterros estudados .....	60
4.2.1 Aterro sanitário de Anápolis .....	60
4.2.2 Aterro sanitário de Aparecida de Goiânia.....	60
4.2.3 Aterro sanitário de Goiânia .....	60
4.2.4 Aterro sanitário de Trindade .....	60
4.3 Instrumentos de trabalho e elementos avaliados.....	61
4.3.1 Sistemas de acesso e controle ao aterro sanitário.....	61
4.3.2 Sistema de drenagem do aterro sanitário .....	62
4.3.3 Sistema de impermeabilização.....	62
4.3.4 Monitoramento da qualidade das águas do lençol freático.....	62
4.3.5 Sistema de tratamento de percolados.....	62
4.3.6 Material de recobrimento da massa de resíduos urbanos .....	63
4.3.7 Valas especiais .....	63
4.3.8 Componentes acessórios de um aterro sanitário .....	63
4.3.9 Sistema de vigilância .....	63
4.4 Instrumentos de avaliação dos custos.....	63
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>65</b>
5.1 Caracterização dos projetos estudados .....	65
5.1.1 Aterro sanitário de Anápolis .....	65
5.1.2 Aterro sanitário de Aparecida de Goiânia.....	66
5.1.3 Aterro sanitário de Goiânia .....	67
5.1.4 Aterro sanitário de Trindade .....	69
5.2 Avaliação da infra-estrutura dos aterros sanitários estudados .....	70
5.2.1 Vias de acesso, externas e internas.....	70
5.2.2 Cercamento da área .....	71
5.2.3 Controle de acesso - portaria.....	72
5.2.4 Administração, instalações de apoio, rede elétrica e telefônica.....	72
5.2.5 Cinturão verde.....	73
5.2.6 Galpão e almoxarifado.....	74
5.2.7 Drenagem das águas pluviais.....	74
5.2.8 Drenagem do percolado .....	75
5.2.9 Drenagem dos gases .....	76
5.2.10 Proteção dos taludes de cobertura dos aterros sanitários.....	76
5.2.11 Sistema de tratamento de percolado .....	77
5.2.12 Área de disposição de resíduos sólidos .....	79
5.2.13 Monitoramento do lençol freático .....	81
5.2.14 Valas especiais .....	82
5.2.15 Jazida de material de recobrimento .....	82
5.2.16 Componentes acessórios .....	83
5.2.17 Sistema de vigilância .....	86
5.3 Análise dos custos de implantação e operação do aterro sanitário de Anápolis.....	86
5.3.1 Local de instalação - aquisição da área.....	86
5.3.2 Base de dados do projeto do aterro sanitário de Anápolis.....	88
5.3.3 Serviços preliminares .....	90

5.3.5 Controle e drenagem das águas superficiais .....	94
5.3.8 Vias de Acesso .....	97
5.3.9 Poços de monitoramento.....	98
5.3.11 Formação do cinturão verde no perímetro da área .....	100
5.3.12 Balança.....	100
5.3.13 Jazida de material de recobrimento .....	101
5.3.14 Instalações de apóio.....	102
5.4 Análise dos custos decorrentes da implantação .....	102
5.4.1 A comparação dos custos com outros projetos no Estado de Goiás .....	110
5.5 Custos de operação do aterro sanitário de Anápolis .....	111
5.6 Custos de disposição dos resíduos urbanos praticado em outros municípios.....	112
5.7 Modelo para obtenção dos custos de manutenção e monitoração .....	115
5.7.1 Controle da manutenção e monitoramento .....	116
5.7.1.1 Manutenção do projeto.....	116
5.7.1.2 Monitoramento ambiental de projeto de aterro sanitário .....	120
5.7.1.3. Valoração da manutenção e monitoramento de projetos de aterro sanitário. ....	124
5.8 Gerenciamento de planta de disposição de resíduos sólidos urbanos em aterro sanitário .....	126
5.8.1 Introdução .....	126
5.8.2 Modelo de projeto .....	126
5.8.3 Operação .....	128
5.8.4 Horário de funcionamento .....	128
5.8.5 Transporte dos resíduos sólidos para o aterro sanitário.....	129
5.8.6 Recursos humanos para operação de um aterro sanitário.....	129
5.8.7 Equipamentos para a operação de um aterro sanitário .....	129
5.8.8 Supervisão da operação do aterro sanitário .....	130
5.8.9 Tarefas de rotina dos operadores do projeto.....	130
5.8.10 Sistema viário de acesso externo e interno ao aterro sanitário .....	131
5.8.11 Natureza dos resíduos recebidos em aterro sanitário .....	132
5.8.12 Disposição dos resíduos sólidos urbanos no aterro sanitário.....	132
5.8.13 Cobertura e compactação dos resíduos sólidos.....	133
5.8.14 Drenagem das águas pluviais.....	134
5.8.15 Drenagem do percolado no aterro sanitário .....	135
5.8.16 Preparação de novas áreas ou execução de novas trincheiras.....	136
5.8.17 Disposição de resíduos sólidos dos serviços de saúde em trincheira sanitária .....	137
5.8.18 Reserva de solo para recobrimento das células de lixo .....	138
5.8.19 Monitoramento das águas subterrâneas e superficiais .....	139

5.8.20 Coleta e tratamento dos gases .....	141
5.8.21 Tratamento do percolado .....	143
5.8.22 Encerramento do aterro sanitário e uso futuro da área .....	145
5.8.23 Paisagismo e aspectos positivos do aterro bem operado .....	147
5.8.24 Cuidados a serem tomados pelos operadores de aterro sanitário .....	148
5.8.25 Uso de equipamentos de proteção individual .....	149
5.8.26 Controle da quantidade dos resíduos sólidos recebidos na área do projeto.....	150
5.8.27 Plano de monitoramento ambiental de aterro sanitário .....	152
<b>6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>155</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>158</b>
<b>OBRAS CONSULTADAS .....</b>	<b>162</b>
<b>SITES VISITADOS .....</b>	<b>164</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O que fazer com os resíduos sólidos tem sido nos últimos anos, um dos muitos desafios enfrentados pelas Administrações Públicas Municipais. Talvez até pelas dimensões e diversidades regionais do país, e pela necessidade mais emergente de buscar soluções para a poluição hídrica e do ar, deixou-se de pensar com o devido cuidado nos problemas causados pelos resíduos sólidos urbanos e a poluição do solo. O que se vê é um quadro crescente do problema, que compromete a saúde pública e os recursos hídricos e ainda prejudica a estética urbanística.

Embora a legislação ambiental tenha se desenvolvido de forma notável em decorrência da edição da Lei nº 6.938, de 31 de setembro de 1981, em relação a vários assuntos, praticamente não existe regra específica sobre a proteção do solo, voltada a disposição final de resíduos. Essa matéria não foi devidamente qualificada e assim é tratada como responsabilidade por dano ambiental de competência administrativa, sem haver um tratamento legal e institucional capaz de amenizar ou reverter a situação encontrada em vários municípios brasileiros, para não falar em sua maioria.

A falta de políticas públicas voltadas para os resíduos sólidos exige um envolvimento maior entre os setores da sociedade, bem como uma integração maior entre os governos federal, estadual e municipal, na busca efetiva de soluções dos problemas provocados por esses resíduos.

Com o crescimento das cidades, surgimento de novos núcleos urbanos e o aumento do poder de consumo da população, também tem aumentado a geração per capita de resíduos sólidos urbanos. O resultado tem sido sua disposição, em grande parte, da maneira menos convincente e menos dispendiosa, pois nem sempre faz parte das preocupações das administrações públicas dispor recursos financeiros para o tratamento e a disposição final correta desses resíduos.

Esta situação tem resultado na crescente insatisfação popular, coincidindo com uma série de incidentes ligados à disposição inadequada destes resíduos, que sempre representaram um permanente foco transmissor de doença e degradação ambiental, afetando a qualidade de vida da população. Por outro lado, as dificuldades por parte dos municípios, notadamente os de médio e pequeno porte, na organização dos serviços e no adequado manejo dos resíduos sólidos urbanos, têm dificultado o combate de doenças relacionadas a esses resíduos, além de impedir um atendimento mais eficiente à comunidade.

O conjunto de ações para o gerenciamento de projetos de implantação, operação e monitoramento de plantas de disposição de resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários, deve ir ao encontro das metas estabelecidas para se atingir os objetivos maiores traçados para o município. Segundo D’Almeida (2000), a experiência tem demonstrado que o caminho para mudanças no sistema de gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos se faz por meio da evolução e não da revolução. Pequenas melhorias, consistentemente mantidas por vários anos seguidos, são mais prováveis de conduzir ao sucesso que tentativas de obtê-las em um único grande salto tecnológico, onde os custos têm sido o maior fator limitante.

Definir esses custos, segundo Velloso (1999), é extremamente difícil dado o fato de que interfere nos mesmos, um grande número de variáveis, como as características específicas da gleba escolhida (topografia, natureza do solo, etc.) e do projeto desenvolvido (vias de acesso internas, obras de contenção necessárias, volume de terraplenagem, maior ou menor complexidade do sistema de tratamento de efluentes líquidos proposto, obras indispensáveis de drenagem pluvial, etc.).

Diante do exposto, esse trabalho justifica-se pela necessidade de discutir no âmbito regional, caminhos para o equilíbrio desses problemas, que não podem ser atribuídos apenas aos custos elevados desses serviços, que chamem a atenção para a necessidade da implantação contínua dos principais elementos e operação de um projeto de aterro sanitário, que não dependem apenas da disponibilidade de recursos financeiros, mas também da competência como se administram esses serviços de disposição final adequada dos resíduos sólidos urbanos.

Neste sentido, a referida pesquisa também se justifica pela necessidade de reunir informações sobre gerenciamento, operação e monitoramento de plantas de disposição de resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários, indicando não apenas os procedimentos teóricos recomendados, mas, principalmente, alternativas técnicas viáveis e adequadas à realidade regional do estado de Goiás e de outras regiões brasileiras com características similares, tendo como cenário estudado a operação de projetos implantados em Goiás.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo geral

O objetivo geral desta pesquisa é efetuar discussão dos elementos de concepção de aterros sanitários, e apresentar os custos decorrentes de implantação e operação desses no cenário do estado de Goiás.

### 2.2 Objetivos específicos

- Discorrer sobre a especificidade dos elementos construtivos dos aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos estudados;
- Analisar os custos de implantação do aterro sanitário do município de Anápolis, comparando-o com os custos de disposição de outros projetos do estado de Goiás e de outras regiões brasileiras;
- Elaborar referência sistematizada do conjunto de elementos recomendados para o gerenciamento de planta de disposição de resíduos sólidos urbanos em aterro sanitário, com base nos estudos e modelos de projetos estudados.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Resíduos sólidos: definições e classificação

##### 3.1.1 Definições

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da NBR (Norma Brasileira Registrada) 10.004 (ABNT, 2004a), define resíduo sólido como:

Resíduos nos estado sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tomem inviável seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

Os resíduos sólidos são ainda definidos por diversos pesquisadores. Segundo Sewell (1978), o termo lixo é definido como materiais indesejados pelo homem que não podem fluir diretamente para os rios ou se elevar imediatamente para o ar. Todo resíduo é gerado do uso e descarte de materiais manufaturados, construção, preparo de alimentos, recreação, agricultura e de diversas outras atividades. Dependendo do tipo de material e de onde estão, essas sobras são denominadas de refugo, sucata, entulho, restos e esgoto. Já a denominação de resíduo sólido é utilizada para sobras de materiais, refugo e detritos, resíduos sólidos ou líquidos de atividades industriais, comerciais, extração mineral, agrícolas e comunitárias, mas excluindo material sólido ou dissolvido presente no esgoto doméstico.

Segundo Girod (1993), o artigo 1º da Lei Francesa nº 75.663, de 17 de julho de 1975, define resíduo sólido como “todo resíduo de um processo de produção, de transformação ou utilização, toda substância, matéria, produto, ou mais geralmente, todo bem móvel abandonado ou que seu proprietário o destine ao abandono”.

Segundo Moreira *et al.* (1994), a Comunidade Econômica Européia (CEE) estabeleceu de acordo com as diretrizes 75/442 e 78/3 19, a definição de lixo como “qualquer substância ou objeto cujo detentor se desfaz ou tem a obrigação de se desfazer segundo a legislação vigente”. Até o início da década de 90, os resíduos sólidos eram chamados simplesmente de lixo, porém, atualmente, eles são conhecidos ou recebem a denominação de resíduos urbanos (FRITSCH, 2000).

### 3.1.2 Classificação

Os resíduos sólidos são classificados quanto a sua origem ou fonte e quanto ao seu grau de periculosidade em relação a determinados padrões de qualidade ambiental e de saúde pública. A classificação determina a disposição final desses resíduos e cada país adota sua classificação particular.

#### 3.1.2.1 Classificação Americana

De acordo com Testa (1994), as leis regulamentadoras americanas definem resíduos perigosos como qualquer resíduo ou combinação de resíduos que representem risco potencial à saúde humana ou organismos vivos por não ser degradável, ser biocumulativo quando presente na cadeia alimentar, ser letal ou causar efeitos danosos. Estes resíduos apresentam características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, patogenicidade e toxicidade nas mesmas condições adotadas pela NBR 10.004 (ABNT, 2004a).

A “U.S. Environment Protection Agency” (EPA), por meio da “Resource Conservation and Recovery Act” (RCRA, 1976) estabelece que um resíduo pode ser considerado perigoso quando ele possuir certas características (inflamabilidade, corrosividade, reatividade ou toxicidade) ou constar de listas específicas, conforme apresentado pela EPA - 40 Part 261 (1991) baseado em análise de componentes perigosos presentes no resíduo (HASAN, 1995). O RCRA 94-580, também define resíduo perigoso como resíduo sólido ou combinação de resíduos sólidos, que por sua quantidade, concentração ou características físicas, químicas ou infecto-contagiosas pode contribuir ou causar mortalidade ou doenças, colocando em risco a vida humana ou o ambiente, quando tratado inadequadamente.

Ainda para a classificação de um resíduo perigoso, há de se considerar os critérios de toxicidade. O teste de toxicidade segue o mesmo procedimento do teste de lixiviação definido pela NBR 10.005 (ABNT, 2004b). Segundo o RCRA, tóxica é qualquer substância que cause a morte ou sérios prejuízos aos seres humanos e animais.

De acordo com Hasan (1995), as maiores indústrias geradoras de resíduos perigosos nos países desenvolvidos são: a indústria petroquímica (geração de fenóis, metais, ácidos, substâncias corrosivos e compostos orgânicos); indústria de metal (geração de metais pesados, fluoretos, cianeto, álcalis, solventes e fenóis); indústria do couro (metais pesados e sulfetos); fundição e refino de metais; tintas e produtos relacionados; produtos químicos

orgânicos, pesticidas explosivos; elétrica eletrônica; galvanoplastia e acabamento de metais; borracha; baterias; farmacêutica; têxtil tinturaria e acabamento; refinaria de petróleo; maquinaria especial; curtume de acabamento; plástico e re-refino de resíduos oleosos.

Para os demais resíduos que quando de sua geração não se classificam como resíduos perigosos, a “U.S. Environment Protection Agency” (EPA), através da “Resource Conservation and Recovery Act” (RCRA, 1976), apresenta classificação semelhante às especificações brasileiras, adotadas pela NBR 10.004 (ABNT, 2004a), que é apresentada a seguir.

### 3.1.2.2 Classificação Brasileira

No Brasil, a classificação dos resíduos sólidos segue os critérios da Agência de Proteção Ambiental Americana (USEPA), com algumas adaptações. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) apresenta uma relação de normas relacionadas aos resíduos sólidos:

- NBR 8419 (ABNT, 1985a): Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos;
- NBR 8849 (ABNT, 1985b): Apresentação de projetos de aterros controlados de resíduos sólidos urbanos;
- NBR 11174 (ABNT, 1990): Armazenamento de resíduos classe “II – A não inerte e II – B inerte”;
- NBR 13221 (ABNT, 2000): Transporte de resíduos;
- NBR 10.004 (ABNT, 2004a): Resíduos Sólidos – classificação.

Através da NBR 10.004 (ABNT, 2004a), a ABNT classifica os resíduos segundo a sua periculosidade, agrupando-os em duas categorias:

- Resíduos Classe I - Perigosos.
- Resíduos Classe II - Não perigosos (II A - não inertes e II B – inertes).

Essa classificação baseia-se nos riscos potenciais que um resíduo pode apresentar à saúde pública e ao ambiente, devido as suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas. Estas são consideradas características de periculosidade dos resíduos. Há listagens de resíduos ou elementos químicos reconhecidamente perigosos e listagens de

padrões de concentração de poluentes, baseadas na EPA. Há também listagens referentes à disposição final dos resíduos, de acordo com as incompatibilidades apresentadas por determinados grupos de resíduos.

– Resíduos Classe I - Perigosos

Baseado na NBR 10.004 (ABNT, 2004a), recebem esta classificação os resíduos sólidos ou misturas de resíduos que devido às suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade, podem apresentar risco à saúde pública, provocando ou contribuindo para o aumento de mortalidade ou incidência de doenças, e/ou, apresentar efeitos adversos ao ambiente, quando manuseados ou dispostos de forma inadequada.

– Resíduos Classe II A - Não Inertes

Segundo a NBR 10.004 (ABNT, 2004a), recebem esta classificação os resíduos sólidos ou misturas de resíduos sólidos que não se enquadram na classe I - perigosos ou na classe II B - inertes, podendo ter propriedades como combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água.

– Resíduos Classe II B - Inertes

Recebem essa classificação os resíduos sólidos ou misturas de resíduos sólidos que quando amostrados segundo a NBR 10.007 (ABNT, 2004d), e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada a temperatura ambiente, conforme a NBR 10.006 (ABNT, 2004c), não apresentem nenhum de seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, excetuando-se aspectos, cor, turbidez, dureza e sabor, conforme a listagem do “anexo G” da NBR 10.004 (ABNT, 2004a).

De acordo com a legislação específica, os resíduos radioativos não se enquadram nesta classificação, pois o gerenciamento dos mesmos é de responsabilidade exclusiva da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). Para os rejeitos radioativos ou materiais radioativos ou contaminados com radionuclídeos proveniente de laboratório de análises clínicas, serviços de medicina nuclear, radioterapia e unidades similares, a resolução NE-6.05 (CNEN, 1985) estabelece os critérios gerais e os requisitos básicos relativos à sua gerência nessas instalações.

Outros critérios de classificação dos resíduos sólidos podem ser adotados. Segundo Campos (1992) e Fonseca (2001), por exemplo, os resíduos sólidos podem ser classificados de acordo com sua fonte em:

Resíduos domésticos: são todos os tipos de resíduos que normalmente se originam em casas ou apartamentos residenciais, compreendendo os restos de cozinha, banheiros, produtos de varrição, papéis, invólucros e outros.

Resíduos comerciais: é o lixo ou detrito sólido originado em edificações destinadas ao comércio em geral, prédio de escritório ou misto, mercados, teatros e outras unidades institucionais, compreendendo todo porte de resíduos, tais como restos de cozinha, instalações sanitárias, papéis, embalagens, produtos de varrição, etc.

Resíduos de unidades de serviço de saúde: resíduos provenientes de hospitais, farmácias, drogarias, clínicas, policlínicas, postos de saúde, laboratórios, clínicas médicas, odontológicas e similares.

Resíduos da construção civil: são aqueles resíduos resultantes de construções, demolições, e reformas na construção civil.

Resíduos públicos: fazem parte dessa categoria os resíduos produzidos nas vias públicas, praças, jardins, podas de plantas, resíduos de varrição, etc.

Resíduos especiais: são todos aqueles resíduos produzidos de forma eventual: animais mortos, descargas clandestinas, resíduos de acidentes, materiais de grande porte abandonados em vias públicas, entre outros;

Lixo industrial: são resíduos sólidos e semi-sólidos que resultam de toda atividade industrial;

Outros: nessa classificação se incluem todos os resíduos sólidos não classificados nos itens anteriores, bem como aqueles originários de boca-de-lobo, lodos de estações de tratamento de água e esgotos, limpeza de galerias e outros.

De acordo com os citados autores, “para cada tipo de resíduo, em função de sua classificação, é possível estabelecer operações que possibilitem o equacionamento das atividades que devem ser desenvolvidas”.

## 3.2 Legislações ambientais

Neste item são apresentadas algumas leis ambientais brasileiras, destacando-se aquelas relacionadas aos resíduos sólidos. As legislações internacionais não serão abordadas, pois neste trabalho optou-se por buscar propostas compatíveis com a realidade regional, baseando-se mais nas experiências do país.

### 3.2.1 Histórico

Segundo Carvalho (1996) apud Fritsch (2000), a preocupação jurídica com a natureza surgiu a partir de 1650, no século XVII, com as ordenações Manoelinas e Filipinas, enfocando a conservação dos recursos naturais, como florestas, águas, caça e pesca.

A Coroa Portuguesa passou a ter o direito de propriedade sobre as matas e arvoredos às margens dos oceanos e rios que desembocavam no mar, a partir de uma Determinação Régia em 1797. Em 1799, normas para o corte de madeiras foram estabelecidas, baseadas no Código Penal do Império, prevendo multas. A 1ª Lei de Terras surgiu em 1850, Lei nº 601 de 18/09/1850.

Em 1926, houve uma reforma na Constituição Federal Brasileira de 1891, estabelecendo restrições em relação à propriedade do subsolo, recurso importante para a defesa dos recursos naturais do país.

A constituição de 1934 garantiu todos esses princípios, além de aprovar o Código Florestal, criado pelo Decreto nº 23793, de 23/01/1934, o qual foi substituído pela Lei nº 4771, de 15/09/1965 e ampliado pela Lei nº 6535, de 15/06/1978. O Código das Águas foi aprovado pelo Decreto nº 24643, de 10/06/1934 e a propriedade do subsolo também foram abordadas pela Carta Magna de 1937.

Conforme Carvalho (1996) apud Fritsch (2000), a Constituição de 1946, no artigo 152, aborda o conceito de propriedade do subsolo e do espaço aéreo. Assim, as minas e todas as riquezas do subsolo deixaram de pertencer ao proprietário das terras e o direito de exploração e aproveitamento dos recursos naturais pelas indústrias, passaram a ser controlados pelo Estado.

Uma Emenda Constitucional em 1969 determinou que o uso, a exploração das riquezas e dos recursos do subsolo ficariam “subordinados” ao interesse social. O citado autor apresenta ainda outras legislações, alguns documentos legais relacionados à preservação dos recursos naturais, entre eles:

- Conselho Nacional de Controle de Poluição: Decreto Lei nº 303, de 28/02/1967;
- Política Nacional de Saneamento: Lei nº 53 18, de 26/09/1967, relacionada com o Decreto Lei nº 949 de 13/10/1969.

### 3.2.1.1 Constituição Federal de 1988

A Constituição Federal Brasileira de 1988 abordou com maior ênfase as questões ambientais, considerando-as como patrimônio nacional e das futuras gerações.

Segundo Fritsch (2000), a Constituição Federal de 1988 foi um marco, um “verdadeiro divisor de águas”, no que se refere à proteção do meio ambiente no Brasil. O saneamento básico ganhou importância com a Constituição, que prevê obrigações, principalmente com relação aos resíduos sólidos, os quais, por sua vez, são produzidos em grandes quantidades diárias e apresentam consequências para o Planeta: com isso, as pessoas voltaram-se para essa problemática.

Com essa Constituição, os resíduos sólidos foram abordados com maior destaque, devido ao seu grau altamente poluidor, recomendando-se maior fiscalização e atuação, ação dos órgãos públicos e particulares responsáveis pela preservação ambiental.

Assim, o Artigo 23 da Constituição de 1988 determina ser de competência comum da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos municípios a manutenção da qualidade ambiental (FRITSCH, 2000).

O Artigo 225, diz que “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”. Sendo assim, este documento já previa uma qualidade ambiental sustentável.

### 3.2.1.2 Leis federais

Além dos documentos já mencionados, outras legislações foram elaboradas, voltadas para a proteção ambiental. Apresenta-se a seguir a evolução dessas leis e resoluções federais.

Decreto Legislativo nº 3, 1948 - Aprovou a Convenção para Proteção a Flora, à Fauna e as Belezas Cênicas Naturais dos Países da América (promulgado pelo Decreto 58054/66);

Decreto nº 49.974 A. 1961 - Regulamenta, sob a denominação de Código

Nacional de Saúde, a Lei nº 2312/1954 de “Normas Gerais sobre Defesa e Proteção da Saúde”:

Lei nº 5197, 1967 - Dispõe sobre a proteção à Fauna e dá outras providências. Institui a Política Nacional de Saneamento e cria o Conselho Nacional de Saneamento;

Lei nº 6.168, de 09 de dezembro de 1974 - Cria o Fundo de Apoio ao Desenvolvimento Social (FAS) e dá outras providências;

Lei nº 6225, de 14 de julho de 1975 - Dispõe sobre discriminação, pelo Ministério da Agricultura, de regiões para execução obrigatória de planos de proteção ao solo e de combate à erosão e dá outras providências;

Lei nº 6.766, de 14 de dezembro de 1979 - Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e dá outras providências;

Lei nº 6.803, de 02 de julho de 1980 - Dispõe sobre as diretrizes básicas para o zoneamento industrial nas áreas críticas de poluição e dá outras providências;

Lei nº 6.902 de 27 de abril de 1981 - Dispõe sobre a criação de Estação Ecológica, Áreas de Proteção Ambiental e da outras providências;

Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981 - Disciplina a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), estabelecendo objetivos e mecanismos para sua aplicação e dá outras providências;

Lei nº 7.347, de 27 de julho de 1985 - Disciplina a ação civil pública por danos causados ao meio ambiente;

Resolução CONAMA nº 01, de 23 de janeiro de 1988 - Trata dos Estudos de Impacto Ambiental (EIA) e Relatórios de Impacto Ambiental (RIMA);

Resolução CONAMA nº 09, de 03 de dezembro de 1987 - Dispõe sobre os procedimentos para a realização de audiências públicas;

Resolução CONAMA nº 05, de 15 de Junho de 1988 - Dispõe sobre o Licenciamento de Obras de Saneamento;

Resolução CONAMA nº 15, de 5 de junho de 1988 - Institui o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar (PRONAR);

Resolução CONAMA nº 10, de 14 de dezembro de 1988 - Define as Áreas de Proteção Ambiental (APA's);

Resolução CONAMA nº 5, de 15 de junho de 1988 - Ficam sujeitas a licenciamento as obras de sistemas de abastecimento de água, sistemas de esgotos sanitários, sistemas de drenagem e sistemas de limpeza urbana;

Lei nº 7.804, de 8 de julho de 1989 - Disciplina o crime ecológico (altera a Lei nº 6.938);

Resolução CONAMA nº 03, de 28 de junho de 1990 - Estabelece os padrões de Qualidade do Ar previstos no PRONAR;

Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997 - Dispõe sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos, estabelecendo as bacias hidrográficas como unidades físico-territoriais para o planejamento;

Resolução CONAMA nº 237, de 19 de dezembro de 1997 - Estabelece definições e requisitos para o Licenciamento Ambiental;

Lei nº 9.605, de fevereiro de 1998 (Lei de Crimes Ambientais) - Estabelece as variadas formas de agressões ambientais e atribui às mesmas sanções como detenção e multa;

Resolução CONAMA nº 302, de 20 de março de 2002 - Dispõe sobre os parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente de reservatórios artificiais e o regime de uso do entorno. Plano Ambiental de Conservação, recursos hídricos, floresta, solo, estabilidade geológica, biodiversidade, fauna, flora, recuperação, ocupação, rede de esgoto, entre outros.

### 3.3 Legislações relacionadas à resíduos sólidos

Algumas legislações relacionadas aos resíduos sólidos são apresentadas neste item por serem consideradas relevantes para este estudo.

#### 3.3.1 Legislações federais

Decreto nº 50.877, 1961 - Dispõe sobre o lançamento de resíduos tóxicos ou oleosos nas águas interiores ou litorâneas do País e dá outras providências. Regula a Ação Popular (alterada pela Lei 651377);

Decreto nº 58256, 1966 - Promulga o tratado de proscricção das experiências com armas nucleares na atmosfera, no espaço cósmico e sob a água;

Lei nº 5318, 1967 - Estabelece penalidades para embarcações e terminais marítimos ou fluviais que lançarem detritos ou óleo em águas brasileiras e dá outras providências;

Portaria nº 53, de 1º de março de 1979 – Estabelece normas aos projetos específicos de tratamento e disposição de resíduos sólidos, bem como a fiscalização de sua implantação, operação e manutenção;

Portaria nº 01, de 04 de março de 1983 - Aprova as normas sobre especificações,

garantias, tolerâncias e procedimentos para coleta de amostras de produtos e modelos oficiais a serem utilizados pela inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes e biofertilizantes, destinados à agricultura;

Lei nº 7.802, de 11 de junho de 1989 – Dispõe sobre agrotóxicos (regulamentada pelo Decreto nº 98.816 de 11 de janeiro de 1990);

Resolução CONAMA nº 08, de 19 de setembro de 1991 – Veta a entrada de materiais residuais destinados à disposição final e incineração no país;

Resolução CONAMA nº 05, de 05 de agosto de 1993 – Dispõe sobre a destinação final de resíduos sólidos. Define normas mínimas para tratamento de resíduos sólidos oriundos de serviços de saúde, portos e aeroportos. Estende exigências aos terminais rodoviários e ferroviários;

Resolução CONAMA nº 23, de 12 de dezembro de 1996 (Revoga a Resolução nº 37, de 07 de Dezembro de 1994) – Proíbe a importação dos resíduos perigosos, Classe I, em todo o território nacional, sob qualquer forma e para qualquer fim;

Decreto - Lei nº 366-A, de 20 de dezembro de 1997 - Estabelece os princípios e as normas aplicáveis à gestão de embalagens e resíduos de embalagens, visando à prevenção da produção desses resíduos, a reutilização e reciclagem de embalagens usadas, bem como a redução da sua eliminação final, assegurando a proteção ambiental e dá outras providências;

Decreto-Lei nº 268, de 28 de agosto de 1998 - Visa regular a localização dos parques de sucata e o licenciamento da instalação e ampliação de depósitos de sucata, com o objetivo de promover um correto ordenamento do território, evitar a degradação da paisagem e do ambiente e proteger a saúde pública;

Decreto-Lei nº 407, de 21 de dezembro de 1998 - Estabelece as regras relativas aos requisitos essenciais da composição das embalagens, designando os níveis de concentração de metais pesados nas embalagens;

Resolução CONAMA nº 257, de 30 de junho de 1999 - Dispõe sobre Pilhas e Baterias, bem como sobre os produtos eletro-eletrônicos. Após seu esgotamento energético, esses produtos deverão ser entregues aos estabelecimentos que os comercializam ou às redes de assistência técnica autorizadas pelas respectivas indústrias, para repasse aos fabricantes ou importadores, a fim de que estes adotem, diretamente ou por meio de terceiros, os procedimentos adequados de reutilização, reciclagem, tratamento ou disposição final;

Resolução CONAMA nº 258, de 02 de dezembro de 1999 - Determina que as empresas fabricantes e as importadoras de pneumáticos ficam obrigadas a coletar e dar destinação final ambientalmente adequada aos pneus inservíveis;

Resolução CONAMA nº 264, de 20 de março de 2000 – Dispõe sobre a utilização de fornos rotativos de produção de clínquer para atividades de co-processamento de resíduos;

Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002 – Dispõe sobre o estabelecimento das diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil;

Resolução CONAMA 308, de 21 de março de 2002 – Dispõe sobre os procedimentos para o Licenciamento Ambiental de sistemas de disposição final dos resíduos sólidos urbanos gerados em municípios de pequeno porte, com até trinta mil habitantes na zona urbana ou que produza até trinta toneladas de lixo urbano por dia;

Resolução CONAMA nº 313, de 29 de outubro de 2002 - Dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais. Esta resolução prevê que as informações do inventário de resíduos sólidos deverão ser atualizadas a cada vinte e quatro meses, na forma determinada pelo IBAMA;

Resolução CONAMA nº 316, de 20 de novembro de 2002 - Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos;

Resolução da Diretoria Colegiada RDC 342 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA, de 13 de dezembro de 2002 – Dispõe sobre a elaboração dos Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos em portos, aeroportos, estações e passagens de fronteiras e terminais alfandegados de uso público, e critérios para aprovação destes planos;

Resolução CONAMA nº 334, de 19 de maio de 2003 - Dispõe sobre os procedimentos de licenciamento ambiental de estabelecimentos destinados ao recebimento de embalagens vazias de agrotóxicos;

Resolução da Diretoria Colegiada RDC 306 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA, de 7 de dezembro de 2004 - Dispõe sobre o Regulamento Técnico para o gerenciamento de resíduos de serviços de saúde;

Resolução CONAMA nº 358, de 04 de maio de 2005 - Dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde e dá outras providências;

Lei nº 10.888, de 20 de setembro de 2001 (Projeto de lei nº 521, de 1998) - Dispõe sobre o descarte final de produtos potencialmente perigosos do resíduo urbano (pilhas, baterias, lâmpadas fluorescentes e frascos de aerossóis em geral) que contenham metais pesados e dá outras providências;

Projeto de Lei proposto pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2005) que dispõe sobre as diretrizes gerais para a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios

aplicáveis aos resíduos sólidos no país, e institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, seus princípios, fundamentos, objetivos, instrumentos e planos, estabelece diretrizes para a Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, e regulamenta responsabilidades e parâmetros técnicos a ela inerentes.

De acordo com esse projeto de lei (MMA, 2005) os princípios e fundamentos da Política Nacional de Resíduos Sólidos são:

- a não geração de resíduos sólidos;
- a prevenção da geração de resíduos sólidos;
- a redução da geração de resíduos sólidos;
- a reutilização dos resíduos sólidos;
- o tratamento dos resíduos sólidos;
- a disposição final dos rejeitos ambientalmente adequada;
- o direito à informação;
- o desenvolvimento sustentável;
- a participação da sociedade no planejamento, formulação e implementação das políticas públicas, na regulação, fiscalização, avaliação e prestação de serviços por meio das instâncias de controle social;
- a regularidade, a continuidade, a funcionalidade e a universalidade dos serviços públicos de manejo integrado dos resíduos sólidos;
- a responsabilidade sócio-ambiental compartilhada fundamentada no art. 225 da Constituição Federal e a responsabilidade solidária;
- a responsabilidade objetiva pela reparação do dano ambiental;
- o incentivo ao uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados, bem como o desenvolvimento de novos produtos e processos, com vistas a estimular a utilização das tecnologias ambientalmente saudáveis;
- a integração dos catadores de materiais recicláveis nas ações que envolvam o fluxo de resíduos sólidos, como forma de garantir condições dignas de trabalho.

Ainda está proposto neste projeto de lei (MMA, 2005) os objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos, e são eles:

- proteger a saúde pública e a qualidade do meio ambiente;
- preservar e assegurar a utilização sustentável dos recursos naturais;
- reduzir a geração de resíduos sólidos e incentivar o consumo sustentável;
- incentivar a adoção e o desenvolvimento de tecnologias ambientalmente saudáveis;
- estimular e disciplinar a Gestão Integrada de Resíduos Sólidos;
- estimular as soluções intermunicipais e regionais para a Gestão Integrada de Resíduos Sólidos;
- minimizar os impactos ambientais causados pela geração e disposição inadequada de resíduos sólidos; e
- valorizar a dignidade humana e erradicar o trabalho infante-juvenil nas áreas de disposição inadequada de resíduos sólidos e de disposição final de rejeitos.

Os instrumentos desta Política Nacional de Resíduos Sólidos, estabelecidos pelo projeto de lei proposto pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2005), são:

- os planos de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos;
- os serviços públicos de manejo de resíduos sólidos;
- os dispositivos legais e os dispositivos técnicos aplicáveis aos resíduos sólidos;
- a Análise e a Avaliação do Ciclo de Vida do Produto;
- o Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras ou

- utilizadores de Recursos Ambientais, nos termos do artigo 19 da Política Nacional do Meio Ambiente;
- os inventários de resíduos sólidos em conformidade com o disposto pelo CONAMA;
  - a Avaliação de Impactos Ambientais, nos termos do art 9º, III, da Política Nacional do Meio Ambiente;
  - o Sistema Nacional de Informações Ambientais - SISNIMA, o Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento - SNIS, e os demais;
  - a Logística Reversa;
  - o licenciamento ambiental, o monitoramento e a fiscalização;
  - a cooperação técnica e financeira entre os setores público e privado para o desenvolvimento de pesquisas e de novos produtos;
  - a pesquisa científica e tecnológica;
  - a educação ambiental e a capacitação de forma consistente e continuada;
  - os programas de incentivos fiscais, financeiros e creditícios;
  - as sanções penais, civis e administrativas; e
  - os Fundos Especiais.

### 3.3.2 Legislação Estadual - Goiás

Decreto nº 1745, de 06 de dezembro de 1979 - Aprova o regulamento da Lei nº 8544, de 17 de outubro de 1978, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente no estado de Goiás. No título IV que trata da poluição do solo, o controle é estabelecido nos artigos.

- Art. 57. Não é permitido depositar, dispor, descarregar, enterrar, infiltrar ou acumular, no solo, resíduos em qualquer estado de matéria, desde que sejam poluentes.
- Art. 58. O solo poderá ser utilizado para destino final de resíduos de qualquer natureza, desde que sua disposição seja feita de forma adequada, estabelecida em projetos específicos de transporte e destino final, ficando vedada a simples descarga ou depósito, seja em propriedade pública ou particular.
- Art. 59. Os resíduos de qualquer natureza, portadores de germes patogênicos, ou de alta toxicidade, bem como inflamáveis, explosivos, radioativos e outros prejudiciais, a critério da Agência Ambiental, deverão sofrer, antes de sua disposição final no solo, tratamento e/ou acondicionamento adequado, fixados em projetos específicos, que atendam aos requisitos de proteção do meio ambiente.
- Art. 60. Ficam sujeitos à aprovação da Agência Ambiental os projetos específicos de tratamento, acondicionamento, transporte e disposição final de resíduos sólidos, bem como a fiscalização de sua implantação, operação e manutenção.
- Art. 61. Somente será tolerada a acumulação temporária de resíduos de qualquer natureza na fonte de poluição ou em outros locais, desde que não ofereça risco de poluição ambiental.
- Art. 62. O tratamento, quando for o caso, o transporte e a disposição de resíduos de qualquer natureza, de estabelecimentos industriais, comerciais e de prestação de serviços, quando não forem de responsabilidade do Município, deverão ser feitos pela própria fonte de poluição.

Lei nº 14.248, de 29 de julho de 2002 - Dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos e dá outras providências. No Título I, Capítulo I, o Art. 1º, esta lei institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos e define diretrizes e normas de prevenção da poluição.

No Título II, Capítulo I desta lei, que trata da gestão dos resíduos sólidos co-participativa, e esta estabelecida nos artigos.

- Art. 7º. A gestão dos resíduos sólidos será feita pelos Municípios de forma preferencialmente integrada, com a cooperação do Estado;
- Art. 8º. Nas regiões urbanas, as atividades de gestão dos resíduos sólidos urbanos devem ser efetivadas mediante ação integrada do Estado e dos Municípios, com participação dos organismos da sociedade civil, tendo em vista a máxima eficiência e a adequada proteção ambiental;
- Art. 9º. Constituem serviços de caráter essencial à organização e o gerenciamento dos sistemas de manejo, acondicionamento, armazenamento, coleta, transporte, tratamento e disposição final dos resíduos sólidos.

### 3.4 Planejamento urbano

Dentro das propostas de Gestão Ambiental para o planejamento das cidades, o estudo das Áreas de Proteção Ambiental (APA's), bem como as Bacias Hidrográficas nelas contidas deve ser considerado para um desenvolvimento mais sustentável, pois estas constituem espaços onde o equilíbrio ecológico deve ser respeitado.

O planejamento urbano deve visar a melhoria na qualidade ambiental, principalmente no que se refere à escolha de áreas, onde pode ocorrer transferência de poluentes de um meio para outro. No caso da disposição de resíduos em aterros sanitários, por exemplo, pode ocorrer a contaminação das águas superficiais e subterrâneas pelo percolado, quando esses aterros não são operados ou projetados de maneira adequada.

Segundo Mota (1999), o Plano Diretor é o instrumento básico de orientação do desenvolvimento e expansão urbana, devendo conter as diretrizes para o crescimento econômico e social justo e ecologicamente equilibrado. Deve ser executado pelo Governo Municipal, porém, deve considerar a participação dos segmentos representativos da sociedade.

Para servir como um instrumento eficaz para as práticas da conservação ambiental, o Plano Diretor necessita ser elaborado considerando-se os aspectos naturais, sociais, econômicos e culturais da cidade.

De acordo com o artigo 182 da Constituição Federal de 1988, toda a cidade com mais de 20.000 habitantes, fica obrigada a ter um Plano Diretor aprovado pela Câmara Municipal, o qual será seu instrumento de política de desenvolvimento e de expansão urbana (FRANCO, 1.999).

Além da Lei do Plano Diretor, são necessários outros instrumentos para um bom planejamento urbano: (1) Lei de Uso e Ocupação do Solo; (2) Lei do Parcelamento do Solo; (3) Lei do Sistema Viário; (4) Código de Obras e o (5) Código de Posturas ou de Usos e Costumes, que devem estar em consonância com a (6) Lei Orgânica Municipal. Segundo Mota (1999), essas leis devem seguir os seguintes critérios:

- lei de Uso e Ocupação do Solo tem como objetivo disciplinar o uso do território municipal, definindo a melhor distribuição espacial das atividades sócio-econômicas e da população, através do zoneamento da cidade;
- lei de Uso e Parcelamento do solo é muito importante para o controle da ocupação do solo urbano. Através dela, o município pode exigir uma distribuição adequada dos lotes, equipamentos e vias públicas, priorizando a manutenção da qualidade ambiental. Também é conhecida como Lei de Loteamentos e estabelece diretrizes para os projetos de parcelamento de glebas urbanas;
- lei do Sistema Viário define o esquema de circulação de veículos da cidade, estabelecendo as vias principais, secundárias e locais. Trata ainda do alargamento, prolongamento e abertura de novas vias e do sistema de transporte de passageiros;
- código de Obras é a lei que disciplina as edificações com o objetivo de garantir as condições de higiene, saúde, conforto e segurança da população;
- código de Posturas é a lei que disciplina a utilização dos espaços públicos ou de uso coletivo, com a intenção de garantir as condições de higiene, ordem pública e segurança;
- lei Orgânica é a estrutura base do município, pela qual este será administrado. Ela define as responsabilidades municipais, a organização dos poderes municipais, a constituição e os deveres da administração municipal, além de dispor sobre a ordem econômica e social.

O município pode definir outras normas e diretrizes para um melhor controle ambiental; ou ainda, utilizar dispositivos estaduais ou federais que, direta ou indiretamente, tratem da proteção ambiental, como as leis de controle da poluição ambiental, de padrões de qualidade ambiental, de proteção de mananciais, as normas de controle da erosão do solo e as resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente.

O conhecimento das áreas ocupadas de uma cidade é um importante parâmetro

para o planejamento territorial e para a avaliação do uso dos recursos naturais, sobretudo, nas regiões densamente urbanizadas e naquelas que apresentam restrições e fragilidades ambientais principalmente para implantação de um projeto de aterro sanitário.

### 3.5 Problemas associados a disposição dos resíduos sólidos

A disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos no solo de forma inadequada cria um cenário cujos problemas são similares na maioria dos casos, e causa prejuízos socioeconômicos, risco à saúde e degradam o meio ambiente. Esses problemas foram relacionados na perícia realizada por Ferreira (2000), na área do lixão do município de Anápolis - Goiás e devem-se a:

- contaminação dos recursos hídricos, devido à produção de percolato (percolato oriundo da decomposição do lixo mais as águas de chuva) onde parte infiltra no solo atingindo o lençol freático formando as plumas de contaminações e parte atinge o leito dos córregos mais próximos carregado pelas águas da chuva;
- proliferação de vetores que podem ser classificados em dois grandes grupos de seres que habitam no lixo: os macros vetores, como por exemplo, os ratos, baratas, moscas e até animais de médio e grande porte, como cães, aves, suínos, equinos, etc. O próprio homem, catador de lixo, enquadra-se neste grupo. No segundo grupo dos microvetores estão os vermes, bactérias, fungos e vírus, sendo estes últimos os de maior importância epidemiológica, por serem patogênicos e, portanto, nocivos ao homem. Os vetores em contato com o homem são responsáveis pelo surgimento de doenças respiratórias, epidérmicas, intestinais e outras enfermidades lesivas e até letais, como o cólera, o tifo, a leptospirose, a pólio etc;
- os vetores que reproduzem nesses lixões, e aqueles que os utilizam como fonte de alimentação, deslocam com facilidade atingindo um raio de até cinco quilômetros, levando contaminação ao homem aos animais domésticos e silvestres;
- contaminação do solo, por exemplo, com materiais cortantes (vidros, metais, plásticos, etc.) e com metais pesados (cádmio, cromo, cianetos, zinco, chumbo, mercúrio, etc.), presentes no percolato que se infiltra no solo;
- presença de substâncias de alto teor energético que oferecem disponibilidade simultânea de água, alimentos e abrigo, tornando o local preferido por inúmeros organismos vivos, a ponto de algumas espécies o utilizarem como nicho ecológico;
- a queima ocasional do lixo a céu aberto, gerando a poluição atmosférica pelo lançamento gás de derivados carbônico e enxofre e etc, que associados com os odores liberados pela decomposição do lixo, são deslocados pelos ventos, atingem os moradores mais próximos e até mesmo as áreas urbanas, causando doenças alérgicas e respiratórias a esta população;
- desenvolvimento de organismos patogênicos e resistentes às drogas farmacológicas e de uso veterinário;
- desenvolvimento de pragas daninhas resistentes a herbicidas, em uso;
- limitação da utilização das águas dos cursos d'água para irrigação e dessedentação de animais, que podem fornecer alimentos contaminados à população;
- perda do valor econômico das propriedades vizinhas às áreas destes lixões, e daquelas banhadas pelos cursos d'água, situadas à jusante destas áreas, devido à limitação do uso de suas águas;

- perda do potencial de produção agrícola e criação de animais, por serem afetadas diretamente pela proliferação de pragas como fungos, bactérias, ácaros, etc;
- perda da qualidade do manancial hídrico (córrego e nascentes), que poderia ter suas águas utilizadas para irrigação e descedentação de animais, devido a sua contaminação;
- desenvolvimento da atividade marginal de catação de material reciclável.

Atualmente, na maioria das cidades brasileiras, o lixo é descartado de forma irregular em lixões ou terrenos vazios, podendo provocar degradação ambiental. A problemática dos resíduos não se restringe apenas à questão da destinação final dos mesmos; a falta de conscientização da população diante dos problemas relacionados aos resíduos é o ponto de maior importância a ser trabalhado pelos agentes públicos.

Segundo Fritsch (2000), “produzir resíduos é inerente ao ser humano”, destiná-los adequada e satisfatoriamente é o maior desafio das administrações públicas. “Essa atividade não pode ser exercida sem a colaboração direta do munícipe”.

No Brasil, o crescimento populacional atingiu cerca de 2,2 milhões de pessoas entre os anos de 1999 e 2000, de acordo com a pesquisa por amostragem do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2002). A análise desse estudo mostra ainda que para o conjunto do país a tendência do crescimento é de 1,60% ao ano.

Segundo a VEGA Engenharia, empresa de limpeza pública de atuação nacional há um crescimento em torno de 5% ao ano na quantidade de resíduos gerados. Em grande parte dos municípios, o lixo ainda não é coletado na sua totalidade e parte ainda permanece junto às residências. A produção de lixo "per capita" encontra-se hoje em torno de 600g/hab/dia (USP, 2006).

Considerando-se esses números e a geração média de cerca de 600 gramas de resíduo/pessoa/dia, pode-se concluir que, diariamente, são produzidos milhares de toneladas de resíduos nas cidades brasileiras, refletindo, assim, o quadro dramático enfrentado pelas prefeituras municipais, já que a produção de resíduo é contínua e não há disponibilidade de áreas para disposição final dos resíduos.

Quanto maior a quantidade de resíduo gerado por uma cidade, maiores são os gastos com ele. Por isso, incentivar a redução da geração dos resíduos é uma das estratégias para que os municípios consigam reduzir sua receita, no que se refere aos gastos com a coleta, tratamento e disposição final destes. Porém, antes mesmo de se procurar reduzir a produção de resíduos, é fundamental investir na prevenção.

Segundo D’Almeida (2000), a crescente degradação causada pelos resíduos vem afetando a vida cotidiana de tal forma que já está causando “sérios problemas políticos”. Os

resíduos urbanos atuais não são os mesmos de vinte anos atrás, ele mudou em quantidade e qualidade, em volume e composição. Atualmente, ele apresenta uma grande quantidade de embalagens. Os resíduos rurais também tiveram seu volume aumentado devido à presença de sacos plásticos e frascos, como as embalagens plásticas em geral e de agrotóxicos, as quais podem contaminar o ambiente ou causar prejuízos para animais, caso as consumam.

Com isso, os resíduos ocupam cada vez mais espaço nos aterros, resultando em gastos públicos, pois quanto maior o volume do resíduo, mais rapidamente o aterro vai sendo preenchido.

Zanta e Ferreira (2003) apud Castilhos Junior (2003), relatam os dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB), realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2002). Segundo essa pesquisa, a população brasileira é de aproximadamente 170 milhões de habitantes, produzindo diariamente cerca de 126 mil toneladas de resíduos sólidos. Quanto a destinação final, os dados relativos às formas de disposição final de resíduos sólidos distribuídos de acordo com a população dos municípios, obtidos com a PNSB (IBGE, 2002), indicam que 63,60% dos municípios brasileiros depositam seus resíduos em “lixões”, somente 13,00% informam que utilizam aterro sanitário e 18,40% dispõe seus resíduos em aterros controlados, totalizando 31,40%. Os 5% restantes não declararam o destino de seus resíduos.

No Estado de Goiás, existem poucos aterros sanitários (3,25%) e controlados (21,95%) enquanto que a maioria dos resíduos é disposta em lixões (74,80%). Na maior parte dos casos, não ocorre o tratamento adequado do percolado (AGMA, 2005).

Atualmente, um dos maiores problemas existentes nos aterros é o esgotamento de sua vida útil devido à grande quantidade de resíduos descartados diariamente, bem como a presença de catadores, os quais convivem entre os caminhões coletores e compactadores. Infelizmente, muitos deles entram em contato direto com o resíduo proveniente de várias origens, expondo essas pessoas à risco de acidentes e contaminação.

A falta de locais apropriados para a disposição final dos resíduos e o número de áreas já contaminadas faz com que a comunidade científica discuta a “garimpagem do resíduo”, ou seja, a retirada de alguns materiais descartados em aterros e lixões para o seu reaproveitamento.

A contaminação das áreas de aterro e lixões poderia ser evitada caso os municípios elaborassem seu Plano Diretor e respeitassem as restrições e fragilidades ambientais detectadas. Essa análise dos recursos naturais auxiliaria a escolha de locais apropriados.

Assim, na área dos resíduos sólidos, nota-se uma carência de profissionais experientes nos cargos públicos, bem como de mão-de-obra qualificada para a prestação dos serviços. Além disso, o Brasil necessita de políticas públicas voltadas para a minimização dos problemas relacionados aos resíduos sólidos.

De acordo com Bidone (1999), o resíduo geralmente é composto entre 40 e 60% de matéria orgânica e é relevante nos mesmos a grande parcela de resíduos inertes, não-biodegradáveis e não contaminados. Eventualmente, e esta tem sido a tendência atual, encontrar matéria fecal humana em resíduos encaminhados para aterros sanitários e usinas de triagem, reciclagem e compostagem, em decorrência da incorporação no resíduo de absorventes higiênicos, fraldas descartáveis, entre outros.

Ainda segundo o autor, o lodo fresco proveniente do tratamento de esgoto também apresenta organismos patogênicos que podem estar presentes nos resíduos urbanos, além do lodo industrial. Este último apresenta grande concentração de metais pesados, de efeito cumulativo e irreversível na biota de fundos de rios e lagos.

Em vista disso, o tratamento adequado do percolato formado pela degradação da matéria orgânica misturada as águas de chuva, bem como o tratamento dos gases, é essencial para um bom funcionamento dos aterros sanitários, para prevenir impactos ambientais negativos e evitar efeitos estéticos indesejados.

Mesmo no caso do tratamento dos resíduos em usinas de triagem, compostagem e reciclagem, não se deve desconsiderar o aterro sanitário como forma de disposição final dos materiais inertes e orgânicos, pois durante a separação ou mesmo após o tratamento podem restar rejeitos.

Independentemente do processo de tratamento, deve-se buscar o controle dos propagadores de moléstias, por isso nos aterros sanitários as camadas de resíduo são cobertas com terra diariamente como medida preventiva. Dentre os propagadores de moléstias, encontram-se: ratos, vetores associados a Peste Bubônica e a Leptospirose; moscas; que podem abrigar agentes transmissores de febres, cólera, tuberculose, lepra, varíola, hepatite, amebíase e teníase; mosquitos, transmissores de viroses, dengue, febre amarela e malária; baratas, suspeitas de veicularem o vírus da poliomielite e alergias respiratórias; aves e urubus, transmissores de toxoplasmose; entre outros (BIDONE, 1999).

Infelizmente, muitos catadores entram em contato direto com o resíduo proveniente de várias origens, podendo ser contaminados e até se tornarem um macro vetor. É indicado o uso de equipamentos de proteção, como botas, luvas, máscaras e outros, a fim de evitar o contato direto das pessoas com o resíduo, reduzindo o número de acidentes e doenças.

A retirada de catadores dos aterros e lixões é um dos problemas enfrentados pela maioria das prefeituras.

### 3.6 Gestão e gerenciamento integrado dos resíduos sólidos urbanos

Frente à problemática dos resíduos, há necessidade da adoção de medidas para o controle dos resíduos sólidos, desde a geração até sua destinação final, observando as normas e leis relacionadas.

Entende-se como “Gestão dos Resíduos Sólidos”, todas as normas e leis relacionadas a estes e como “Gerenciamento Integrado dos Resíduos Sólidos”, todas as operações que envolvem os resíduos, como coleta, transporte, tratamento, disposição final, entre outras (CEMPRE, 2001).

Segundo Andrade (1997) apud Lopes (2003), o conceito “gerenciamento” surgiu nas Escolas de Administração, associado às noções de planejamento e controle. Na área dos resíduos sólidos, este conceito adequou-se às medidas de prevenção e correção dos problemas, vislumbrando a preservação dos recursos naturais, a economia de insumos e energia e a minimização da poluição ambiental. Dentro do gerenciamento, destacam-se ainda as questões de responsabilidade do agente público e o envolvimento dos setores da sociedade em relação à geração dos resíduos.

Portanto, o gerenciamento integrado de resíduo “trata do conjunto articulado de ações normativas, operacionais, financeiras e de planejamento que uma administração municipal desenvolve (com base em critérios sanitários, ambientais e econômicos) para coletar, tratar e dispor o resíduo de sua cidade” (CEMPRE, 2001).

Lima (2005) define gerenciamento integrado de resíduos sólidos como sendo o processo que compreende atividades referentes à tomada de decisões estratégicas quanto aos aspectos da prestação, da fiscalização e do controle dos serviços públicos de manejo integrado dos resíduos sólidos nas suas diferentes etapas: segregação, coleta, manipulação, acondicionamento, transporte, armazenamento, transbordo, triagem e tratamento, reciclagem, comercialização e destinação final dos resíduos sólidos.

#### 3.6.1 Experiência Internacional

Outros critérios de Gestão e Gerenciamento Integrado dos Resíduos Sólidos

Urbanos podem ser adotados, conforme o gestor da área. Segundo o trabalho apresentado por Lopes (2003), por exemplo, em alguns países, estratégias como “redução na fonte” por meio de processos tecnológicos (máquinas e equipamentos) e por meio da “análise do ciclo de vida” dos produtos, bem como investimentos em reciclagem, reutilização, tratamento e destinação final adequada dos resíduos, já vêm sendo incentivadas e empregadas desde algum tempo. No Brasil, este tipo de preocupação não se faz de forma efetiva e continuada.

Nesses países, a tendência é o tratamento de resíduos em incineradores modernos que recuperam energia e a disposição final em aterros sanitários só ocorre quando os resíduos não podem mais ser recuperados.

Ainda segundo Lopes (2003), alguns países já possuem uma política definida em relação aos resíduos sólidos a algum tempo, de modo que cada um deles determina a instituição responsável pelas ações na área dos resíduos sólidos.

Na Europa, por exemplo, duas tendências estão se consolidando no que se refere à gestão dos resíduos: (1) mudanças na regularização, resultado da organização dos agentes envolvidos com o problema e (2) a indústria se responsabiliza efetivamente pelo resíduo gerado, como no caso dos pneus, baterias, veículos, etc.

Estudos realizados por Lopes (2003) verificaram que em Berlin, na Alemanha, existem cerca de 3.000 (três mil) aterros, entre os quais, cerca de 500 são para os resíduos domésticos e onde o percolado é recirculado. A produção média diária de resíduo é estimada em 1 quilo por pessoa por dia. A cidade recebe um fundo monetário mensal para gastar com o resíduo de cerca de 4 bilhões de marcos, dos quais, 3,9 bilhões são gastos com as despesas de coleta, sendo que cerca de 200 milhões vão para serviços administrativos e programas de Educação Ambiental.

Destes estudos, Lopes (2003) concluiu que entre todos os países europeus, a Dinamarca e o que possui a legislação mais avançada quanto à redução e o tratamento dos resíduos, o reúso e a reciclagem. Essas são práticas no país desde a década de 60 e o setor público controla as empresas responsáveis pela coleta, tratamento e destinação final de resíduos.

Na Holanda, há parcerias entre os setores público e privado. O primeiro possui as instalações e o segundo é responsável pela operacionalização do sistema, sendo controlado e fiscalizado pelo Estado.

Nesse mesmo estudo, Lopes (2003) verificou que a cidade de Nova Iorque (E.U.A.), é considerada a capital do resíduo. Ela possuía, em 2000, cerca de 8 milhões de habitantes, os quais produzem cerca de 12 mil toneladas de resíduo por dia, representando

uma produção média de 2 a 3 quilos de resíduo /pessoa/dia.

O resíduo produzido pela cidade acaba gerando problemas muito graves, já que não há mais espaço para novos aterros. Existe um aterro próximo a Manhattan, considerado uma das maiores obras de engenharia do mundo, que já está com sua vida útil esgotada. Aproximadamente 50% do resíduo gerado vai para os aterros, 20% para incineração e 25% são reciclados. Os resíduos, atualmente, estão sendo descartados em aterros no Estado da Virgínia, gerando despesas para os cofres públicos. A estes aterros chegam cerca de 700 mil toneladas de resíduo por dia (LOPES, 2003).

Ainda segundo esse autor, em Toronto, no Canadá, os garís recebem um salário de cerca de US\$ 50 mil por ano. Na cidade, as questões relacionadas ao resíduo são bastante respeitadas pela população.

Na França, cerca de 100 mil toneladas por ano de resíduo perigoso provém da região de Paris. Os dejetos, entre eles cinzas, tintas e solos contaminados, são tratados antes de serem aterrados. No aterro, as águas percoladas são coletadas, tratadas e reutilizadas. Os resíduos de serviços de saúde são tratados em autoclaves e em Paris são incinerados (LOPES, 2003).

Lopes (2003) relata que no centro histórico desta cidade, os moradores reclamavam do barulho dos caminhões, pois as ruas são estreitas, por isso, atualmente, existem vários tipos de caminhões fazendo a coleta na cidade, como o caminhão elétrico que custa em média, US\$ 100 mil cada e funciona à base de bateria.

A capital da Suécia, Estocolmo, possui cerca de 720 mil habitantes, os quais produzem cerca de 225 mil toneladas de resíduos domiciliares por ano, representando cerca de 900 gramas/pessoa/dia. Nesta cidade são produzidas, em média, 1 milhão de toneladas de resíduo por ano, dentre as quais, 50% são resíduos domiciliares e 50% resíduos industriais e nucleares (LOPES, 2003).

Na maioria dos países, o gerenciamento dos resíduos sólidos fica a cargo dos municípios, como ocorre no Brasil, exceto no Japão. Segundo Leite (1997) apud Lopes (2003), nesse país os governos Federal e Estadual são os responsáveis por analisar, regularizar e fiscalizar o gerenciamento.

Por outro lado, os países europeus analisados possuem legislações, fiscalização e controle mais aprimorados, tendo às suas metas e cronogramas compatíveis a este, os quais são ajustados por meio de monitoramento periódico.

Portanto, infere-se que, desde algum tempo, esses países têm investido em mecanismos de controle ambiental e na padronização do gerenciamento de resíduos. Assim, a

política de resíduos nesses locais se concentra nas medidas reguladoras, como padrões de emissão, uso do solo, taxas ambientais sobre produtos, entre outras e a sociedade, por sua vez, recebe informações sobre o manejo dos resíduos para que haja um controle social das atividades.

### 3.6.2 Realidade Brasileira

No Brasil, os problemas relacionados com resíduo são recentes e as situações se distinguem de município para município. Por ser um problema que aumenta diariamente, não há vantagem alguma para as cidades em deixar a busca por soluções tardias. A colaboração da comunidade com a administração municipal é fundamental para a tomada de decisões e “é a melhor maneira para encontrar soluções mais adequadas e até formas mais inteligentes e proveitosas de financiamento” (D’ALMEIDA, 2000).

O modelo tradicional de gestão dos resíduos sólidos pressupõe que o ambiente seja uma fonte inesgotável de matérias-primas, no entanto, esse modelo reforça as propostas do capitalismo, o consumo de recursos para a produção de bens e serviços, visando lucros.

Um sistema de gestão e gerenciamento ideal objetiva minimizar a quantidade de resíduos gerados. A principal estratégia para se tentar minimizar a produção de resíduos deve estar baseada nos princípios dos 3R’s:

Redução: consiste em diminuir a quantidade de resíduo produzido, desperdiçando menos, consumindo apenas o necessário, sem exageros;

Reutilização: consiste em dar nova utilidade aos materiais que, em sua maioria, são considerados inúteis, sendo então descartados no resíduo:

Reciclagem: consiste em dar “nova vida” aos materiais, reutilizando sua matéria-prima para a fabricação de novos produtos.

No Brasil, o sistema atual de gestão e gerenciamento de resíduos sólidos continua visando o “final do tubo”, ou seja, apresenta avanços limitados na questão da minimização da geração dos resíduos últimos, pois a preocupação maior das administrações municipais ainda se concentra na destinação final dos resíduos e não na prevenção da poluição gerada por estes. Assim devemos instituir a essa política outro “R”.

Repensar: consiste em pensar antes de comprar, ou seja, pensar que grande parte do que nós compramos acaba sendo descartado como resíduo e que tão pouco acaba a nossa responsabilidade.

A Tabela 1 mostra a destinação final do resíduo coletado, segundo a geração nos assentamentos humanos das Unidades da Federação.

Tabela 1: Municípios e distritos com serviços de limpeza urbana e disposição final

Unidades de destinação final do resíduo coletado	Grandes Regiões, Unidades da Federação, Regiões Metropolitanas e Municípios das capitais (Brasil)
- Vazadouro a céu aberto	5.993
- Vazadouro em áreas alagadas	63
- Aterro controlado	1.868
- Aterro sanitário	1.452
- Aterro de resíduos especiais	810
- Usina de compostagem	260
- Usina de reciclagem	596
- Incineração	325

Fonte: IBGE (2000)

A Pesquisa Nacional de Saneamento Básico realizado pelo IBGE (2000), revelou uma tendência de melhora da situação de destinação final do resíduo coletado no país nos últimos anos (TABELA 2). Em 2000, o resíduo produzido diariamente no Brasil chegava a 125.281 toneladas, sendo que 47,2% eram destinados a aterros sanitários, 22,3 % a aterros controlados e apenas 30,5 % a lixões. Ou seja, mais de 69 % de todo o resíduo coletado no Brasil estaria tendo um destino final adequado, em aterros sanitários e/ou controlados. Todavia, em número de municípios, o resultado não é tão favorável: 63,6 % utilizavam lixões e 31,4 %, aterros adequados (13,0 % sanitários, 18,4 % aterros controlados). Nesta pesquisa 5% dos municípios não informaram para onde vão seus resíduos.

Tabela 2: Formas de disposição final do resíduo coletado no Brasil

Destinação	Produção de resíduo		Abrangência da pesquisa	
	(t/dia)	(%)	Municípios	(%)
Aterro sanitário	59.132,63	47,2	716	13,0
Aterro controlado	27.957,66	22,3	1.013	18,4
Lixões	38.210,71	30,5	3.52	63,6
Não declarado	0,0	0,0	274	5,0
Total	125.281	100	5.507	100

Fonte: IBGE (2000)

Os números dessa pesquisa mostraram, ainda, uma estimativa sobre a quantidade coletada de resíduo diariamente: nas cidades com até 200.000 habitantes, são recolhidos de 450 a 700 gramas por habitante; nas cidades com mais de 200 mil habitantes, essa quantidade aumenta para a faixa entre 800 e 1.200 gramas por habitante. A PNSB (2000) informa que, na

época em que foi realizada a pesquisa, eram coletadas 125.281 toneladas de resíduo domiciliar, diariamente, em todos os municípios brasileiros.

Ainda segundo essa mesma pesquisa, dos 5.507 municípios brasileiros, 4.026, ou seja 73,1%, têm população até 20.000 habitantes. Nestes municípios, 68,5% dos resíduos gerados são vazados em lixões e em alagados. Se a referência utilizada for a quantidade de resíduo por eles gerada, em relação ao total da produção brasileira, a situação é menos grave, pois em conjunto coletam somente 12,8 % do total brasileiro (20.658 t/dia). Isto é menos do que o gerado pelas 13 maiores cidades brasileiras, com população acima de 1 milhão de habitantes. Só estas, coletam 31,9 % (51.635 t/dia) de todo o resíduo urbano brasileiro, e têm seus locais de disposição final em melhor situação: apenas 1,8 % (832 t/dia) é destinado a lixões, o restante é depositado em aterros controlados ou sanitários.

No ano de 2000, a situação de disposição e tratamento dos resíduos sólidos de serviços de saúde (RSS) melhorou, com 539 municípios encaminhando-os para aterros de resíduos especiais (69,9 % próprios e 30,1 % de terceiros), enquanto em 1989 apenas 19 municípios davam este destino aos resíduos sólidos. Em número de municípios, 2.569 depositam os RSS nos mesmos aterros destinados aos resíduos comuns, enquanto 539 já estão enviando-os para locais de tratamento ou aterros de segurança.

De acordo com a pesquisa realizada pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais em 2003 (ABRELPE, 2003), a abrangência dos serviços de coleta de resíduos sólidos no Brasil é ampla, ficando constatado que era realizado por 5.475 dos 5.507 municípios brasileiros naquele ano.

A utilização de indicadores que associam a quantidade de resíduos coletada à população municipal, para fins de estimativa, tem aplicabilidade imediata, uma vez que o IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística publica no Diário Oficial da União, até o dia 31 de agosto de cada ano, em cumprimento ao disposto no Artigo 102º da Lei Nº 8443, de 16 de julho de 1992, as estimativas das populações dos 5.560 municípios brasileiros com data de referência em 1º de julho do mesmo ano.

A projeção do total dos resíduos sólidos urbanos coletados no Brasil feita pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE a partir dos dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNSB (2000), conduz a uma quantidade de 173.524 t/dia em 2005. Na Tabela 3 estão apresentados esses dados atualizados da quantidade de resíduos sólidos urbanos coletados, por macrorregião no Brasil segundo a (ABRELPE, 2005).

Tabela 3: Quantidade de resíduos sólidos urbanos gerados e coletados no Brasil para o ano de 2005

Macrorregião	RSU Geados (t/dia)	Índice de coleta (%)	RSU Coletados (t/dia)	RSU Não coletados (t/dia)
Norte	14.365	87,5	12.569	1.796
Nordeste	46.623	89,4	41.681	4.942
Centro-Oeste	10.096	96,5	9.743	353
Sudeste	82.458	98,4	81.139	1.319
Sul	19.982	98,3	19.643	340
Brasil	173.524	95,0	164.774	8.750

Fonte: ABRELPE (2005).

No tocante aos destinos finais dos resíduos coletados, constata-se que cerca de 60% da quantidade coletada é disposta de forma inadequada e lançada a céu aberto, em lixões ou em meios hídricos, correspondendo a aproximadamente 99 mil toneladas por dia de resíduos sólidos urbanos (TABELA 4). Para agravar o problema, uma parcela considerável das outras 66 mil toneladas diárias consideradas oficialmente com disposição adequada é de fato disposta em aterros controlados e não sanitários (ABRELPE, 2005).

Tabela 4: Destinação final dos resíduos sólidos urbanos coletados no Brasil

Macrorregião	Com destinação adequada (t/dia)	Sem destinação adequada (t/dia)	Total (t/dia)
Norte	1.049	6.790	7.839
Nordeste	10.782	18.660	29.442
Centro-Oeste	4.493	5.635	10.127
Sudeste	42.644	57.696	100.340
Sul	6.557	7.521	14.079
Brasil	65.525	96.302	161.827

Fonte: PNSB – 2000, CEF/FUNASA/SEDU/IBGE apud ABRELPE (2005)

De maneira geral, observa-se que a maioria dos municípios realiza os serviços de limpeza urbana, coleta de resíduos sólidos e remoção de entulhos. As diferenças maiores surgem quando são consideradas as metodologias de disposições finais. Um outro desafio no setor de limpeza urbana é a falta de especialização dos agentes envolvidos, desde os funcionários da prefeitura aos da empresa contratada para a realização dos serviços, o que é essencial para a manutenção e bom funcionamento do sistema.

A responsabilidade pela prestação de serviços de limpeza urbana no Brasil é do município. Na maioria das cidades brasileiras, a coleta de resíduo é realizada pela iniciativa privada ou sob forma de concessão, sub-contratação ou permissão. De acordo com Ambiente Brasil (2000), as responsabilidades quanto ao gerenciamento dos resíduos sólidos no país podem variar conforme a origem dos resíduos, como mostra a Tabela 5.

Tabela 5: Responsabilidades sobre os resíduos sólidos, conforme a origem e classe

Origem	Possíveis Classes	Responsável
- Domiciliar	II	Prefeitura
- * Comercial	II	Prefeitura
- Industrial	I e II	Gerador do resíduo
- Público	II	Prefeitura
- Serviços de saúde	I e II	Gerador do resíduo
- Portos, aeroportos e terminais ferroviários.	I e II	Gerador do resíduo
- Agrícola	I e II	Gerador do resíduo
- * Entulho	II	Gerador do resíduo

Fonte: Adaptado de AMBIENTE BRASIL (2000)

\* Até 20 kg, as prefeituras tem assumido o recolhimento desses resíduos.

De acordo com Fritsch (2000), o Departamento de Limpeza Pública é subordinado, em geral a alguma Secretaria Municipal. Na maioria das vezes, fica subordinada à Secretaria de Obras, que opera o sistema delegado a um Departamento de Limpeza Pública, que é responsável pela limpeza de rua, capina, varrição, limpeza de valetas, bocas de lobo, de terrenos baldios (por solicitação do proprietário), bem como pelo saneamento básico e fiscalização das atividades que envolvem os resíduos sólidos, desde a produção até sua disposição final. Para isso são necessários os seguintes instrumentos: legislação, recursos humanos, tecnológicos, equipamentos e financeiros.

Esses serviços garantem a manutenção da limpeza da cidade, evitando riscos de enchentes e minimizando riscos à saúde pública. A importância dos serviços também se deve à geração de emprego, porém recomenda-se um planejamento prévio com roteiro, pessoal e frequência estabelecidos.

A partir da década de 90, os municípios começam a perceber que a dimensão da problemática dos resíduos sólidos não pode ser de responsabilidade apenas dos Departamentos de Limpeza Pública. Outras instituições podem interagir na questão ambiental, de acordo com a própria Constituição Federal, a qual define que tanto o Ministério Público, o cidadão, as organizações governamentais e não governamentais são responsáveis pela qualidade ambiental (FRITSCH, 2000).

Por tudo isso, a Gestão e o Gerenciamento dos resíduos sólidos são tarefas complexas e abrangentes, refletindo na dificuldade da maioria dos municípios, devido à falta de autonomia e de recursos. Nesse sentido, o estabelecimento de uma Política Nacional para nortear as políticas locais dos resíduos sólidos é fundamental, considerando as diferenças regionais. É importante também ressaltar a importância do acompanhamento legal à continuidade dos programas ambientais e sociais bem sucedidos, apesar das mudanças na gestão municipal.

### 3.7 Modelos de aterros para destinação final de resíduos sólidos urbanos

Diversos são os tipos de aterros de disposição de resíduos sólidos urbanos: convencionais, manuais, com recuperação de energia e aterros controlados.

#### 3.7.1 Aterro sanitário convencional

De acordo com Velloso (1999), são instalações adequadamente localizadas, concebidas, implantadas, operadas e monitoradas para destinação final dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU).

Nos aterros sanitários, os RSU deverão ser dispostos e compactados de maneira tal que sejam reduzidos ao menor volume possível, a fim de alongar ao máximo a vida útil do aterro, viabilizando a diluição, no tempo, do investimento necessário para sua implantação.

Ainda de acordo com o autor, os aterros sanitários deverão ser concebidos e implantados de modo que os RSU nele dispostos permaneçam confinados, em um ambiente tanto quanto possível estanque. Além disso, devem ser retidos e captados os efluentes líquidos e gasosos, resultantes da decomposição natural ou artificialmente acelerada da parcela orgânica biodegradável dos mesmos resíduos. Uma vez captados, através de um sistema difuso e eficaz de drenagem, esses efluentes são conduzidos para unidades de tratamento, capazes de reduzi-los a formas tais que não se constituam em agentes poluidores, quando finalmente sejam lançados no meio ambiente.

Segundo a Norma Brasileira Registrada - NBR 8419 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1985), o aterro sanitário é uma técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e a segurança, minimizando os impactos ambientais. Método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área disponível e reduzi-lo ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário.

#### 3.7.2 Aterros sanitários manuais

A partir da década de 1980, tendo em vista as peculiaridades das pequenas cidades latino-americanas, desenvolveu-se no Departamento de Antioquia (Medellín), Colômbia, uma série de experimentos de concepção, projeto, implantação e operação de aterros sanitários

relativamente "simplificados", com o emprego alternado de equipamentos mecânicos (quase sempre de pequeno porte, eventualmente adaptados para esta finalidade) e de ferramentas e métodos de trabalho manuais. Tais experimentos foram coroados de êxito, naquele contexto, e posteriormente estendidos a outros países da região, igualmente com bons resultados. Essas experiências resultaram, em 1991, na publicação de um livro sobre o tema <sup>1</sup>, sob o patrocínio da Organização Pan-Americana da Saúde / Organização Mundial da Saúde - OPAS / OMS e de autoria do Engenheiro Sanitarista Jorge Jaramillo, coordenador dos referidos experimentos realizados na Colômbia.

Embora alguns dos conceitos de projeto e manejo dos RSU e de seus efluentes líquidos propostos na referida publicação possam ser considerados controvertidos, à luz dos conhecimentos atuais sobre a matéria, sem dúvida essa alternativa poderá ser útil e utilizável em alguns contextos específicos e em nossa realidade objetiva, particularmente em pequenas comunidades (com até cerca de 5000 habitantes) desprovidas de recursos técnicos e financeiros para a operação adequada de aterros sanitários convencionais, com o uso relativamente intensivo e, principalmente, em caráter continuado de equipamentos mecânicos de médio a grande peso operacional.

Para Velloso (1999), o fundamental é que deve ser tomado, no caso dos aterros sanitários manuais, os mesmos cuidados e procedimentos requeridos para a seleção das áreas para a implantação dos aterros sanitários convencionais. Da mesma forma, deverão ser criteriosamente seguidos todos os passos metodológicos com respeito aos levantamentos e estudos técnicos que irão fornecer ao projetista os subsídios imprescindíveis para a elaboração do projeto. Este, por sua vez, deverá conter todos elementos essenciais que compõe um projeto de aterro sanitário.

Ainda segundo Velloso (1999) a diferença fundamental entre os aterros sanitários manuais e aqueles do tipo "convencional" consistirão no dimensionamento da vida útil do empreendimento, tendo em vista a presumivelmente menor densidade aparente do maciço do aterro, compactado manualmente, por comparação com a densidade aparente mínima nominal de projeto. Nestes últimos, a densidade é da ordem de 0,7 t/m<sup>3</sup>, são relativamente fáceis de serem obtidas com o emprego adequado de equipamentos convencionais de terraplenagem (tratores de esteiras de médio peso operacional, da ordem de 12 a 15 t, trabalhando em rampa), mas de muito difícil obtenção com o emprego de soquetes manuais, mesmo que de forma criteriosa, em camadas de pequena espessura, dada a natureza intrínseca dos resíduos

---

<sup>1</sup> JARAMILLO, Jorge – "Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales". OPAS, PROGRAMA DE SALUD AMBIENTAL, Serie Técnica n.º. 28, 1991.

sólidos urbanos.

Igual diferença terá a quantificação dos recursos a serem empregados na implantação e operação do aterro sanitário manual, com o uso intermitente de equipamentos de terraplenagem (abertura de vias de acesso, implantação de trincheiras ou plataformas para disposição dos RSU, conformação de estoque de solo para recobrimento dos resíduos dispostos, abertura de valetas para drenagem, etc.); e emprego permanente, de forma intensiva, de mão-de-obra, ferramentas e equipamentos manuais, nas atividades de espalhamento, compactação e recobrimento sistemático dos resíduos, bem como no manejo e manutenção gerais do empreendimento como um todo.

A implantação e operação de aterros manuais, também foi tratado com ênfase nos capítulos 3 e 4 da segunda edição do Programa de Pesquisa em Saneamento Básico – PROSAB, com o título “*Projeto, Implantação e Operação de Aterros Sustentáveis de Resíduos Sólidos Urbanos para Municípios de Pequeno Porte*”, (CASTILHOS JUNIOR, 2003)

### 3.7.3 Aterros sanitários com recuperação de energia

Tal como descrito para o aterro sanitário, estes têm sido considerados como grandes bio-reatores, em que ocorrem, geralmente de forma não controladas, diversos e complexos fenômenos físicos e bioquímicos, de cuja ação decorre a geração de efluentes líquidos e gasosos, potencialmente poluentes e causadores de diversos problemas sanitários e ambientais, caso não sejam devida e adequadamente coletados e tratados.

O principal componente do complexo gasoso (biogás) gerado nos aterros e/ou despejos a céu aberto de RSU é o metano ( $\text{CH}_4$ ), gás facilmente inflamável, de elevado teor calorífico e eventualmente explosivo quando em ambientes confinados e em mistura com o oxigênio do ar em proporções favoráveis entre (5% e 15%) de seu volume. Este fato tem feito com que, em diversas situações específicas, os aterros sanitários sejam considerados como importantes fontes energéticas potenciais, cuja adequada exploração poderia contribuir consideravelmente para a amortização dos investimentos necessários para sua instalação e operação. Diversos experimentos e ações práticas foram desenvolvidos nesse sentido, particularmente nos Estados Unidos e a partir do início da década de 1970, quando da primeira crise mundial de suprimento de petróleo (VELLOSO, 1999).

Entretanto, o mesmo autor cita que o próprio desenvolvimento e desdobramento dessas experiências e instalações de recuperação do "biogás" gerado em aterros sanitários

evidenciaram a existência de diversos fatores de inibição de sua geração, capazes de comprometer profundamente seu potencial teórico de exploração, entre os quais a temperatura e o pH da massa do aterro, assim como a presença de substâncias tóxicas (antibióticos, detergentes, ácidos, óleos, metais pesados, etc.) nos RSU, capazes de inibir o processo de sua bio-digestão (anaeróbia) e, conseqüentemente, a metanogênese.

Informa ainda o autor que as pesquisas e experimentos práticos de recirculação controlada do "percolado" pelo maciço de aterros sanitários em aterros celulares, tem-se mostrado como potencialmente capaz de, indiretamente, viabilizar a hipótese de exploração econômica do potencial energético do "biogás" dos mesmos, devido ao fato de que esse procedimento acelera e mantém sob relativo controle as condições do meio, no maciço desses aterros. Assim sendo, justificar-se-ia a montagem da infra-estrutura necessária tanto para promover a extração forçada do complexo gasoso, quanto para possibilitar seu beneficiamento, ou refino, com separação físico-química do metano e queima controlada dos demais componentes gasosos, inaproveitáveis ou nocivos para o fim pretendido.

Uma alternativa, nessa mesma linha de raciocínio, seria o aproveitamento do "biogás" no estado bruto, sem beneficiamento prévio, como fonte de combustível numa unidade de geração de energia elétrica ou térmica adjacente ao próprio aterro.

Evidentemente, deverá ser verificado detalhadamente a demonstração da viabilidade técnica e econômica desse tipo específico de projeto de aterro sanitário que, aliás, muito dificilmente poderá ser obtida em sistemas de pequeno ou, mesmo, de médio porte.

#### 3.7.4 Aterros controlados

São instalações destinadas à disposição de resíduos sólidos urbanos, situados em locais selecionados a partir de critérios técnicos de modo a tornar mínimo seu impacto trágico sobre o meio ambiente, em que os resíduos lançados recebem um recobrimento periódico de terra, confinando-os precariamente e, com isto, reduzindo a proliferação de insetos nocivos e a ocorrência de incêndios. Podem, eventualmente, dispor de sistemas de captação e até de algumas formas de tratamento de percolado e dos gases. Trata-se esta de uma designação bastante genérica, que pode abranger desde instalações muito precárias até aquelas às quais pouco falta para que possam ser enquadradas como aterros sanitários, dependendo, naturalmente, da qualidade de sua instalação e operação (VELLOSO, 1999).

É importante notar, inclusive, que instalações de destinação final de RSU que, até a algum tempo, poderiam ser classificadas como aterros sanitários exemplares, atualmente mal se enquadram nessa ampla categoria dos aterros controlados, devido à má operação e o

caráter progressivamente e restritivo da legislação ambiental quanto às exigências para o projeto, a instalação, a operação e o controle de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Esse rigor da legislação ambiental tem ocorrido em quase todo o mundo, devido à evolução do conhecimento técnico-científico sobre os complexos fenômenos físicos, químicos e biológicos, que ocorrem nesse tipo de instalação e de suas igualmente complexas inter-relações com o meio ambiente, numa amplitude físico-territorial e numa intensidade potencialmente muito grandes.

Entretanto, deve-se ter em conta que, em alguns contextos ambientais menos “sensíveis” e nos quais efetivamente exista uma carência muito significativa de recursos (financeiros e técnicos), tal que torne impossível a implantação e operação sistemática de um aterro sanitário, tal como atualmente definido, um aterro controlado de RSU, operado em conformidade com preceitos já consagrados tecnicamente, certamente deverá ser considerado como uma alternativa de curto a médio prazo para substituição dos tradicionais despejos de resíduo a céu-aberto, com notáveis benefícios sociais, sanitários e ambientais.

De acordo com a NBR 8849 (ABNT, 1985), o aterro controlado é uma 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.

### 3.8 Elementos construtivos de um aterro sanitário

Para que possam, de fato, desempenhar seu papel de instalação de destinação final dos resíduos sólidos urbanos, de forma adequada e eficaz e sem comprometimento do meio ambiente de entorno, em sua acepção mais ampla, os aterros sanitários necessitam dispor de uma série de elementos básicos, essenciais, além de alguns outros de natureza acessória. Esses elementos mencionados pela CETESB (1997), Velloso (1999) e Monteiro (2001) são descritos a seguir.

#### a) Vias de acesso

As vias de acesso externas e internas a área do projeto, devem ser capazes de permitir o trânsito livre e desembaraçado de veículos de carga pesados, ao longo de todo o

ano (inclusive no período de chuvas intensas e frequentes) e desde a zona urbana até a frente de operações do aterro em cada momento. É importante destacar que as vias internas do aterro serão sempre mutáveis, pelo menos em uma importante parcela de sua extensão total, de modo a acompanhar o desenvolvimento físico do aterro ao longo de sua vida útil, sendo necessário prever essa variação periódica de seu traçado já na fase de projeto do aterro.

A pista deve ser executada com revestimento primário, composto por uma camada de solo granular e cascalho, não deve ser admitido material com baixa capacidade suporte, ou seja, de solos orgânicos.

O subleito deve ser executado por uma camada típica com espessura superior a 20 cm e a camada da base com espessura superior a 10 cm, ter uma boa densificação (elevado peso específico aparente) através de compactação suficientemente e enérgica. A drenagem superficial executada considerando-se uma declividade mínima de 0,5% de greide e 1,0 % de abaulamento mínimo da pista e a inclinação longitudinal dos acessos deve ser limitada a 15%.

#### b) Controle de acesso - portaria

A guarita é um elemento importante para abrigar os vigilantes, a quem cabe fazer o controle de acesso a área do aterro, dos veículos que transportam resíduos para disposição e dos visitantes. Nesta unidade também deve ser considerada a instalação de plataforma para a conferência dos resíduos que são conduzidos ao aterro por particulares.

A instalação de cancela, porteira ou portão, é um dispositivo que torna obrigatória a identificação do usuário antes de acessar a área do projeto. Sua localização na entrada da área do aterro, também é recomendada para melhor visualização da aproximação de pessoas ou veículos.

Deverá, além disso, possibilitar condições adequadas de trabalho ao vigilante e ser convenientemente dotada de instalação sanitária, iluminação e ventilação natural. Caso o aterro deva funcionar a noite, deverá ser igualmente dotada de um eficaz sistema de iluminação artificial.

#### c) Cinturão verde

São barreiras de vegetação densa e tem importante capacidade de reter partículas e gases poluentes da atmosfera; as folhas podem absorver gases poluentes e prender partículas sobre sua superfície, especialmente as pequenas, miúdas, pilosas, cerosas ou espinhosas. A direção dos ventos dominantes locais é fundamental para a colocação de barreiras mais largas

e espessas no sentido oposto.

Para atender estes objetivos são utilizadas, geralmente, espécies arbustivas e arbóreas de crescimento rápido, como Sansão-do-campo e Eucalipto, e / ou, de espécies da região com essas características.

Os melhores resultados de plantio são obtidos nos meses de outubro-novembro, que coincidem com o início do período chuvoso. Plantios tardios (em janeiro por exemplo), levam ao atraso no desenvolvimento da planta, cujo resultado somente se estabelece adequadamente no segundo ano. O espaçamento pode variar bastante, e tem relação direta com a espécie plantada.

Para o plantio das mudas de Sanção-do-campo, deve ser formada uma linha próxima da cerca, com espaçamento de 20 cm entre as mudas, que deverão ter no mínimo 20 cm de altura. Já o Eucalipto, recomenda-se o plantio estaqueado e feito os devidos tratamentos culturais em duas linhas, sendo a primeira a uma distância de seis metros da linha do Sanção-do-campo e a segunda a dez metros. Também recomenda-se que as mudas do eucalipto tenham, no mínimo, 30 cm de altura e sejam plantadas com distanciamento de dois metros uma da outra em linha. Para o perfeito desenvolvimento da planta é recomendado que a copa do eucalipto seja conduzida até uma altura de 1,80 m.

Após o plantio, deve-se proceder a adubação e cobertura com terra vegetal, e aos 60 dias adubação química de cobertura na indicação abaixo:

- Sanção do Campo – 20 g/cova. Adubo NPK, fórmula 4:14:8.
- Eucalipto – 25g/cova. Adubo NPK, fórmula 4:14:8.

Ao dar início a atividade de revegetação do perímetro da área, é importante considerar que através deste trabalho, somente se estará fornecendo os ingredientes iniciais necessários para o início de um processo de restauração paisagística da área. A manutenção e a proteção após essa fase estabelecem as condições para que a natureza se encarregue da continuidade do processo.

#### d) Alojamento para o pessoal técnico-operacional

Dotado de escritório, almoxarifado, ferramentaria, instalações sanitárias completas (inclusive chuveiros e vestiários), copa para conservação e aquecimento de refeições, e refeitório. As dimensões de cada uma dessas peças deverão ser definidas em função do número de funcionários técnicos, administrativos e operacionais necessários para o eficaz desenvolvimento das atividades do aterro, e/ou, de outras unidades de tratamento de resíduos eventualmente acopladas àquele. O alojamento poderá ser fisicamente conectado a

guarita de controle, circunstância essa em que poderá ser obtida alguma economia de infraestrutura para ambas.

e) Galpão para guarda e reparos de máquinas

Dotado de instalação sanitária simples e de cômodo fechado para guarda de ferramentas e peças de reposição, e/ou, insumos de uso freqüente. Poderá ser fisicamente acoplado à guarita de controle e/ou ao alojamento

f) Sistema de impermeabilização

Os serviços de impermeabilização inferior do aterro de resíduo domiciliar devem ser iniciados logo após a conclusão da remoção da camada de solo superficial da área operacional e consistem, basicamente, na instalação da manta de polietileno de alta densidade (PEAD) ou na execução de uma camada de argila com coeficiente de permeabilidade inferior a  $10^{-7}$  cm/s e espessura superior a 80 cm, que pode ser substituída pelo terreno natural, desde que com as mesmas características.

g) Sistema de drenagem das águas pluviais

Composto por uma rede de canaletas superficiais, revestidas ou não, acopladas ou não a escadas de dissipação de energia, conforme cada circunstância específica e que envolve progressivamente o perímetro e a frente de operação, em cada etapa, de modo a coletar e promover o escoamento controlado das águas pluviais não diretamente incidentes sobre o aterro.

É muito importante salientar que da eficácia e abrangência desse sistema de drenagem depende fortemente o volume dos líquidos percolados através do aterro e que devem ser convenientemente tratados, fato esse que condiciona muito significativamente tanto o custo de implantação das unidades de tratamento desses efluentes quanto sua eficiência na redução da carga orgânica. Em alguns tipos de aterros sanitários, as canaletas de captação de águas pluviais dispostas em cotas intermediárias são progressivamente incorporadas ao corpo do aterro, passando, eventualmente a integrar o sistema de captação de percolado

h) Sistema de drenagem e tratamento dos gases

A drenagem e controle dos gases provenientes de aterro de resíduos sólidos urbanos consistem na redução das emissões atmosféricas de metano ( $\text{CH}_4$ ) e gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), gerado pela decomposição anaeróbia dos resíduos sólidos aterrados, o que diminui os problemas de odores e minimiza a migração de gases para as áreas vizinhas ao aterro.

Embora o “biogás” gerado nos aterros de RSU tenha composição e taxa de geração bastante variável ao longo do tempo, pode-se defini-lo como uma mistura heterogênea de gases, cujos principais componentes são o metano ( $\text{CH}_4$ ) cerca de 70% do total e o bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) aproximadamente 30% do total, com traços de diversos outros, tais como  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{N}_2$  e  $\text{H}_2$ . O correto controle desses gases gerados evita ainda a ocorrência de incêndios espontâneos que podem se propagar de forma descontrolada e a possibilidade de explosões por carga de pressão na operação de compactação do resíduo.

Na maioria dos aterros sanitários, o sistema de drenagem e tratamento desses gases constitui-se de:

- uma malha de “chaminés” de captação e escoamento, que perpassem verticalmente todo o aterro e dispostas de tal maneira que a distância de cada uma delas até suas vizinhas não exceda 50m, em média;
- queimadores de gases, dispostos diretamente sobre a extremidade superior das “chaminés” de captação, em cada etapa de execução do aterro, e destinados a possibilitar a combustão controlada do “biogás” bruto à medida de sua geração.

Tradicionalmente, essas “chaminés” ou drenos verticais de gases, são conformados com manilhas drenantes de concreto armado (porosas ou, preferivelmente, perfuradas), superpostas umas a outras, à medida do preenchimento do aterro, e preenchidas com brita grossa (nº 3 ou de maior diâmetro específico).

#### i) Sistema de drenagem do percolado

As estruturas de drenagem do percolado juntamente com o sistema de drenagem dos gases, são os elementos do projeto de um aterro sanitário que requerem atenção especial na sua execução, pois seu bom funcionamento é fator determinante para a estabilidade da massa de resíduo, no caso de aterros sanitários verticalizados, além de serem estruturas que têm custos elevados de construção.

Usualmente é composto de uma rede de valas sub-superficiais, preenchidas com material drenante (de forma tal que se evite sua colmatção ao longo do tempo) e dispostas de forma difusa em toda a base do aterro, inclusive, se for o caso, ao longo dos seus taludes

intermediários, de modo a captar e conduzir para o correspondente sistema de tratamento, todos os líquidos efluentes da massa de resíduos aterrados.

A implantação do sistema de drenagem dos efluentes líquidos dos aterros sanitários é, quase sempre, feita de maneira progressiva, à medida do avanço efetivo da frente de operação do mesmo.

#### j) Sistema de tratamento do percolado

O percolado é resultante da degradação do material orgânico mais a infiltração das águas da chuva na massa de resíduo, sendo em geral, o subproduto mais perigoso dos aterros sanitários, pois carrega metais e amônia em altas concentrações para os lençóis freáticos, contaminando o solo e as águas vizinhas.

Diversos são os sistemas de tratamento do percolado de um aterro sanitário, sendo, entretanto, o mais utilizado as lagoas de estabilização. Outros sistemas mais ou menos sofisticados também podem ser empregados quando da concepção do projeto, sendo, essencial que sejam efetivamente capazes de reduzir a carga orgânica dos mesmos à níveis tais, que possibilitem seu lançamento na natureza em condições adequadas, para que não se constituam em uma nova fonte de degradação ambiental.

#### l) Monitoramento do lençol freático

Nos projetos de aterro sanitário, considera-se necessário o monitoramento das águas do lençol freático. Esse procedimento deve ser realizado através de análises físico-químicas e bacteriológicas, em períodos pré-determinados, geralmente a intervalos de seis meses. Para realizar esse monitoramento é recomendada a instalação de um poço à montante da área do aterro (parte mais alta) e três ou mais poços a jusante (parte mais baixa), e estrategicamente locado na direção do fluxo do lençol freático. Esses poços devem ser executados em conformidade com as recomendações da NBR 13.895 (ABNT, 1997).

As análises destes parâmetros devem ser realizadas conforme é recomendado pelo Standart Methods for the Examination of water and Wastewater, comparando os valores encontrados para as amostras de água do poço de montante com os valores encontrados nos poços de jusante.

O sistema de monitoramento tem o papel de acusar poluição e contaminação de uma determinada fonte de poluição na qualidade da água subterrânea. A localização estratégica e a construção racional dos poços de monitoramento, aliadas a eficiência da coleta,

acondicionamento e análise das amostras, permitem resultados precisos sobre a influência do método de disposição dos resíduos, na qualidade da água subterrânea.

m) Proteção dos taludes

A ocorrência de um processo erosivo depende da natureza do solo, de sua permeabilidade, de sua inclinação e de como se encontra a cobertura vegetal. A declividade das rampas (taludes) nos projetos de aterro sanitário é geralmente de 30% e a cobertura vegetal passa a ser um elemento de grande importância na estabilização desses taludes. As espécies vegetais das gramíneas são as mais indicadas para essa cobertura. As mais adequadas são as mais rústicas. Atualmente utiliza-se a grama-esmeralda em tapete (*Zoysia japonica* Steud), pela facilidade e praticidade no plantio e outras como a *Poa annua* e a *Lolium perenne* (Poá anual e Raiz grã perene). Também é indicado o plantio de *Brachiara decumbens* ou *Brachiara humidicola*, capins de baixa exigência de fertilidade do solo.

n) Jazida de material de recobrimento

Preferivelmente situada no interior da gleba em que se localiza o aterro, ou em sua proximidade imediata. É muito importante ter-se em vista que o material a ser utilizado no recobrimento das “células” diárias de resíduo compactado, além de ser consumido em relativamente grande quantidade, deverá possuir características qualitativas tais que possibilitem a conformação de uma capa suficientemente consistente, relativamente resistente à lixiviação pelas águas pluviais e relativamente impermeáveis.

Em princípio, os solos do tipo argilo-arenoso, desde que não excessivamente expansivos, mostram-se adequados para esse fim. Em circunstâncias especiais, entulhos de construção do grupo “A”, finos de minérios sem valor comercial, e/ou, escórias (desde que quimicamente inertes, e/ou, não poluentes) poderão ser utilizados como materiais de recobrimento em aterros sanitários, isoladamente ou em composições com solos naturais.

o) Valas especiais

São aquelas destinadas para aterramento de animais mortos (de médio e grande porte) e outros resíduos volumosos, cuja disposição possa causar problemas de natureza sanitária ou operacional. Embora tais questões devam ser levadas em consideração, mesmo na busca de soluções “técnicas” para problemas objetivos, é importante que se tenha em conta

suas implicações na rotina operacional de uma instalação relativamente complexa como um aterro sanitário.

Para deposição desses objetos volumosos, tais como pneus de veículos, móveis e grandes eletrodomésticos imprestáveis, assim como outros resíduos que, por suas características físicas, possam causar transtornos a operação do aterro sanitário. A partir de sua estocagem ordenada, pode-se proceder o reaproveitamento parcial, ou a desagregação em peças de menor dimensão, de forma a possibilitar a destinação final em condições adequadas no aterro.

#### p) Balança rodoviária

Preferencialmente deve ser localizada junto à guarita de controle de acesso a área do projeto, ter capacidade de medição compatível com o peso total dos caminhões coletores utilizados, com carga plena. Embora não possa ser considerada absolutamente essencial, trata-se de um elemento de extrema importância para o controle da operação e da vida útil do aterro.

Geralmente uma balança de boa qualidade deve apresentar as seguintes características técnicas:

- fabricada com materiais normatizados e com controle de qualidade obrigatório e de procedência certificada dentro de normas internacionalmente aceitas e reconhecidas;
- totalmente eletrônica e livre de quaisquer componentes mecânicos móveis;
- ponte de pesagem apoiada diretamente sobre células de carga;
- pista de rolagem do veículo em concreto armado;
- não possui sistema redutor mecânico, conseqüentemente não possui cutelos e coxins;
- sistema de leitura por indicador digital;
- sistema de impressão por impressora de impacto, com colunas de tíquetes, formulários e/ou relatórios;
- sistema de gerenciamento por controlador eletrônico de operações;
- sistema de informações controlado por Micro-computador.

Além das características citadas, deve-se contemplar os custos envolvidos incluindo-se os de instalação e manutenção pelo período da garantia ofertada. Um bom equipamento deve assegurar uma garantia de no mínimo cinco anos.

q) Pátio de compostagem

Destinado ao processamento de resíduos orgânicos diversos, resíduos da poda de grama, da arborização urbana, de estrume bovino, etc., através da compostagem natural controlada. Quanto maior for a taxa de reaproveitamento dos resíduos sólidos orgânicos gerados no ambiente urbano, através de sua transformação em fertilizante orgânico, menor será a geração de “percolado” no aterro sanitário e, conseqüentemente, seu potencial de poluição ambiental.

Apesar de não se constituir propriamente num elemento prioritário do aterro sanitário, o pátio de compostagem, desde que adequadamente operado, tem um papel extremamente importante a desempenhar na produção de adubo orgânico para suprir a demanda do município na formação de praças e outros parques municipais de lazer, gerando a redução de gastos com adubação química. Sua localização junto ao projeto do aterro sanitário, facilita tanto no transporte dos resíduos para um único local, quanto a disposição final dos rejeitos gerados no processo de compostagem

r) Área de estoque de materiais

Plataforma para deposição e armazenamento de materiais como: pedra maroadada, tubos, cascalho, solo de recobrimento, etc. A partir de sua estocagem ordenada na área, poder-se-á proceder a sua utilização em tempo hábil, sempre que for necessário, evitando futuros problemas de descontinuidade operacionais do projeto, prejudicando a execução de novas frentes de destinação em condições adequadas do resíduo urbano no aterro.

s) Sistema de vigilância

Para que o projeto cumpra de fato sua função social de disposição dos Resíduos Sólidos Urbanos - RSU, há necessidade de estabelecer o controlar ao acesso de pessoas (visitantes) e da presença de animais domésticos. Isto é possível com a formação da patrulha de vigilantes em regime de 24:00 horas, que percorrendo toda área, auxilia ainda na identificação de eventuais problemas no entorno de campo, que tem influência direta e indireta com o projeto.

No Quadro 1 encontra-se apresentada a síntese dos elementos de um aterro sanitário e as funções desempenhadas por cada uma, na planta de destinação de resíduos sólidos urbanos, de forma adequada e eficaz.

Quadro 1: Síntese dos elementos de um aterro sanitário e suas funções

INFRA – ESTRUTURA	FUNÇÃO
Vias de acesso	Facilitar o transporte dos resíduos, de modo seguro com a utilização de cascalho, piçarras ou brita.
Estruturas de controle: - cerca e cinturão verde; - controle de acesso - portaria; - administração, almoxarifado, refeitório, vestiário, galpão; - redes de água, de esgoto, elétrica, telefônica.	Possibilitar o controle a fim de impedir o acesso de pessoas não autorizadas, além de oferecer condições sanitárias aos trabalhadores e permitir o funcionamento adequado das etapas operacionais, tais como a entrada e a saída de veículos e o tipo de resíduo a ser recebido. Permitir o abrigo de equipamentos e reparos de pequena complexidade em máquinas.
Sistema de drenagem: – dreno de gases – DG; – dreno de águas pluviais – DAP; – dreno de percolado – DP.	DG - Reduzir o odor decorrente da decomposição biológica anaeróbia da matéria orgânica presente no resíduo. DAP – Permitir o funcionamento adequado do projeto sem comprometimento das etapas operacionais previstas no mesmo. DP – Evitar a contaminação e/ou poluição pela infiltração dos percolados “percolado” em quantidades agressivas e comprometedoras no solo e nos mananciais superficiais e subterrâneos.
Sistema de impermeabilização.	Impermeabilizar a área que receberá o material (resíduo sólido urbano), de modo a configurar o desenvolvimento seguro das etapas executivas, sem comprometimento do solo e dos aquíferos existentes.
Monitoramento do lençol freático	Considerada a necessário a instalação de poços de monitoramento ambiental da área, especificamente da qualidade das águas do subsolo.
Sistema de tratamento do percolado	Tratar os resíduos líquidos (percolado), transportados pelos drenos de percolados, dispondo-os em lagoas de tratamento e ou a recirculação após o tratamento ou no estado bruto na massa aterrada.
Jazida de material de recobrimento	Manter reserva de material a ser utilizado no recobrimento das “células” diárias de resíduo compactado e no fechamento ou encerramento do aterro.
Valas especiais	Para enterramento de animais mortos (de médio e grande porte) e resíduos sépticos, cuja disposição no aterro, juntamente com os demais resíduos sólidos urbanos, possa causar problemas de natureza sanitária ou operacional.
Componentes acessórios: – balança rodoviária; – pátio de compostagem; – área de estoque de materiais.	Para pesagem dos veículos coletores de resíduos, processamento de resíduos orgânicos diversos, deposição de objetos volumosos, que por suas características físicas, possam causar transtornos à operação do aterro sanitário e estoque de materiais de construção do aterro.
Sistema de vigilância	Manter a segurança do local e impedir a entrada de pessoas não autorizadas.

Fonte: Adaptado de CETESB (1997), Velloso (1999) e Monteiro (2001)

### 3.9 Equipamentos utilizados na implantação e operação de aterros sanitários

Trabalhar com equipamentos mais modernos que apresentam características operacionais versáteis com alto rendimento operacional, elevado índice de produtividade e autonomia, menor consumo de combustível e de fácil manutenção, é indispensável para a redução de custos e ganhos na qualidade da operação do projeto.

#### 3.9.1 Escolha dos equipamentos utilizados na operação dos aterros sanitários

De acordo com Lima (2005), um bom dimensionamento dos equipamentos a serem empregados na construção e operação de aterros sanitários, constitui um dos fatores mais importantes na sua execução. Os gastos despendidos com equipamentos constituem um grande investimento inicial de capital, portanto, a sua seleção deverá ser baseada em uma cuidadosa apreciação das funções, características e habilidades das várias máquinas disponíveis para suprir as necessidades do projeto. A escolha dos equipamentos e dispositivos complementares deve ser orientada por diversos elementos intervenientes, entre os quais, cita:

- quantidade e tipo de resíduos sólidos a serem aterrados;
- grau de compactação projetado;
- características topográficas e geológicas do solo;
- proximidade de corpos aquáticos superficiais e subterrâneos;
- localização da jazida de solo e volume que será usado para cobertura; e
- características dos equipamentos da Estação de Tratamento de Percolado.

Ainda segundo o autor, na operação de um aterro sanitário pode-se classificar os equipamentos em cinco categorias funcionais:

- equipamentos destinados a operar resíduos sólidos;
- equipamentos destinados a operar material de cobertura;
- equipamentos destinados a operações secundárias e de manutenção;
- equipamentos que podem ser empregados nas três funções anteriores; e
- equipamentos e instrumentos destinados a operar na estação de tratamento.

### 3.9.2 Principais características dos equipamentos de operação dos aterros sanitários

Os principais tipos de equipamentos que são empregados na operação de um aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos, bem como, as suas características principais segundo Lima (2005) são:

- balanças eletrônicas;
- retro escavadeira hidráulica tipo "poclains";
- trator sobre esteiras;
- trator sobre pneus;
- carregadeira sobre esteira;
- carregadeira sobre pneus;
- "scrapers" auto-carregáveis;
- "scrapers" rebocáveis;
- compactadores para aterros sanitários;
- caminhões pipas;
- caminhões basculantes;
- caminhões de comboio - lubrificação.

Estes podem ser divididos em duas principais categorias de equipamentos, que normalmente são utilizados em aterros sanitários: equipamentos permanentes e equipamentos temporários.

#### 3.9.2.1 Equipamentos permanentes

São os equipamentos utilizados diuturnamente, não saem do aterro e geralmente são guardados em galpões no empreendimento, com a devida manutenção preventiva e corretiva (LIMA, 2005). Pode-se considerar como equipamentos permanentes:

- trator sobre esteiras;
- pá-carregadeiras sobre rodas ou sobre esteiras;
- caminhão basculante;
- retroescavadeiras hidráulicas;
- máquinas compactadoras especialmente projetadas para resíduos sólidos;
- "scrapers" auto-carregáveis;
- "scrapers" rebocáveis; e
- outros.

### a) Tratores sobre esteiras

Os tratores sobre esteiras são usados especialmente para empurrar o resíduo sobre a frente de trabalho, compactando-o. Este equipamento também pode ser utilizado para o espalhamento de material de cobertura e sua compactação, além de executar outros serviços como cortar barrancos, remover pequenas elevações do terreno, preencher pequenas depressões do terreno utilizando índices de compactação adequados, rebocar ou empurrar "scrapers", derrubar árvores, remover vegetação, abrir vias de acesso, desatolar veículos em dias chuvosos, tornando com isto, um equipamento de grande versatilidade e por isto mesmo de extrema importância na operação de um aterro sanitário (LIMA, 2005).

Para empurrar o resíduo, o trator deve ser equipado com uma lâmina especial do tipo "Balderson", lâmina U ou equivalente (curva de maior altura que a usada para cortar e empurrar terra) com a parte superior vazada. O Quadro 2 mostra alguns dados recentes em relação aos tratores sobre esteiras mais comumente utilizados, em aterros sanitários.

Quadro 2: Critério para a especificação de trator sobre esteira utilizado em aterro sanitário

Máquina	HP	Peso (Kg)	Produção	
			t/h (resíduo)	m <sup>3</sup> /h (Jazida)
Trator sobre esteiras	70	8.700	35	120
	140	14.250	70	235
	200	20.230	135	450
	300	32.397	170	570

Fonte: Catterpíllar ES apud Lima (2005)

Segundo o autor, os valores acima somente devem ser assumidos para trabalhos exclusivos com o resíduo e a cobertura diária com jazida de terra não distante mais de 90 m da frente de operação. Caso tenha que utilizar o equipamento para cobertura diária com jazida de terra superior a 90 m da frente de trabalho e outros afazeres, deverá ser calculada uma nova produção.

Lima (2005) ainda destaca que em outros países, é comum a utilização de equipamentos especiais para a compactação de resíduos. São equipamentos que, em vez de esteiras, movimentam-se sobre rolos e compactam os resíduos com grande eficiência. Entretanto, apresentam algumas desvantagens que inviabilizam a sua utilização no Brasil, podendo-se citar:

- ineficiência na compactação dos resíduos em rampas (para formar as células),

trabalhando melhor em superfícies horizontais;

- uso específico na compactação dos resíduos, não podendo ser utilizados no corte de terra, abertura de estradas e drenos e atividades similares;
- preço muito elevado, pois são importados.

Com relação às tarefas básicas a serem executadas pelo trator, pode-se adotar os seguintes critérios:

- operação tipo I: o trator de esteiras efetua somente o manuseio e a compactação do resíduo, mais o espalhamento de terra e a cobertura, adotando-se um adicional de tempo de operação de 30% para serviços diversos (melhoria de acessos, desencalhe de caminhões, arraste de materiais e outros serviços);
- operação tipo II: idem à operação tipo I, mais corte de terra, a uma distancia de transporte do material máxima de 60 m, para uso na cobertura do resíduo.

O Quadro 3 mostra a forma de indicação para uma pré-seleção do trator mais adequado a operação de um aterro sanitário, em função da qualidade de resíduos a serem dispostos diariamente.

Quadro 3: Critério para a seleção de trator de esteira

Tipo de Operação	Quantidade de resíduo (t / dia)		Trator indicado uma unidade (Potência em HP)
Tipo I	Até	50	40 a 50
	Até	250	70 a 90
	Até	500	140 a 160
Tipo II	Até	30	40 a 50
	Até	150	70 a 90
	Até	300	140 a 160

Fonte: Lima (2005)

Lima (2005) destaca ainda que no dimensionamento do equipamento a ser utilizado, não se deve adotar duas máquinas pequenas ao invés de uma única máquina grande. O custo de operação das duas pequenas é superior ao de uma única máquina de igual capacidade, que produz mais e com rendimento superior.

#### b) Carregadeiras sobre esteiras

As carregadeiras sobre esteiras são utilizadas para escavar o solo e carregar

caminhões basculantes que irão carregar o solo. Pode ser utilizado em pequenos aterros para transportar economicamente material de cobertura até distâncias de 100 m, espalhar o resíduo e material de cobertura e também aplinar o terreno e cortar barrancos. Normalmente sua utilização principal é na escavação do solo para ser transportado por caminhões basculantes (LIMA, 2005). No Quadro 4 são apresentadas as especificações de carregadeiras sobre esteiras.

Quadro 4: Critérios para a especificação de carregadeira de esteira

HP	80	130	190	276
RPM	2.000	2.185	1.950	2.060
Peso (t)	11,5	15	20,5	23,5

Fonte: Catterpillar ES apud Lima (2005)

#### c) Carregadeiras sobre pneus

Esse tipo de equipamento apresenta algumas características importantes que poderão ser usados em pequenos aterros sanitários. Estas máquinas com tração de pneus são utilizadas em casos onde a mobilidade é fundamental. Em virtude de sua grande velocidade, essas máquinas podem fornecer economicamente material de cobertura à distância entre 220 m a 300 m (LIMA, 2005).

Devem ser especificadas nas operações de aterros sanitários que geram uma quantidade pequena de resíduos sólidos e só devem ser usados após um bom dimensionamento e análise das características locais. No Quadro 5 encontram-se apresentadas as especificações técnicas das carregadeiras sobre pneus.

Quadro 5: Critérios para a especificação de carregadeira sobre de pneu.

HP	100	170
RPM	2.200	2.200
Peso (t)	9,6	16,6

Fonte: Catterpillar apud Lima (2005)

Todas as carregadeiras de rodas (pneus) usadas em trabalhos de aterro devem estar equipadas com pneus para rochas ou pneus especiais para rochas ou ainda pneus especiais para aterro sanitário, a fim de reduzir falhas prematuras causada por furos. Juntas protetoras de aço, sob a banda de rodagem, desviam objetos que, caso contrário, poderiam

penetrar no pneu (LIMA, 2005). No Quadro 6 são apresentadas as características de produção de pás-carregadeiras de rodas fabricadas no Brasil, no corte e transporte de terra.

Quadro 6: Características de produção de pás-carregadeiras de rodas fabricadas no Brasil.

Potência da Pá-Carregadeira (HP)	Distância de percurso <sup>(1)</sup> (m)	Tempo de Ciclo <sup>(2)</sup> (min.)	Produção <sup>(3)</sup> (m <sup>cc</sup> /h)
100 HP	0	0,48	89
	20	0,68	63
	50	0,94	45
	80	1,18	36
170 HP	0	0,48	155
	20	0,68	96
	50	0,94	70
	80	1,18	56

Fonte: Catterpillar apud Lima (2005)

(1) - Distância de percurso em um sentido de direção.

(2) - Tempo de percurso + 0,48 min.

(3) - Carga da caçamba: 1,00 mcc (máquina de 100HP) e

1,75 mcc (máquina de 170 HP);

m<sup>cc</sup> = metro cúbico no corte.

#### d) Trator sobre pneus

Geralmente estas máquinas são utilizadas em aterros sanitários para rebocar outros equipamentos, tais como caminhões basculantes, "scrapers" e outros. Quando estas máquinas são utilizadas em percursos sobre o resíduo, na frente de trabalho devem ser equipadas com pneus especiais protegidos por fita de aço ou pneus do tipo "extra deep tread" para rochas a fim de se conseguir uma vida útil mais longa, uma vez que nessa aplicação os pneus ficam sujeitos a cortes e perfurações constantes. Como a aderência dos pneus ao solo é muito inferior a da esteira, ele não pode desenvolver grande força de tração (LIMA, 2005).

#### e) Scrapers Auto - Carregáveis

Geralmente estas máquinas só são utilizadas em grandes aterros sanitários ou em projetos que apresentem características que o exigem. São transportadoras de alta velocidade e de grande volume de material de cobertura que requer o transporte a distâncias entre 300 e 1000 metros. Os "scrapers", usados nos serviços de aterro sanitário, devem ter capacidade para transportar de 4 m<sup>3</sup> a 9 m<sup>3</sup> de terra compactada, isto é, nas condições normais de operação e até mesmo em condições adversas (LIMA, 2005). São geralmente utilizados "scrapers" com as seguintes especificações:

- peso estático: 26 t;
- capacidade da caçamba: 8,4m<sup>3</sup>;
- velocidade máxima: 42,2 km/h;
- potência: 150 HP.

Ainda segundo o autor, existem a "scrapers" com uma maior capacidade de carga, em caçambas metálicas que chegam a transportar até 30 m<sup>3</sup> de material para grandes distâncias. No Brasil não são comumente usados, tendo o seu uso mais difundido em alguns países da Europa e da América do Norte.

#### f) Poclains

Segundo Lima (2005), as escovadeiras hidráulicas tipo poclains são na atualidade um dos equipamentos mais utilizados na operação e manutenção de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos, devido as suas características técnicas de produtividade, desempenho e alta capacidade de trabalho, proporcionados pela sua versatilidade. Este tipo de equipamento se torna quase que indispensável na operação de um aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos, embora para cada projeto se faça necessário estudo para a alocação dos equipamentos adequados a uma boa operação e manutenção.

#### g) Caminhões basculantes

Os caminhões basculantes são utilizados para o transporte de materiais diversos, necessários nas várias atividades desenvolvidas nos aterros, como terra de cobertura, pedras, tubos e materiais de construção em geral. Quando a jazida de terra fica distante da frente de operação torna-se inviável o transporte pela própria pá-carregadeira, sendo necessária a utilização desses caminhões.

Nos aterros de pequenas dimensões, costuma-se fazer um estoque desses materiais de consumo próximo aos locais onde serão utilizados, dispensando-se, em seguida, os equipamentos.

Nos grandes aterros, a movimentação de materiais e as distâncias a serem percorridas também são grandes, tornando-se indispensável à permanência constante desses equipamentos. No Quadro 7 encontra-se apresentada as características dos caminhões basculantes nacionais de uma marca específica com suas capacidade de produção fabricadas no Brasil, no transporte de terra.

Quadro 7: Características do caminhão basculante de uma marca fabricada no Brasil.

Caminhões comerciais (modelo)	Capacidade de carga na caçamba (m³)	Tipo da carroceria do veículo	Eixos traseiros	Potência do motor (cv)
Leves	4,00	Basculantes	Toco	115 a 150
Médios	6,00	Basculantes	Toco	195
Semipesados	9,00	Basculantes	Truck	211
Pesados	12,00	Basculantes	Truck	279
Extrapesados	18,00	Basculantes	Truck	279

Fonte: Mercedes-benz do Brasil (2006)

### 3.9.2.2 Equipamentos temporários

São considerados equipamentos temporários aqueles que irão ajudar na implantação do projeto e quando da sua operação são solicitados periodicamente (LIMA, 2005). Nesses casos executam serviços esporádicos com prazos de execução definidos. Como máquinas temporárias, cita-se:

- motoniveladora;
- rolo compactador;
- comboio de lubrificação;
- caminhão pipa; e
- outros.

### 3.10 Fatores que influenciam na movimentação de solo e custo do projeto de aterro sanitário

A seguir são relacionados diferentes fatores e elementos que devem ser considerados na implantação de um aterro sanitário que influenciam na composição dos custos de implantação da obra segundo (MATOS 1996).

#### a) locação da obra

A locação tem como parâmetro o projeto de implantação das unidades do aterro sanitário e seus edifícios. O projeto de implantação deve estar referenciado a partir de um ponto conhecido e previamente definido.

É comum ter-se como referência os seguintes pontos:

- um ponto deixado pelo topógrafo quando da medição do terreno;
- uma lateral do terreno.

A materialização da demarcação poderá ser realizada totalmente com o auxílio de aparelhos topográficos (teodolito e nível). O processo topográfico é utilizado principalmente por tratar-se de obra de alto impacto e qualquer erro pode comprometer o ambiente. Nos casos de obras de pequena extensão (aterro controlado), é comum o emprego dos procedimentos "manuais" (trena e mangueira de nível). Em qualquer caso, porém, a materialização da demarcação exigirá um elemento auxiliar que poderá ser constituído por simples piquetes.

#### b) Movimento de terra

O movimento de terra é o principal fator de implantação de um aterro sanitário. Na movimentação de terra tem-se uma das seguintes situações:

- corte;
- aterro;
- corte e aterro.

A primeira situação geralmente é a mais desejável uma vez que minimiza os possíveis problemas de recalque e desmoronamento que possam vir a ocorrer ao longo da vida do projeto. Nos casos em que seja necessária a execução de aterros, deve-se tomar cuidado com a compactação do terreno.

A escolha dos equipamentos para uso em escavações deve ser feita de forma criteriosa, observando o perfil litológico do solo para que se tenha maior produtividade. Os equipamentos normalmente utilizados são:

- pá-carregadeira (sobre pneus, sobre esteiras);
- escavo-carregadeira (sobre pneus, sobre esteiras);
- trator de esteira.

Para transporte do solo são utilizados em geral, os caminhões basculantes toco, cuja capacidade da caçamba é bastante variável, sendo as mais comuns as de 6,0 a 12,0 m<sup>3</sup>. Para compactação, utiliza-se rolo compactador pé de cabra e rolo compactador liso.

#### c) Dimensionamento dos Serviços

O número de máquinas a serem empregadas para a execução dos serviços é função do tempo que se deseja executar a obra e por sua vez, depende:

- da produtividade da máquina;
- do tempo de ciclo do caminhão, que é função do local do "bota-fora";

- do horário de realização do serviço.

O número ideal de caminhões deve ser dimensionado para que a máquina de escavação não permaneça parada e, também, de modo que não haja caminhões esperando na fila.

#### d) Controle do Serviço

Devem ser controladas as seguintes atividades:

- cota de escavação, declividade do talude e do fundo, que pode ser feita através de teodolito ou mangueira de nível, com o auxílio de estacas ou piquetes;
- controle de compactação, através de ensaio de “Proctor Normal<sup>2</sup> – P.N”.

#### e) Sistemas de contratação dos serviços

A contratação dos serviços de movimento de terra pode se dar por:

- **Empreitada global:** nesta modalidade contrata-se uma empresa especializada neste tipo de serviço, a qual é remunerada pelo todo, isto é, pelo conjunto total dos serviços (escavação e transporte do material);
- **Aluguel de equipamentos:** neste tipo de contratação, paga-se à máquina de escavação por hora e os caminhões para a retirada do solo, por viagem. Nesta contratação existe a dificuldade de controle da duração dos serviços. De modo geral, o serviço ocorre de maneira lenta, uma vez que ganhando por hora os operadores não têm pressa. Além disto, é necessário que o volume dos caminhões seja controlado, pois é comum haver o interesse de se levar menos material do que a capacidade do caminhão, para que se façam mais viagens;
- **Empreitada por viagem:** neste caso a remuneração pelo serviço é feita por caminhão retirado (volume retirado), estando o aluguel da máquina incluso no preço da viagem. Também neste tipo de contrato deve-se tomar cuidado com os caminhões mal cheios, havendo a necessidade de se registrar o número de viagens.

Para a contratação desses serviços, é necessário que se faça uma avaliação do volume de solo a ser escavado. E para isto, é necessário que se tenham os dados da topografia

---

<sup>2</sup> Método para determinar a relação entre o teor de umidade e a massa específica aparente seca de solos quando compactados. Ensaio de compactação, NBR 7182 (ABNT, 1980).

do terreno e a cota da escavação. Ainda deve-se conhecer o tipo de solo, e o fator de empolamento do material. Cabe observar que na terceirização desses serviços, está incluído o risco do empreiteiro, isto é, no preço contratado está embutido um risco devido os dias parados em função de possíveis causas que impeçam a continuação dos trabalhos (chuvas intensas, por exemplo).

#### f) Fator de empolamento

A execução desses serviços, geralmente resulta em grandes movimentações de solo, requerendo, portanto, todo discernimento na escolha dos equipamentos utilizados na implantação e operação de um aterro sanitário. Para tanto, é necessário ter conhecimento do tipo de solo e o "fator de empolamento"<sup>3</sup>, como ilustra o Quadro 8.

Quadro 8: Influência do fator de empolamento na remoção de solo

Tipo de solo		Estado do solo	Fator de empolamento	
Areia	Natural	1,00	1,11	0,95
	Solta	0,90	1,00	0,86
	Compactada	1,05	1,17	1,00
Argila	Natural	1,00	1,43	0,90
	Solta	0,70	1,00	0,63
	Compactada	1,11	1,59	1,00
Estado do solo		Natural	Solta	Compactada

Fonte: MATOS, notas de aula (1996)

A execução dessas obras requer a realização dos serviços de desmatamento, destocamento e limpeza da área. Nas operações de escavação do terreno, requer ainda o conhecimento do perfil do solo, podendo ser encontradas situações antagônicas na execução da obra e que resulta no uso de procedimentos "mais ou menos" trabalhosas. Nessas operações de escavação podem ser encontrados solos com alterações rochosas, rochas ou associação desses tipos, em três categorias descritas a seguir:

- **material de 1ª categoria** - compreende os solos em geral, residual ou sedimentar seixos rolado ou não, com diâmetro máximo inferior a 0,15 m, qualquer que seja o teor da umidade apresentado;
- **material de 2ª categoria** - compreende os de resistência ao desmonte mecânico inferior à rocha não alterada, cuja extração se processe por combinação de métodos que obriguem a utilização do maior equipamento de escarificação exigido contratualmente; a extração eventualmente poderá

<sup>3</sup> Aumento do volume ocupado pelo material, a medida que se fragmenta ou se desagrega, em relação a um estado anterior de maior adensamento.

envolver o uso de explosivos ou processo manual adequado. Incluídos nesta classificação os blocos de rocha, de volume inferior a 2 m<sup>3</sup> e os matacões ou pedras de diâmetro médio entre 0,15 m e 1,00 m;

- **material de 3ª categoria** - compreende os de resistência ao desmonte mecânico equivalente á rocha não alterada e blocos de rocha, com diâmetro médio superior a 1,00 m ou de volume igual ou superior a 2 m<sup>3</sup>, cuja extração e redução, a fim de possibilitar o carregamento se processem com o emprego contínuo de explosivos.

As situações onde se encontra material de 2ª e 3ª categoria devem ser evitadas na fase da escolha da área “local de implantação do projeto”, através dos estudos geotécnicos e perfil litológico do solo.

### 3.11 Custos dos sistemas de gestão integrada dos serviços de limpeza pública

As regras que influenciam nos custos dos sistemas de limpeza pública e destinação final dos resíduos sólidos urbanos são dinâmicas e não pode e não deve tornar-se um sistema estático. A especificidade de cada município (população, quantidade de resíduo urbano produzida, a modalidade do projeto de destinação etc), indica que não é tarefa fácil, estabelecer os custos reais desses serviços. Essas questões foram mencionadas por Velloso (1999) e Monteiro (2001). Uma síntese desses comentários será mostrada a seguir.

Há um conceito geral que em média 10% do orçamento anual dos municípios sejam destinados ao sistema de limpeza pública de uma cidade, variando, portanto, de 5% a 15% e que dessa quantia investida, em média 30% são gastos com a disposição final. Os recursos gastos com a destinação final são determinados em função da quantidade de resíduo produzido, grau de qualidade da operação do projeto e sua modalidade. Esses custos são influenciados ainda por:

- salários praticados na região, quantidade de funcionários e diferentes funções existentes (supervisor, encarregado, ajudante geral, motorista, operador de máquina, mecânico, e outros);
- qualificação dos operários e motivação para o desempenho da função;
- uniformes e equipamentos de segurança individuais (EPI's) disponibilizados;
- quem executa os serviços (prefeitura ou empresa contratada);
- quantidade e tipo de equipamentos existentes (veículos, máquinas utilizadas e ano de fabricação, capacidade operacional, regularidade da manutenção, etc.)
- frequência (diária, alternada ou periódica) e periodicidade utilizada nos serviços (diurna e noturna, ou tempo integral);

Especificamente para a implantação e operação de um aterro sanitário, interfere nos custo um grande número de variáveis, que é função das características específicas da gleba escolhida (topografia, natureza do solo, etc.), do projeto desenvolvido (vias de acesso internas, obras de contenção necessárias, volume de terraplenagem, maior ou menor complexidade do sistema de tratamento de efluentes líquidos proposto, obras indispensáveis de drenagem pluvial, etc.).

Estudos de custos apresentados por Lima (2003) para uma cidade de 100.000 habitantes mostrada do Quadro 9, como base para a construção de outros estudos, também mostra que o percentual gasto com a disposição final do resíduo urbano é de 17,75% dos custos mensais de todo serviço, devendo, portanto, cada cidade ter sua própria disciplina de composição desses custos.

Quadro 9: Custos de referência de alguns serviços da limpeza pública para uma cidade de cem mil habitantes

Descrição da atividade	Unidades	Quantidade	Preços - (R\$)		
			Unitário	Mensal	Global
Coleta e transporte dos resíduos sólidos regulares	Toneladas por mês (t/mês)	1.200	23,16	55.596,00	3.335.760,00
Varrição manual	Metros lineares de sarjeta por mês (km/sarj./m)	2.045.250	0,00788	32.253,59	1.935.215,70
Varrição mecanizada	Quilômetros lineares de sarjeta por (km/sarj./m)	209,25	14,88	6.227,28	373.636,80
Capinação química	Metro quadrado por mês (m <sup>2</sup> /mês)	209,625	0,0129	7.498,12	449.887,50
Coleta e transporte dos resíduos sólidos através de contêineres	Toneladas por mês (t/mês)	116,40	21,00	4.888,80	293.328,00
Coleta e transporte dos resíduos hospitalares	Toneladas por mês (t/mês)	5	219,00	2.190,05	131.403,00
<b>Desativação de lixão, projeto, implantação de aterro sanitário</b>	<b>Toneladas por mês (t/mês)</b>	<b>1.408</b>	<b>9,43</b>	<b>26.568,96</b>	<b>1.594.137,60</b>
Equipe de educação ambiental	Equipe padrão	1	6.895,11	6.895,11	413.706,60
Incineração dos resíduos sólidos oriundos dos sistemas de saúde	Toneladas por mês (t/mês)	5	755,79	7.557,90	453.474,00
Total geral				149.635,82	8.980.459,20

Fonte: Lima (2003)

Certamente essa pesquisa leva a seguinte hipótese que: para a obtenção dos custos é necessário todo o levantamento desses dados e do conhecimento profundo do planejamento e modelo adotado. Fazer a comparação de custos e preços entre municípios, tendo como parâmetro somente populações e a produção diária de resíduo poderá resultar na obtenção de valores não reais.

## 4. METODOLOGIA

### 4.1 Introdução

O estudo dos elementos requeridos para implantação, operação e monitoramento da disposição de resíduos sólidos urbanos em aterro sanitário foi realizado através de visitas de campo, acompanhamento de sistemas em operação em regime continuado. Os projetos estudados e monitorados durante essa pesquisa foram: Anápolis, Aparecida de Goiânia, Goiânia e Trindade. Na Figura 1 encontram-se apresentados os municípios que possuem projetos de disposição de resíduo urbano que operam na condição de aterro sanitário no Estado de Goiás. Os projetos de Catalão, Quirinópolis, Rio Verde e Goianésia também foram visitados e fizeram parte desse estudo, por estar operando na condição de aterro sanitário.

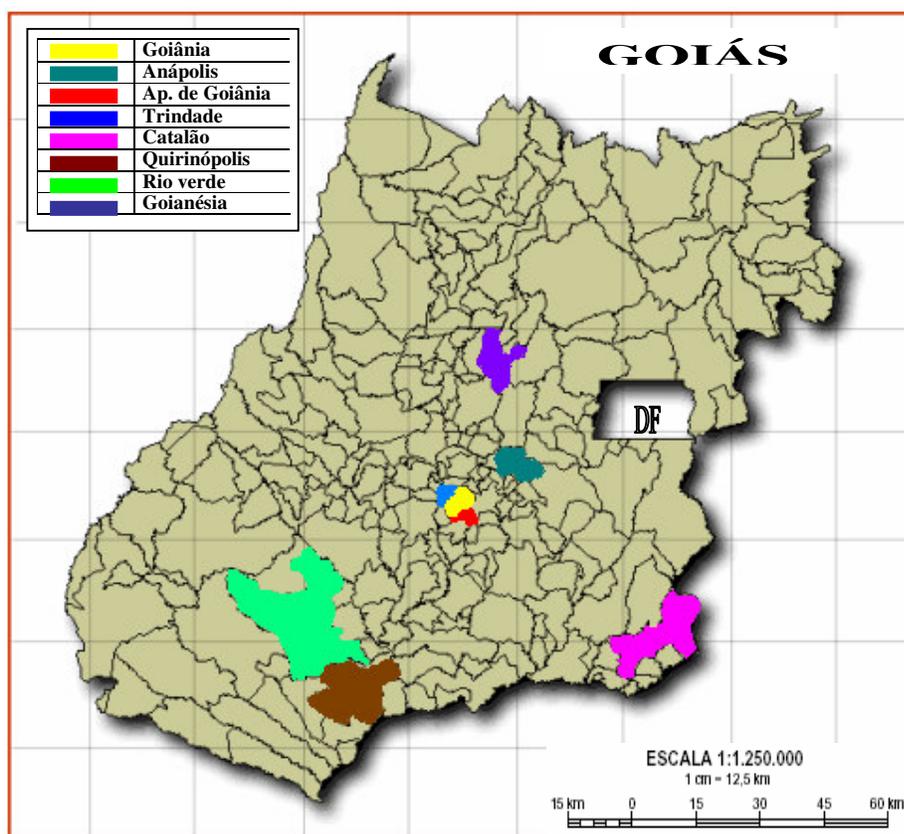


Figura 1: Municípios goianos cujos projetos operam na condição de aterro sanitário.  
Fonte: Mapa do IBGE Cidades, adaptado (Março, 2006)

Nos cenários selecionados para o desenvolvimento deste trabalho, os elementos estudados incluem vias de acesso, estruturas de controle (cercamento, portaria, escritório de administração, refeitório, rede elétrica e telefônica), sistema de drenagem das águas pluviais, sistema de drenagem do percolado, sistema de drenagem dos gases, sistema de impermeabilização das frentes de disposição de resíduo urbano, sistema de tratamento do percolado, sistema de monitoramento do lençol freático, jazida de material de recobrimento, valas sépticas, componentes acessórios (balança rodoviária, pátio de compostagem, área de estoque de materiais) e sistema de vigilância.

A base do estudo teve referência no sistema de disposição dos resíduos urbanos de Anápolis, que opera na categoria de aterro sanitário. As informações foram coletadas junto à administração da Prefeitura Municipal junto a Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Recursos Hídrico, na empresa prestadora de serviços de coleta e disposição final dos resíduos sólidos urbanos (Consórcio GC Ambiental - GAE/CONSTRURBAN), através de visitas de campo, entrevistas com os gestores da administração pública, operadores de máquinas, apontadores, encarregados de serviços gerais, engenheiro da obra e com as demais pessoas envolvidas.

As visitas foram efetuadas durante toda fase de revitalização, consolidação, implantação, operação e monitoramento do projeto do aterro sanitário de Anápolis. Teve início em março de 2005 estendendo-se até Abril de 2006. Salienta-se que a implantação e operação acompanham toda vida útil do projeto prevista pra dezesseis anos.

A análise dos aspectos construtivos e operacionais e o uso de materiais alternativos na construção de alguns elementos também foram considerados, possibilitando correlacionar estas alternativas com outros modelos tradicionais, sugerindo a redução dos custos na operação do projeto. Os custos operacionais de outros projetos de modelos similares existentes no estado de Goiás e no cenário nacional, também foram pesquisados e comparados nesse estudo com o projeto de Anápolis.

Neste contexto, uma ampla pesquisa bibliográfica e consulta aos “sites” de organizações governamentais e não governamentais e instituições que atuam no segmento de limpeza urbana no Brasil, implantação, operação e monitoramento de projetos de destinação de resíduo urbano em aterros sanitários, foi realizada para referenciar os parâmetros de estudo de nosso cenário regional.

## 4.2 Caracterização das áreas dos aterros estudados

Identificar as características e modelo de cada projeto é extremamente importante, devido às particularidades de cada um deles, que influenciam diretamente nas variáveis construtivas e operacionais, estabelecendo uma relação direta com os custos.

### 4.2.1 Aterro sanitário de Anápolis

Caracterizado através de consulta ao Estudo de Impacto Ambiental - EIA, do Projeto do Aterro Sanitário (ONA, 1999) e de sua adequação (DBO, 2005a), do Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos do Município, trabalho realizado pelo Instituto Brasileiro de Administração Municipal (IBAM, 2004), diagnóstico do gerenciamento dos Resíduos Sólidos do Município de Anápolis, realizado pelo Núcleo de Pesquisa da Engenharia (NUPENGE, 2004a) da Universidade Católica de Goiás, visitas de campo e no acompanhamento da operação do projeto.

### 4.2.2 Aterro sanitário de Aparecida de Goiânia

Caracterizado através de consulta ao Estudo de Impacto Ambiental - EIA, do Projeto do Aterro Sanitário (DBO, 1999b); do diagnóstico do gerenciamento dos Resíduos Sólidos do Município de Aparecida de Goiânia, realizado pelo Núcleo de Pesquisa da Engenharia (NUPENGE, 2004b) da Universidade Católica de Goiás; visitas de campo e acompanhamento da operação do projeto.

### 4.2.3 Aterro sanitário de Goiânia

Caracterizado através de consulta ao Relatório de Impacto Ambiental - RIMA do Projeto do Aterro Sanitário de Goiânia (DBO, 1991c), aos estudos de monitoramento ambiental do projeto, visitas de campo e no acompanhamento da operação.

### 4.2.4 Aterro sanitário de Trindade

Caracterizado através de consulta ao Estudo de Impacto Ambiental (EIA), do Projeto do Aterro Sanitário de Trindade (DBO, 2002d), visitas de campo, no acompanhamento da implantação e início da operação do projeto.

### 4.3 Instrumentos de trabalho e elementos avaliados

Para avaliação dos elementos dos aterros sanitários estudados, foram consideradas as especificidades de cada projeto pesquisado. As informações levantadas dos estudos bibliográficos e os relatos das pessoas envolvidas na operação e monitoramento desses sistemas de disposição de resíduos sólidos nos aterros sanitários fundamentaram a avaliação dessa pesquisa. As pessoas ouvidas foram: engenheiro, encarregado da operação, operadores de máquinas, motoristas, apontadores, mecânicos, auxiliares de serviços gerais, administrativos e vigilantes. Para registrar os fatos relevantes estudados, foi utilizada câmera fotográfica digital, e para modelagem estatística e edição de gráficos o Software Excel.

#### 4.3.1 Sistemas de acesso e controle ao aterro sanitário

Destes elementos, foram estudados os aspectos físicos da implantação e operação do sistema de disposição dos resíduos urbanos em aterros sanitários.

Vias de acesso: conservação, largura mínima recomendável da pista, sistema de drenagem e seu deslocamento em função da operação da planta (vias móveis);

Cerca: altura, tipo de cerca (arame farpado, liso ou alambrado), sistema de alerta, tipo de mourões e seu distanciamento;

Cinturão verde: espécie de plantas recomenda período de plantio e os cuidados para o seu desenvolvimento e os impactos visuais causados aos visitantes;

Portaria: localização e tipo de elementos de controle de acesso (cancela e porteira);

Administração: necessidade de sua existência ou não na área do projeto, número de funcionários requeridos e elementos de apoio aos operários;

Vestiário e refeitório: o aspecto da satisfação dos operários com estes benefícios no ambiente de trabalho;

Galpão e almoxarifado: a necessidade da guarda de material e sua utilização para realização de pequenos reparos em máquinas na área do projeto;

Rede elétrica e telefônica: suas funções complementares no projeto de um aterro sanitário.

#### 4.3.2 Sistema de drenagem do aterro sanitário

Elementos que são considerados “essenciais” para a estabilidade da massa de resíduo compactada. O estudo dos aspectos físicos da implantação dos projetos de disposição do lixo urbano envolveu:

Dreno de gases: o uso de material convencional e alternativo na sua construção e a distancia entre eles;

Drenagem das águas pluviais: a execução em canaleta de concreto e em canal de terra, e o local de destinação final dessas águas pluviais;

Dreno de percolado: a execução com uso de material convencional e alternativo na sua construção.

Proteção dos taludes: inclinação dos taludes e o plantio de gramíneas de espécies arbustivas, as mais recomendadas para a proteção do solo das rampas.

#### 4.3.3 Sistema de impermeabilização

Foram estudados os custos referentes ao preparo das frentes de disposição dos resíduos urbanos segundo dois modelos utilizados na impermeabilização: o uso de solo argiloso e de Geomembranas (Polietileno de Alta Densidade “PEAD”, e ou, Policloreto de Vinila “PVC”), como materiais convencional e alternativo, respectivamente.

#### 4.3.4 Monitoramento da qualidade das águas do lençol freático

Foi pesquisada a estrutura, a localização os parâmetros requeridos para esse monitoramento e sua periodicidade.

#### 4.3.5 Sistema de tratamento de percolados

Foram estudados os modelos de tratamento do percolado existentes nas plantas em operação (lagos de estabilização), sistemas com recirculação de percolado no estado bruto e a possibilidade do lançamento no sistema público de tratamento dos esgotos urbanos, como alternativa.

#### 4.3.6 Material de recobrimento da massa de resíduos urbanos

Foram estudados a relação de sua disponibilidade na área do projeto, nas suas proximidades, o uso de material alternativo (entulho da construção civil) e o volume gasto em função da área recoberta.

#### 4.3.7 Valas especiais

Foram estudadas as reais necessidades de sua construção para o aterramento de resíduos especiais e o uso de métodos alternativos na disposição desses resíduos.

#### 4.3.8 Componentes acessórios de um aterro sanitário

Elementos que são considerados como acessórios no projeto. Foi estudada a função de cada elemento na operação da planta de disposição de resíduo urbano.

Balança rodoviária: sua importância na operação do projeto e o uso sistema alternativo na medição da quantidade de resíduo recebido na área do projeto;

Pátio de compostagem: sua notabilidade na produção de compostos orgânicos para o município e sua localização junto ao projeto do aterro sanitário;

Área de estoque de materiais: sua influência no armazenamento de material de construção e operação do projeto em estoque, na área do aterro sanitário.

#### 4.3.9 Sistema de vigilância

Estudados os sistemas de monitoramento e controle de acesso a área do aterro sanitário, sistema de sinalização e segurança.

#### 4.4 Instrumentos de avaliação dos custos

Foram analisadas as planilhas dos orçamentos dos projetos implantados e dos investimentos atuais dos sistemas em estudo. Estes dados foram levantados junto a empresa Consórcio GC Ambiental “GAE/CONSTRURBAN”, que opera o sistema de coleta, transporte e destinação final do resíduo urbano de Anápolis e junto à Secretaria Municipal de

Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Anápolis, gestora do sistema. Para ter acesso a essas informações, foi obtida a autorização formal do Prof<sup>o</sup>. Pedro Fernando Sahium “Prefeito da cidade”. Os dados dos demais municípios foram buscados juntos as secretárias gestoras do sistema de coleta, transporte e destinação do resíduo urbano.

Os dados compilados foram transcritos em tabelas e gráficos, formando uma base de dados, permitindo relacionar esses custos com o modelo dos projetos em estudo e em termos de custo por habitante e por tonelada/dia de resíduo urbano coletado e disposto adequadamente nos aterros sanitários estudados.

#### 4.5 Construção do modelo de referencia para gerenciamento de aterro sanitário

O desenvolvimento de um modelo de referencia do conjunto de elementos norteadores e procedimentos para a implantação, gerenciamento, operação e monitoramento de projeto de disposição de resíduo urbano em aterro sanitário, fundamentou-se nos resultados das avaliações de campo e de todo estudo. Também foram consideradas as informações da revisão bibliográfica reunidas.

Informações importantes obtidas junto aos operadores dos projetos acompanhados durante esse estudo e os relatos de suas experiências, também foram consideradas como peça importante nesse trabalho.

Na construção desse modelo de referencia, procurou-se retratar o resultado dos atuais procedimentos operacionais em uso, incluindo a utilização de materiais alternativos na construção dos elementos de projeto, e que foram indicados como alternativas técnicas e economicamente viáveis na resolução de problemas de implantação e operação de projetos de disposição final de resíduo urbano em aterro sanitário.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Caracterização dos projetos estudados

O projeto de um aterro sanitário exige uma extensa gama de dados e procedimentos. Para cada grandeza é recomendada a adoção de soluções compatíveis com a realidade do município, considerando as características dos resíduos sólidos urbanos e as condicionantes técnicas, econômicas e ambientais locais. Ressalta-se, entretanto, que o enfoque fundamental do presente trabalho consiste na análise criteriosa de dados coletados nesta pesquisa, realizada nos projeto em operação de Anápolis, Aparecida de Goiânia, Goiânia e Trindade.

#### 5.1.1 Aterro sanitário de Anápolis

O aterro sanitário de Anápolis tem sua base inicial projetado pelo método da trincheira e na revitalização esta prevista sua verticalização, configurando aterro de superfície. A área dista 9,0 km do centro da cidade, o acesso é por via asfaltada, em boas condições de tráfego. A área total é de 31,34 hectares e a estrutura existente, embora singela, está cercada e conta com guarita e balança rodoviária com capacidade para 30 toneladas, galpão e central de abastecimento das máquinas e equipamentos (trator de esteiras, caminhão basculante, pá-carregadeira, retroescavadeira e carro-pipa) utilizados na operação do projeto.

A área atualmente utilizada para a disposição dos resíduos sólidos urbanos foi impermeabilizada com solo argiloso compactado com espessura de 80 cm e coeficiente de permeabilidade de  $10^{-6}$  cm/s. Conta com sistema de drenagem e recirculação do percolado e sistema de drenagem dos gases. A célula de disposição dos resíduos do serviço de saúde é coberta com lona de Policloreto de Vinila – PVC, sob estrutura metálica móvel sob trilhos e impermeabilizada com Geomembrana de Polietileno de Alta Densidade – PEAD, com espessura de 2,0 mm.

A Figura 2 mostra a localização da área do aterro sanitário de Anápolis – Goiás, posicionada na região nordeste da cidade. Na sua vizinhança, destaca-se a presença de chácaras de pequenos produtores rurais, o Bairro Primavera (distante mais de 1000 metros de seu perímetro) e a Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário Municipal. Faz limite de seu lado esquerdo, o Córrego Capão Comprido, do lado direito o Córrego Capão do Gado e ao fundo, drenando toda região, está o Ribeirão das Antas afluente, que é afluente do Rio Corumbá.

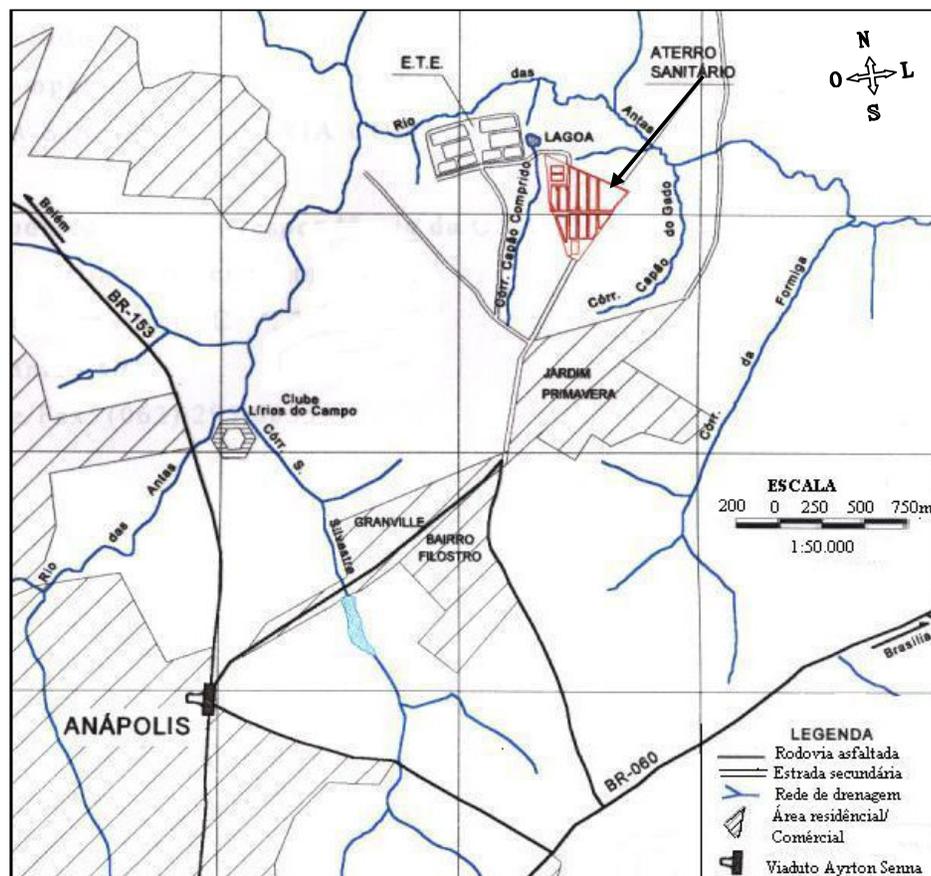


Figura 2: Localização do aterro sanitário de Anápolis – Goiás.  
 Fonte: Mapa do Município de Anápolis, adaptado (março, 2006)

### 5.1.2 Aterro sanitário de Aparecida de Goiânia

O aterro sanitário de Aparecida de Goiânia localiza-se na malha urbana do município, no Setor Vale do Sol e Jardim Cecília (região de baixa concentração populacional). A área é banhada pelo Ribeirão Santo Antônio pertencente à bacia do Rio Meia Ponte formador da bacia hidrográfica da Prata. Posiciona-se na região leste do município nas proximidades do Distrito Agroindustrial de Aparecida de Goiânia - DAIAG. O acesso se dá por via asfaltada até o DAIAG, seguindo por via de terra em boas condições de tráfego.

A área total é de 127,121 hectares e a estrutura ali existente, embora singela, está cercada e conta com guarita, galpão (almoxarifado) e central de abastecimento das máquinas e equipamentos (trator de esteiras, pá-carregadeira) utilizados na operação do projeto.

O projeto de disposição do lixo urbano teve início com a implantação de 03 trincheiras (de um total de 32 previstas e para uma vida útil de 08 anos) impermeabilizadas com Geomembrana de Policloreto de Vinila – PVC – de 1,5 mm. Sobre essa base, deu-se a

verticalização do aterro que está hoje, com quinze metros de altura, e conta com sistema de drenagem do percolato, dos gases e tratamento do percolato por lagoas de estabilização com disposição em curvas de níveis para infiltração no solo. Os resíduos do serviço de saúde, embora sejam coletados em separado, são dispostos em conjunto com o lixo urbano. A Figura 3 mostra a localização da área do aterro sanitário de Aparecida de Goiânia. Atualmente está sendo ampliado com a construção de duas trincheiras para a disposição dos resíduos sólidos urbanos (110,00 m x 60,00 m e 6,00 m de profundidade), impermeabilizadas com geomembrana de PEAD, com espessura de 1,5 mm.

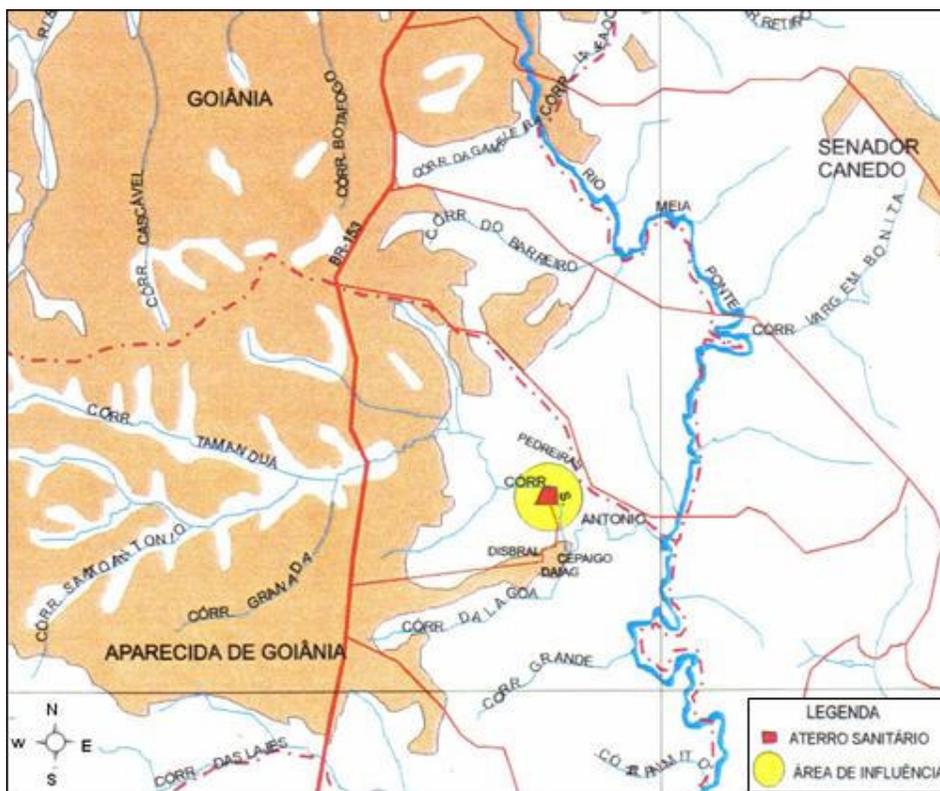


Figura 3: Localização do aterro sanitário de Aparecida de Goiânia – Goiás.

Fonte: Mapa do zoneamento ecológico econômico da área do aglomerado urbano de Goiânia escala - 1:150.000, adaptado (março, 2006)

### 5.1.3 Aterro sanitário de Goiânia

O aterro sanitário de Goiânia localiza-se na região oeste do município. Hoje já faz parte da área urbana do município, localizando-se em área remanescente das Chácaras São Joaquim. O acesso é pela Rodovia GO – 060, Goiânia – Trindade, km 03 (região de baixa concentração populacional). Posiciona-se no alto do espigão formado entre as vertentes do

Córrego Caveirinha e o Córrego da Posse, pertencentes à bacia do Rio Meia Ponte, formador da bacia hidrográfica da Prata. O acesso ao aterro sanitário se dá por via asfaltada até sua portaria.

A área total é de 80,00 hectares e as estruturas existentes qualificam o projeto na categoria de Aterro Sanitário. Está cercado com a formação e crescimento normal do cinturão verde; conta com guarita e cancela no controle de acesso; prédio administrativo; galpão (almoxarifado) e oficina mecânica; centro de abastecimento das máquinas e equipamentos utilizados na operação do projeto; balança eletrônica; e iluminação completa para operar em período noturno.

O projeto do aterro sanitário teve início com a revitalização, em 1992, do aterro controlado do tipo trincheira, que operava na área desde 1980. A implantação do aterro sanitário teve início com a impermeabilização da base da área de disposição do lixo urbano com solo argiloso compactado, e sobre essa base deu-se a verticalização do aterro que está hoje com 40 metros de altura. Conta com sistema de drenagem de percolado e gases além de sistema de tratamento do percolado do tipo lagoas de estabilização com recirculação do efluente para o aterro. Os resíduos dos serviços de saúde após serem autoclavados são dispostos nas células dos resíduos sólidos urbanos. Na Figura 4 encontra-se apresentado um croqui da localização do aterro sanitário de Goiânia.

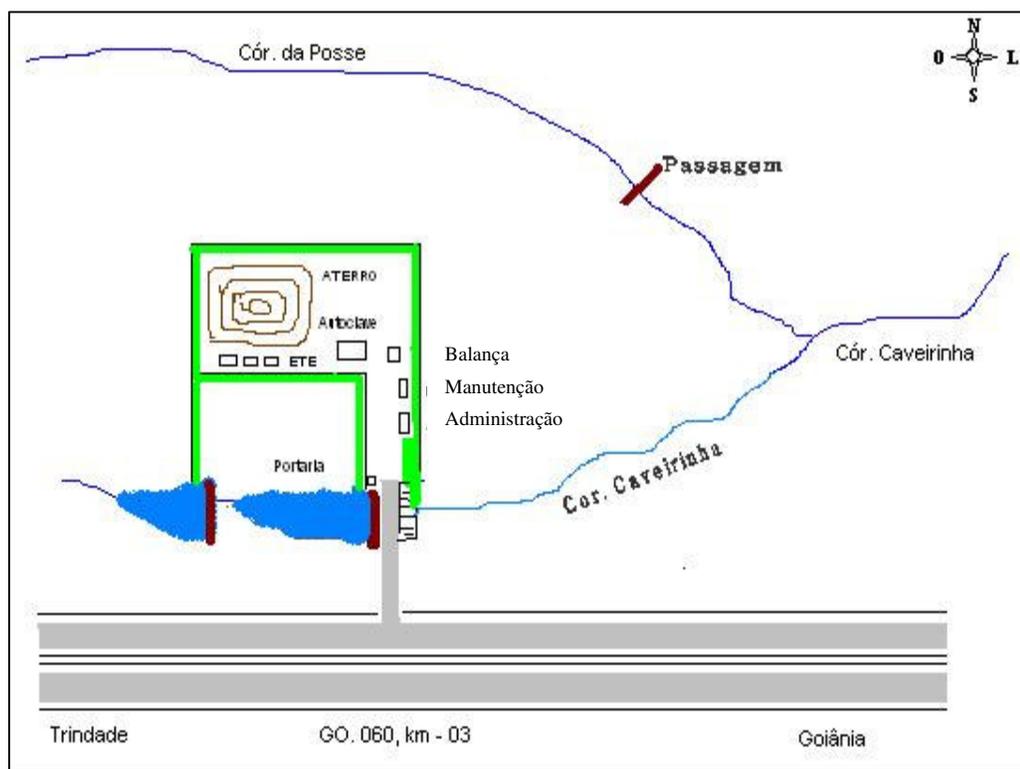


Figura 4: Localização do aterro sanitário de Goiânia – Goiás (sem escala)

### 5.1.4 Aterro sanitário de Trindade

O aterro sanitário de Trindade localiza-se na zona rural, na região oeste do município. Tem acesso por uma estrada de terra a partir do Bairro Setor Oeste, percorrendo-se aproximadamente 03 km no sentido Trindade a Estação de Tratamento de Esgoto - ETE municipal. O aterro sanitário situa-se a montante da área da ETE, região de baixa concentração populacional. Posiciona-se no alto do espigão formado entre as vertentes do Córrego Barro Branco e o Córrego Barreirinho, afluentes do Córrego Barro Preto pertencente à bacia do Rio dos Bois formador da bacia hidrográfica da Prata.

A área total é de 29,40 hectares e a estrutura implantada qualifica o projeto na categoria de Aterro Sanitário. O local é cercado com a formação e crescimento normal do cinturão verde e conta com guarita e portão no controle de acesso, prédio administrativo e almoxarifado.

O projeto de disposição dos resíduos sólidos urbanos teve início com a implantação de duas trincheiras (de um total de 12 previstas e para uma vida útil de 13 anos) impermeabilizadas com Geomembrana de PVC de 1,5 mm, sistema de drenagem do percolado e base de arranque dos tubos de drenagem dos gases, sistema de tratamento do percolado por lagoas de estabilização e célula de disposição dos resíduos do serviço de saúde impermeabilizada com Geomembrana de PVC de 1,5 mm e drenada com a condução do percolado à lagoa de estabilização. A Figura 5 mostra a localização da área do projeto em relação à cidade. Destaca-se que a operação desse projeto teve início em maio de 2006.

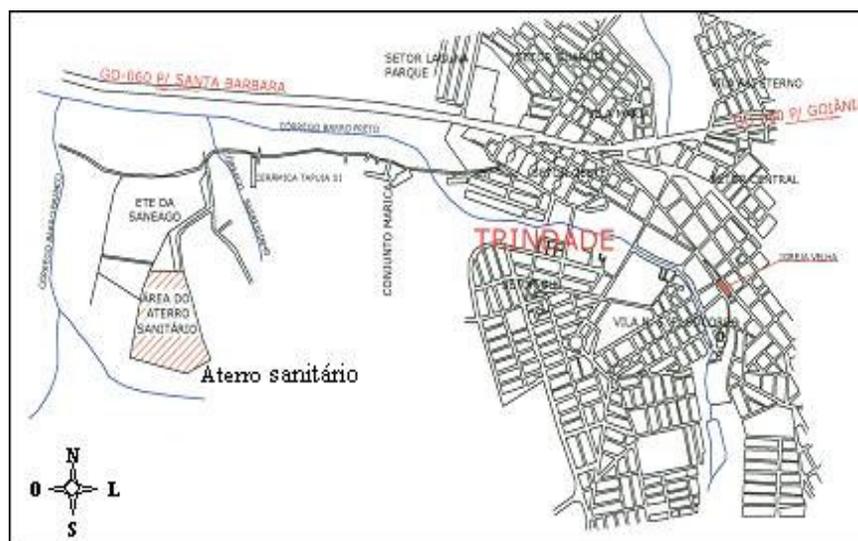


Figura 5: Localização do aterro sanitário de Trindade – Goiás (sem escala)  
Fonte: DBO (2002c)

## 5.2 Avaliação da infra-estrutura dos aterros sanitários estudados

A seguir será apresentada a forma física, a disposição, e as características construtivas dos elementos dos projetos estudados, os quais dependem das peculiaridades locais, dos recursos materiais e técnicos disponíveis de cada projeto e até, da vida útil prevista. Entretanto, em todos os casos é imprescindível que cada um desses elementos seja efetivamente capaz de satisfazer os requisitos funcionais de que depende o funcionamento global do aterro sanitário.

### 5.2.1 Vias de acesso, externas e internas.

Nos projetos estudados nessa pesquisa, as vias externas de acesso são de terra batida, excetuando-se o aterro sanitário de Goiânia que tem a via asfaltada até a portaria. As vias internas permanentes, que vão da portaria até a área de disposição do lixo, em todos os projetos são de terra batida, com faixa de rodagem média de 6,0 m de largura, sistema de drenagem das águas pluviais, em canais de terra batida e em bom estado de conservação permitindo o trânsito dos veículos ao longo de todo ano. A Figura 6 mostra o trabalho de conservação da via de acesso interna na área do aterro sanitário de Anápolis e o bom estado de conservação do projeto de Goiânia.



Figura 6: Via de acesso interna na área do aterro sanitário de Anápolis (a) e Goiânia (b)

As vias de acesso temporárias executadas nesses projetos para descarga dos resíduos sólidos urbanos no local de compactação e aterramento, deslocam-se em função da

operação da planta (via móvel). O uso de entulho da construção civil na base da pista (● 50 cm), seguido do encascalhamento (● 15 cm) tem-se mostrado como uma boa alternativa na redução desses custos de manutenção, que são representados em parte pela aquisição e transporte desse material até o local que ficam a cargo dos geradores. O uso desse material está bastante presente nos projetos de Anápolis, Aparecida de Goiânia e Goiânia.

### 5.2.2 Cercamento da área

A cerca das áreas dos aterros sanitários estudados foi executada com arame farpado com moirões de madeira tratada, com altura de 1,60 metros, distanciados a cada 2,50 metros, com mostra a Figura 7(a). Com raras exceções, esse cercamento também é realizado com alambrado, com altura de 2,0 m e mourões de concreto distanciados a cada 2,50 m, Figura 7(b). Esse cercamento é complementado com a formação de cinturão verde, com plantio de *Mimosa caesalpiniaefolia* (Sansão-do-campo) para o impedimento da entrada de pessoas estranhas, principalmente de “catadores de lixo” e animais de grande porte, com objetivo de garantir a segurança na operação do projeto, evitar o lançamento de descarga clandestina, entre outros.



Figura 7: Cerca e cinturão verde em formação. Aterros sanitários de Trindade (a) e Cidade Ocidental (b).

Também foi observado que o cercamento com arame farpado, complementado com a formação do cinturão verde, proporciona ao projeto melhor impacto visual e causa maior satisfação aos visitantes, além de reduzir a ação direta dos ventos na área de disposição dos resíduos sólidos urbanos, contribuindo para evitar seu espalhamento para as áreas vizinhas.

### 5.2.3 Controle de acesso - portaria

Todos os projetos estudados possuem instalações para o controle de acesso. Na Figura 8 é mostrada a guarita de controle ao acesso no aterro sanitário de Anápolis e Goiânia, localizadas junto à entrada do projeto. A guarita do projeto de Anápolis também serve para abrigar os instrumentos da balança rodoviária utilizada no registro da quantidade de resíduos para disposição no aterro sanitário. No projeto de Goiânia, a guarita serve apenas de abrigo dos vigilantes e controle de acesso.

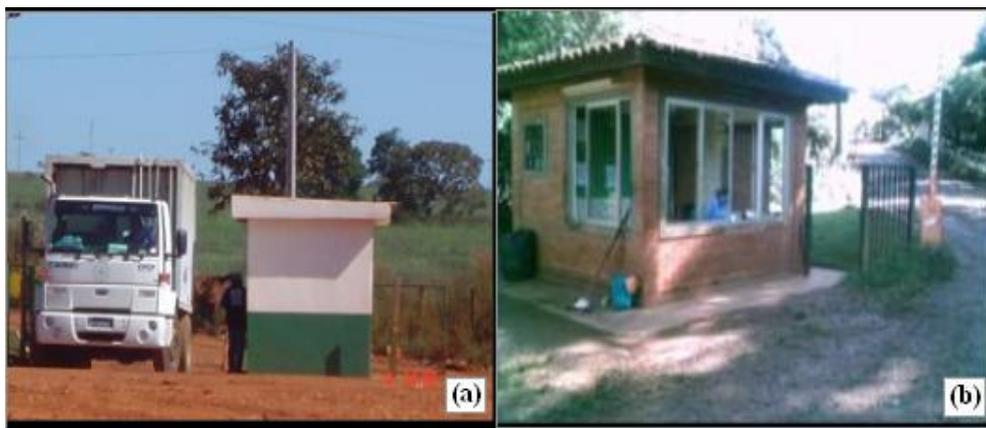


Figura 8: Guaritas dos aterros sanitários de Anápolis (a) e Goiânia (b).

### 5.2.4 Administração, instalações de apoio, rede elétrica e telefônica

As administrações dos aterros sanitários estudados são externas e comandadas pelo núcleo de limpeza urbana municipal, não requerendo a existência local de prédio administrativo. Entretanto, existem outros elementos de apoio, como: vestiário e refeitório que proporciona satisfação e conforto aos operários. A rede elétrica e telefônica complementa a qualidade das instalações do projeto, e é completa apenas no projeto de Goiânia. Os outros projetos estudados não contam com instalações telefônicas. O sistema de eletrificação está instalado em todos os projetos, enquanto a instalação de telefone apenas o projeto de Goiânia o fez. Dentre os projetos estudados apenas Goiânia tem instalações completas de apoio aos operários.

A Figura 9 mostra as instalações de apoio do projeto de Aparecida de Goiânia (constituída por escritórios, sanitários e copa/cozinha) e Goiânia (constituído por escritório, almoxarifado, sanitário com chuveiro, vestiário e copa/cozinha). Nos projetos de Anápolis e Trindade, essas estruturas ainda não foram construídas embora sejam consideradas necessárias e estejam previstas para serem implantadas.



Figura 9: Instalações de apoio do projeto de Aparecida de Goiânia (a) e Goiânia (b).

### 5.2.5 Cinturão verde

No Quadro 10 encontram-se listados as principais espécies encontradas na formação do cinturão verde dos projetos estudados. Em todo perímetro da área dos projetos monitorados, está em formação o cinturão verde, constituído por uma cerca viva, como forma de melhorar os impactos visuais e atenuar ruídos, poeiras fugitivas, odores e a ação dos ventos, causando ainda boa impressão aos visitantes.

Quadro 10: Principais espécies encontradas na formação do cinturão verde dos projetos estudados

Nome científico	Nome vulgar	Altura média alcançada (metro)
<i>Leucaena spp</i>	Leucena	5,0 a 8,0
<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i>	Sansão-do-campo, Sabiá.	5,0 a 8,0
<i>Mimosa flocculosa</i>	Bracatinga-rosa	2,0 a 5,0
<i>Calliandratweedil</i>	Caliandra, esponjinha	2,0 a 4,0
<i>Caesalpinia pulcherrima</i>	Franboyantzinho, barba-de-barata	3,0 a 4,0
<i>Eucalipto Citryodora</i>	Eucalipto	15,0 a 30,0
<i>Ficus spp</i>	Gameleiras	8,0 a 12,0
<i>Tabebuia impetiginosa</i>	Ipê-roxo.	10,0 a 18,0
<i>Tabebuia velosoii</i>	Ipê-amarelo	10,0 a 18,0
<i>Albizia hasslerii</i>	Angico-branco	15,0 a 25,0
<i>Anadenanthera falcata</i>	Angico	15,0 a 25,0
<i>Hymenaea courbaril</i>	Jatobá	15,0 a 20,0
<i>Celtis glydicarpa</i>	Esporão-de-galo	5,0 a 8,0
<i>Cupania vernalis</i>	Assa-leitão	5,0 a 8,0
<i>Tibouchina granulosa</i>	Quaresmeira-arbustiva	5,0 a 8,0

### 5.2.6 Galpão e almoxarifado

Embora considerada essencial para a guarda de ferramentas utilizadas na operação do projeto onde também é realizada a manutenção preventiva das máquinas (trator de esteira, pá mecânica, retroescavadeira, caminhão, etc.), essa estrutura foi encontrada apenas no projeto do aterro sanitário de Goiânia. São realizados no aterro sanitário de Goiânia pequenos consertos, permitindo assegurar a revisão no tempo requerido pelas horas de trabalho (200:00, 600:00 e 1.200:00 horas), como uma simples troca de óleo, reparos em sistemas hidráulicos, etc, aumentando, assim, o rendimento e a vida útil desses equipamentos.

### 5.2.7 Drenagem das águas pluviais

Os sistemas de drenagem das águas pluviais são usados em duas situações nos projetos estudados: nas pistas de acesso e circulação interna e nas áreas de disposição do lixo. Nos sistemas viários dos projetos de Anápolis, Aparecida de Goiânia e Trindade, o sistema de drenagem está executado em canais de terra batida. No projeto de Goiânia esta drenagem é constituída por canaleta de concreto com diâmetro de 60 cm. Para adoção do canal de terra batida, deve ser assegurado que a declividade longitudinal não seja excessiva (superior a 2%), com objetivo de evitar a formação de processos erosivos na pista.

Na Figura 10 é mostrado o sistema executado em terra batida no projeto da pista interna de Aparecida de Goiânia e o mesmo sistema executado em canaleta de concreto na pista interna do projeto de Goiânia. Dependendo da situação, o sistema poderá ser misto e estar ligado a sistema de dissipação de energia.



Figura 10: Detalhe das canaletas de escoamento das águas pluviais na área do aterro sanitário de Aparecida de Goiânia (a) e Goiânia (b).

A drenagem pluvial da área de disposição dos resíduos sólidos urbanos, está implantada no projeto do aterro sanitário de Goiânia (aterro verticalizado), com a construção de canaletas de concreto com diâmetro de 60 cm, seguido de sistema dissipador de energia ligado a bacia de contenção executada dentro da própria área. No projeto de Trindade (aterro em trincheiras), foram executadas canaletas de concreto com diâmetro de 40 cm, em volta dessas trincheiras, conduzindo-se para lançamento em curvas de níveis na área do projeto. Nos projetos de Anápolis e Aparecida de Goiânia o sistema de drenagem foi executado em canal de terra batida e apenas em volta da área de disposição de lixo, lançando em curvas de níveis. Neste caso, os canais não apresentam diâmetro uniforme, em média, 80 cm.

#### 5.2.8 Drenagem do percolado

Na Figura 11 são mostrados dois sistemas de drenagem de percolado executados com diferentes materiais. No projeto do aterro sanitário de Aparecida de Goiânia, a vala de drenagem do percolado foi executada com uma camada de pedra maroadada e pneu entrelaçado até o nível superior e recoberta com galhos de árvores. O uso de pneu para complementar o enchimento da vala de drenagem como material alternativo, tem reduzido os custos operacionais do projeto sem perda de rendimento do sistema.

Nos projetos do aterro sanitário de Anápolis e Goiânia, as valas de drenagem do percolado são preenchidas com pedra maroadada ou matacão. As valas são executadas com uma profundidade média de 1,0 m e largura de aproximadamente 70 cm (largura da pá da retroescavadeira). O uso de pedra maroadada na execução desses drenos contribui significativamente nos custos de operação desses projetos



Figura 11: Drenos de percolado instalados nos aterros sanitários de Aparecida de Goiânia (a) e Anápolis (b)

### 5.2.9 Drenagem dos gases

Nos projetos acompanhados de Anápolis, Aparecida de Goiânia e Goiânia, a drenagem dos gases é feita por uma malha de “chaminés” que perpassa verticalmente todo o aterro. A distribuição dessas chaminés no maciço de lixo não segue um distanciamento uniforme e esta variando entre 30 e 70 metros. O bom desempenho desse elemento está sendo fundamental para a estabilidade da massa de lixo (principalmente nos projetos de aterros verticalizados de Goiânia e Aparecida de Goiânia) e prevenção de acidentes, como a explosão espontânea dos gases. No projeto de Goiânia, encontra-se instalada uma rede de tubos coletores desses gases que os conduz para um único ponto de queima.

Na Figura 12(a) é mostrado um dreno em chamas no aterro sanitário de Aparecida de Goiânia, construído com uso de blocos de entulhos como material alternativo na formação da camisa a sua volta, e na Figura 12(b), projeto de Anápolis, que utiliza pedra maroada (material convencional). Em ambos os casos foi observado o bom desempenho na drenagem dos gases.



Figura 12: Drenos de gás dos aterros sanitários de Aparecida de Goiânia (a) e Anápolis (b).

### 5.2.10 Proteção dos taludes de cobertura dos aterros sanitários

Embora seja evidente a importância do plantio nas encostas dos taludes dos aterros sanitários, nos projetos estudados é utilizado apenas o plantio de capim *Brachiara decumbens*. A prática do plantio de espécies arbustivas ainda não está sendo aplicada, talvez pela hostilidade do solo, que ainda não permitiu o desenvolvimento dessa vegetação.

No Quadro 11 são sugeridas algumas espécies de arbustos para o plantio nas encostas (sopê) dos taludes dos aterros sanitários, objetivando sua estabilidade. São exemplares que tem boa fixação de seu sistema radicular, baixa estatura, baixa exigência a fertilidade do solo e resistentes a ação dos ventos. Na Figura 13 encontram-se apresentadas duas espécies utilizadas na proteção de taludes, com ótima cobertura vegetal.

Quadro 11: Espécies de arbustos recomendadas para o plantio em taludes de aterros

Nome científico	Nome vulgar	Altura média alcançada (metro)
<i>Mimosa flocculosa</i>	Bracatinga-rosa	2,0 a 5,0
<i>Calliandra tweedil</i>	Caliandra, esponjinha	2,0 a 4,0
<i>Caesalpinia pulcherrima</i>	Franboyantzinho, barba-de-barata	3,0 a 4,0
<i>Caesalpinia sepiaria</i>	Espinho-de-cerca, agarra-compadre	2,0 a 3,0
<i>Calliandra harrissil</i>	Caliandra, esponjinha	1,5 a 2,0
<i>Calliandra brevipes</i>	Quebra-foice	1,0 a 2,0
<i>Senna australis</i>	Fedegoso	1,0 a 2,0



Figura 13: Arbustos utilizados na proteção de taludes de aterro. Espinho-de-cerca ou agarra-compadre (a); franboyantzinho ou barba-de-barata (b)

### 5.2.11 Sistema de tratamento de percolado

Entre os projetos estudados, nos de Goiânia, Aparecida de Goiânia e Trindade optou-se pelo uso de lagoas de estabilização. No caso de Trindade está previsto, após a estabilização, o lançamento no sistema de tratamento dos esgotos urbanos do município, que também é constituído por lagoas de estabilização e situa-se abaixo da área do aterro. Em

Aparecida de Goiânia, o percolado, após a estabilização em lagoas, é descartado em curvas de níveis para infiltração no solo. Já o modelo de Goiânia faz o retorno de todo percolado tratado para a massa de lixo. Na Figura 14 é mostrado o sistema adotado no aterro sanitário de Goiânia e Aparecida de Goiânia por lagoas de estabilização (anaeróbias e facultativas).

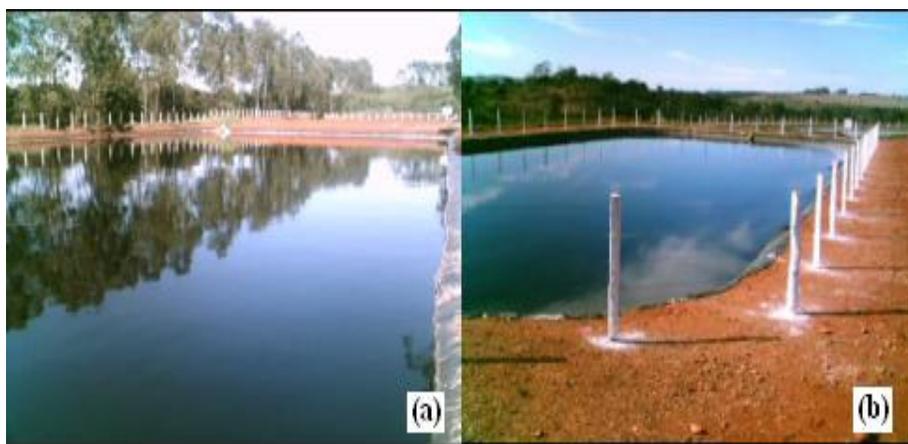


Figura 14: Lagoas de estabilização empregadas no tratamento de percolado. Goiânia (a) e Aparecida de Goiânia (b).

O retorno do efluente das lagoas e o não descarte no curso d'água são justificados pela baixa eficiência na remoção das concentrações dos poluentes constituintes do percolado, principalmente de “metais pesados”<sup>4</sup>, pelos sistemas de lagoas de estabilização.

A recirculação do percolado no estado bruto para as células de lixo, como é feito atualmente no projeto de Anápolis, mostra que é possível a utilização desse modelo que tem custo muito baixo se comparado com outros métodos, embora não se tenha uma avaliação quanto à possibilidade do aumento das concentrações dos contaminantes na área e se esses contaminantes estão migrando no solo e atingindo o lençol freático. Essa mesma preocupação pode ser considerada nos demais projetos aonde os sistemas de tratamento não removem a toxicidade e os metais pesados constituintes do percolado. Na Figura 15 é mostrado o sistema atual do projeto de Anápolis, realizando o retorno do percolado no estado bruto para o início da área e sendo incorporado na massa de lixo urbano enterrada.

<sup>4</sup> Metais que podem ser precipitados por gás sulfídrico em solução ácida; por exemplo: chumbo, cádmio, mercúrio, bismuto, zinco, cobre, etc, e se acumulam progressivamente na cadeia trófica. Se presentes em elevadas concentrações, pode retardar ou inibir o processo biológico e ser tóxico aos organismos vivos.



Figura 15: Bacia de acumulação do percolado com sistema de bombeamento (a); ponto de lançamento do percolado no alto do maciço do aterro sanitário (b).

A possibilidade do lançamento no sistema público de tratamento de esgoto sanitário, também deve ser considerada como alternativa viável. Essa alternativa só deve ser considerada após comprovação de que o sistema urbano comporta mais essa demanda e usa tecnologia capaz de fazer esse tratamento. Entre outros fatores que também devem ser considerados, está a razão de diluição que irá ocorrer no lançamento desse percolado no esgoto sanitário.

#### 5.2.12 Área de disposição de resíduos sólidos

Nesta pesquisa foi analisado o local de disposição dos resíduos sólidos urbanos e de serviço de saúde.

##### a) Disposição dos resíduos sólidos urbanos

A Figura 16 mostra uma trincheira do aterro sanitário de Trindade, preparada para receber os resíduos sólidos urbanos, impermeabilizada com Geomembrana de PVC de 1,5 mm. A geomembrana foi assentada sob a compactação do solo local, e feita à proteção mecânica com solo argiloso compactado sob a manta (camada de quarenta centímetros), executada com declividade longitudinal e transversal, para facilitar a drenagem do percolado. O mesmo processo também foi adotado no projeto de Aparecida de Goiânia. No aterro sanitário de Goiânia foi utilizada argila compactada formando uma camada com espessura de 1,0 m e, em Anápolis a atual área de disposição dos resíduos sólidos urbanos teve apenas a compactação do solo argiloso local.

Nos três projetos em operação (Anápolis, Goiânia e Aparecida de Goiânia), foi observada a drenagem regular do percolado o ano inteiro, indicando que o sistema de impermeabilização está atendendo aos requisitos de projeto e sua função principal: proteção

do solo de possíveis contaminações e o desmoronamento da pilha de lixo. Nesse aspecto, estudo mais detalhado precisam ser realizados.



Figura 16: Trincheira construída no aterro sanitário de Trindade para disposição dos resíduos sólidos urbanos

#### b) Disposição dos resíduos dos serviços de saúde

Para a disposição dos resíduos dos serviços de saúde, em geral adota-se o método da trincheira. Na Figura 17 é mostrado o projeto executado e em operação no aterro sanitário de Anápolis. A vala está impermeabilizada com geomembrana de PEAD com espessura de 1,5 mm e dispõe de cobertura móvel para minimizar a produção de percolato, protegendo-a da contribuição das águas da chuva. A vala não é drenada e os resíduos são lançados dentro da trincheira, sendo recobertos diariamente por uma camada de solo. Não se faz a compactação.



Figura 17: Detalhe da vala séptica do aterro sanitário de Anápolis, impermeabilizada e com cobertura móvel.

Fonte: GAE/CONSTRURBAN (2004)

Em Aparecida de Goiânia e Trindade, a trincheira executada foi impermeabilizada com geomembrana de PVC com espessura de 1,5 mm, totalmente aberta. No projeto de Aparecida de Goiânia não foi executado o sistema de drenagem, levando-a a transformar-se em uma lagoa no período chuvoso, o que inviabiliza sua operação. Na trincheira executada no projeto de Trindade, o dreno conduz o percolado para a lagoa de tratamento. Em Goiânia, os resíduos dos serviços de saúde, após o processo de esterilização em autoclave, são dispostos em conjunto com os demais resíduos urbanos.

#### 5.2.13 Monitoramento do lençol freático

Dentre os projetos estudados, apenas Goiânia faz o monitoramento com regularidade do lençol freático, realizando análises semestrais dos seguintes parâmetros: pH, cor aparente, condutividade, turbidez, cloretos, alumínio, dureza, ferro total, ferro solúvel, fosfato total, manganês total, níquel, prata, surfactantes, sulfato, zinco, DQO, óleos e graxas, sólidos sedimentáveis, sólidos totais dissolvidos, arsênio, bário, boro, cádmio, cianeto, chumbo, cobre, cromo hexavalente, cromo total, estanho, mercúrio, fluoretos, fluoreto, nitrato, nitrogênio total, nitrogênio kjedahl, selênio, benzeno, bezopireno, dicloroetano, pentaclorofenol, tetracloroetano, tricloroetano, tetracloroeto de carbono, triclorofenol, e índice de fenóis. Neste projeto foram instalados cinco poços de monitoramento à jusante da área, entre esta e o Córrego Caveirinha.

Como neste projeto não foi instalado poço de monitoramento de montante, os resultados obtidos das análises ambientais, são comparados entre si ao longo do tempo observando se está havendo ou não aumento nas concentrações dos parâmetros analisados. A elaboração do relatório de monitoramento é semestral, e apresentado ao órgão ambiental estadual para avaliação.

Ressalta-se que nos projetos de Anápolis e Aparecida de Goiânia, a rede de poços de monitoramento foi instalada e aguarda pela realização da primeira amostragem (FIGURA 18). Em Anápolis foi instalado um poço de montante e dois de jusante e está prevista a instalação de mais três poços de jusante. Em Aparecida de Goiânia foi instalado um poço de montante e três de jusante. Em Trindade, esses poços ainda não foram executados, embora estejam previstos no projeto.



Figura 18: Poços de monitoramento instalados a jusante das áreas de Anápolis (a) e Aparecida de Goiânia (b)

#### 5.2.14 Valas especiais

Nesta pesquisa foi observado também e relatado pelos operadores, que não há necessidade da execução de um ambiente exclusivo para o aterramento de resíduos especiais (animais mortos, resíduos volumosos, etc.) recolhidos na área urbana. Quando esses resíduos ocorrem e chegam para disposição no aterro, abre-se uma vala com a retroescavadeira enterrando ali esses resíduos. Além do mais, foi observado que a quantidade de resíduos “especiais” gerada é muito baixa, e a criação de uma estrutura específica tornaria onerosa a operação do projeto.

#### 5.2.15 Jazida de material de recobrimento

Nos aterros sanitários de Anápolis, Goiânia e Aparecida de Goiânia, são utilizados dois tipos de material para recobrimento do lixo aterrado: solo de jazida que se encontra dentro da área dos projetos e entulho da construção civil classe “A”.

O entulho da construção civil, utilizado como material alternativo no recobrimento final do lixo aterrado no projeto de Goiânia é usado em camadas com cerca de 50 cm, seguido de uma fina camada de solo de jazida também com cerca de 20 cm, selando a pilha de lixo (FIGURA, 19).



Figura 19: Cobertura final do aterro sanitário de Goiânia. Espessura da camada de solo de jazida (a), cobertura da massa de lixo com entulho (b)

Em todos os aterros, o recobrimento intermediário é realizado apenas quando há o deslocamento da frente de disposição de lixo. Esse recobrimento é feito em camada média de

- 20 cm. Em todos os projetos acompanhados, esse recobrimento final (superfície) da massa de lixo é feito com uma camada de 60 cm em média, resultando no consumo aproximado de 0,60 m<sup>3</sup> de material por metro quadrado de aterro concluído.

O uso de entulho como material de recobrimento primário nos projetos é relatado pelos operadores como a solução adequada para redução de custos operacionais. Também ajuda na estabilidade do aterro e facilita o trânsito e a descarga de veículos em períodos chuvosos e reduz em até 80% o uso de solo de jazida.

#### 5.2.16 Componentes acessórios

Elementos considerados como acessórios nos projetos dos pequenos municípios (população até 30.000 hab) são essenciais para a operação da planta de disposição dos resíduos urbanos em grandes municípios.

##### a) Balança

Embora não possa ser considerada absolutamente essencial, trata-se de um elemento de extrema importância para mensurar a quantidade de resíduos recebida pelo aterro sanitário, na melhor projeção de sua vida útil e para remunerar os serviços terceirizados de

coleta e disposição do resíduo urbano, como é nos casos de Anápolis e Goiânia.

Na Figura 20 é mostrada a balança rodoviária instalada sob o nível da pista no projeto de Cidade Ocidental (projeto visitado durante esse trabalho). Destaca-se a praticidade da instalação e manutenção, resultando no menor custo em relação aos modelos tradicionais instalados em Anápolis e Goiânia no nível da pista. Nessa figura também é ilustrado o sistema de registro eletrônico do peso do resíduo urbano recebido no projeto de Anápolis.



Figura 20: Instalação das balanças rodoviária. Projeto de Cidade Ocidental, detalhe externo (a) e projeto de Anápolis, detalhe interno (b).

Nos projetos de Anápolis e Goiânia instalou-se a balança tipo rodoviária com capacidade de 40 t. Outra forma de medição está demonstrada no item 6.26 e é sugerido para projetos com administração direta em municípios de pequeno porte, uma vez que os custos de aquisição, instalação e manutenção das balanças rodoviárias geralmente são fatores limitantes para a maioria dos casos.

#### b) Pátio de compostagem

Dos projetos estudados, apenas Goiânia desenvolve a prática de produzir composto orgânico utilizando resíduos orgânicos e rumem bovino proveniente das unidades frigoríficas que operam no município. Na Figura 21 encontra-se ilustrado o pátio de compostagem onde é produzido o composto orgânico utilizado pelo Departamento de Parques e Jardins da Prefeitura de Goiânia para adubação e manutenção das praças da cidade.



Figura 21: Pátio de compostagem do projeto de Goiânia

### c) Área de estoque de materiais

Dentre os projetos estudados Anápolis, Goiânia e Aparecida de Goiânia mantêm em estoque na área de operação, material de construção civil para execução progressiva dos drenos do percolado e gases, canaletas de escoamento das águas pluviais, manutenção das vias de acesso e das pistas internas. Na Figura 22 é mostrado o material estocado na área do projeto de Anápolis, destinado a execução do sistema de drenagem do percolado e dos gases.



Figura 22: Material de construção mantido em estoque na área do projeto de Anápolis. Estoque de pedra maroadada (a), tubos de concreto (b)

### 5.2.17 Sistema de vigilância

A presença de pessoas sem autorização (catadores de lixo) e animais domésticos foi constatada nos projetos de Anápolis e Trindade. O perigo está associado à intensa movimentação de veículos pesados, à possibilidade de incêndio e à própria exposição ao resíduo com elementos nocivos à saúde humana.

O sistema de vigilância é ostensivo no projeto de Aparecida de Goiânia. Os operadores desse projeto relatam que a única forma de evitar a presença de pessoas e animais domésticos é com o trabalho da equipe de vigilantes percorrendo todo perímetro da área. Essa vigilância é motorizada e realizada em dupla tipo “Cosme e Damião” em três turnos. Nos projetos de Anápolis, Goiânia e Trindade a vigilância é realizada pelo controle de acesso na portaria e pelos operadores do projeto. Sinais de alerta e placas de proibição ao acesso a essas áreas não estão sendo utilizados.

## 5.3 Análise dos custos de implantação e operação do aterro sanitário de Anápolis

Nesta análise, considerou-se os custos decorrentes da implantação e operação no horizonte de projeto previsto para dezesseis anos. As características do município, tais como população, quantidade de resíduos urbanos gerados, modelo do projeto, sua localização, existência de jazida de material de recobrimento na área, topografia, modelo de tratamento do percolado e queima dos gases, sistema de impermeabilização e administração terceirizada com fiscalização da prefeitura, foram alguns dos fatores considerados nessa análise.

### 5.3.1 Local de instalação - aquisição da área

Através da seleção adequada da área, é possível que os custos de implantação e operação do projeto sejam reduzidos ou, ao menos, estabelecidas as condicionantes prioritárias ou consideradas justificáveis, que produzam menor impacto financeiro e problemas ao meio físico, biótico e socioeconômico local.

Com essa visão, a aquisição da área é certamente o menor investimento requerido na instalação de um aterro sanitário, quando os critérios de seleção da área (técnicos - ambientais, político-sociais e econômico) são atendidos em sua plenitude e mesmo naqueles

casos em que é determinado o Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental – EIA/RIMA, pelo órgão licenciador do projeto.

Para os municípios com população superior a 30.000 habitantes, ou que produza mais de 30,00 t/dia de resíduos urbanos, para a implantação do projeto do aterro sanitário, faz-se necessário à elaboração do “EIA/RIMA”, conforme determina a resolução 001 (CONAMA, 1986). Quando a área escolhida estiver em região onde há conflitos com a vizinhança, conflitos ambientais, proximidade com áreas de proteção ambiental ou haja indícios de fragilidade ambiental, etc., também há necessidade da elaboração do “EIA/RIMA”, mesmo para o município com população inferior há 30.000 habitantes.

Definido o local de instalação e verificada sua adequação com relação à lei de zoneamento urbano, a proximidade de áreas de proteção ambiental, cursos d’água, moradias, aeroportos e etc., além da regularidade da propriedade do terreno, alguns aspectos técnicos devem ser objeto de avaliação preliminar como: o perfil litológico do solo, a permeabilidade do solo, a profundidade do lençol freático e a existência de jazidas para material de recobrimento nas proximidades (quando for o caso de aterro de superfície), dar-se-ão início ao processo de aquisição da área. A aquisição acontece por duas modalidades:

- negociação direta com o proprietário;
- desapropriação.

Este último caso requer a autorização legal através de projeto de lei encaminhado pelo chefe do poder executivo à Câmara Municipal e deve estar acompanhado de três avaliações realizadas por peritos juramentados. Geralmente, no processo de desapropriação, as avaliações têm como base o valor venal do imóvel e comparações com as demais propriedades vizinhas, levando a aquisição do imóvel pelo preço de mercado.

Já na negociação direta, fatores como a disposição do proprietário em ceder o imóvel para uma atividade de alto impacto e de interesse público/coletivo e ainda ficando, em muitos casos, com áreas consíguas a gleba cedida para o projeto, que certamente limitará o interesse imobiliário na região, leva a uma valorização superior aos preços de mercado, como forma de compensar essa depreciação imobiliária local.

Os custos da aquisição da área não fizeram parte desse estudo, pois sua aplicação para outros casos não serviria de referência. São muitos os fatores que envolvem a avaliação de uma área, entre eles, destacam-se o interesse imobiliário para a região e a conjuntura econômica da atualidade.

Além dos custos decorrentes da aquisição da área, também devem ser considerados os investimentos com os estudos de localização, levantamento plani-altimétrico,

escrituração, estudos ambientais, elaboração dos projetos básicos e executivos e os custos do processo de licenciamento. Além desses, o modelo de concepção do aterro sanitário, também é fator determinante na composição desses custos.

### 5.3.2 Base de dados do projeto do aterro sanitário de Anápolis

Os custos decorrentes da implantação do projeto foram analisados com base na planta de adequação e revitalização do aterro sanitário, desenvolvido pela Prefeitura Municipal e a empresa de consultoria DBO Engenharia Ltda. A operação do projeto é terceirizada, sendo realizada pela empresa GAE – Construção e Comércio Ltda, formada pelo Consórcio GC Ambiental - GAE/CONSTRURBAN, que realiza a coleta e a disposição final do lixo urbano da cidade.

O modelo atual do projeto associa-se às características e condições topográficas da área, e foi definido pela implantação de aterro sanitário tipo “trincheiras”, com perspectiva futura de verticalização. Na composição desses custos, fatores como a vida útil do aterro sanitário e a produção média de lixo urbano nesse período, em toneladas por dia, foram também consideradas.

Os fatores que orientaram o projeto de adequação e revitalização do aterro sanitário incluem a taxa do crescimento populacional (2% ao ano), projeção da geração média de resíduos urbanos para o período da vida útil em 285,00 toneladas por dia. Ressalta-se que atualmente essa média é de 185,00 t/dia, e o aumento da geração *per capita* de resíduos urbanos, que atualmente é de 0,60 para 0,8 kg / habitante. dia, em fim de projeto.

No Quadro 12 é apresentada a quantidade de Resíduos Sólidos Urbanos - RSU encaminhada para o aterro sanitário de Anápolis no período de vinte e três meses, com média de 5.198,75 t/mês e de 173,29 t/dia. Nos períodos de intensa precipitação pluviométrica, houve um aumento em 30% do peso, em relação aos meses de seca. Os Resíduos dos Serviços de Saúde – RSS, medido no período de vinte e dois meses teve uma produção de média de 47 t/mês e de 1,57 t/dia.

Os resíduos da construção civil utilizado como material de recobrimento primário dos resíduos urbanos expressa apenas a fração que foi levada pelas empresas construtoras ou prestadoras de serviços para disposição no aterro sanitário, não retratando, portanto, o volume total produzido no município. Esses resíduos são recebidos sem custo para o gerador, o qual deve transportá-lo até o local de disposição. A empresa operadora do projeto faz apenas o espalhamento e a compactação desse material sobre a massa de resíduo urbano disposta no aterro.

Quadro 12: Produção de resíduos sólidos urbanos no município de Anápolis

Período			Lixo urbano (t/mês)	Lixo hospitalar (t/mês)	Entulhos (t/mês)
2004	2005	2006			
Agosto			3.075,09		
Setembro			4.354,28	44,21	186,83
Outubro			4.950,03	35,13	233,89
Novembro			5.515,09	28,95	268,57
Dezembro			6.209,99	62,01	279,24
	Janeiro		6.001,05	54,73	296,80
	Fevereiro		5.097,07	50,24	159,17
	Março		5.501,57	59,43	165,67
	Abril		4.997,31	50,97	138,62
	Maio		4.858,73	42,41	279,97
	Junho		4.694,87	42,56	1.213,86
	Julho		4.292,87	39,09	444,47
	Agosto		5.237,89	47,23	257,66
	Setembro		5.463,65	48,75	456,38
	Outubro		5.688,19	44,48	366,02
	Novembro		5.410,40	42,99	337,21
	Dezembro		5.622,90	50,64	622,82
		Janeiro	5.971,32	51,61	617,29
		Fevereiro	5.196,35	44,76	474,82
		Março	6.021,34	56,89	657,8
		Abril	5.241,2	44,18	586,65
		Maio	5.404,59	49,43	529,42
		Junho	4.765,56	41,54	514,67

Fonte: SEMMARH (2006)

As Figuras 23 e 24 mostram respectivamente, que houve uma tendência de crescimento na quantidade de lixo urbano produzido e conduzido ao aterro sanitário de Anápolis no período de 2004 a 2006 e pouca alteração na produção de resíduos do serviço de saúde.

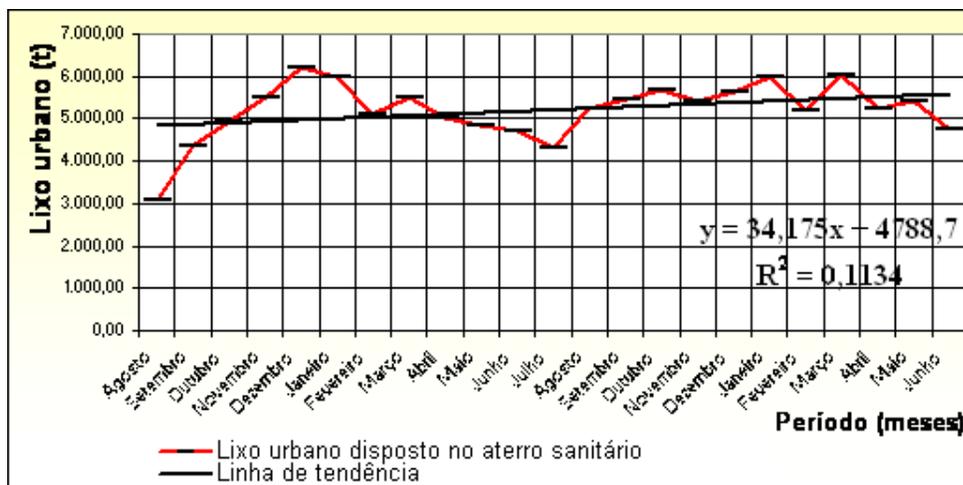


Figura 23: Quantidade de resíduos sólidos urbanos conduzidos para o aterro sanitário de Anápolis

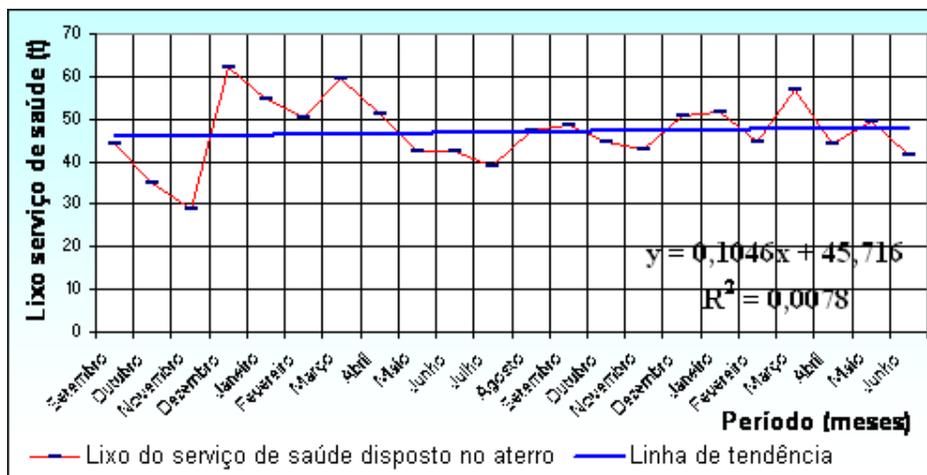


Figura 24: Quantidade de resíduos sólidos do serviço de saúde conduzidos para o aterro sanitário de Anápolis

### 5.3.3 Serviços preliminares

Uma obra tem início com a implantação do canteiro de obras. Tal atividade é usualmente denominada de “Serviços Preliminares” e envolve, entre outras, a verificação da disponibilidade de instalações provisórias e sua necessidade de implantação ou não. Concluída a implantação da obra, faz-se necessário também a retirada dessas instalações. No Quadro 13 são apresentados os principais serviços desenvolvidos nessa fase de implantação do projeto e a composição desses custos.

Quadro 13: Demonstrativo dos serviços e custos das instalações preliminares no modelo atual do aterro sanitário de Anápolis

Item	Discriminação dos serviços	Unidade	Quantidade	* Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)
1	Serviços preliminares				
1.1	Mobilização/desmobilização de equipamentos e pessoal	vb	1,00	24.000,00	24.000,00
1.2	Placa de obra	m <sup>2</sup>	8,00	60,46	483,68
1.3	Serviços topográficos	vb	1,00	5.000,00	5.000,00
1.4	Barracão de obras com instalações elétricas e hidro -sanitárias (chapa 6 mm, padrão)	m <sup>2</sup>	32	91,95	2.942,40
	Total do item				32.426,08

Fonte: Projeto de adequação do aterro sanitário de Anápolis - adaptado (2006)

\* Base de preço unitário – Agência Goiana de Transportes e Obras Públicas (AGTOP), junho (2006)  
Relação (R\$/US\$ 2,251) em junho (2006)

### 5.3.4 Implantação dos elementos básicos do projeto

As trincheiras de disposição dos resíduos sólidos urbanos e dos resíduos de serviço de saúde e as lagoas de tratamento do percolato fazem parte do conjunto dos elementos básicos do projeto do aterro sanitário de Anápolis e requerem maior volume de serviços na fase de implantação e durante o período de operação.

Esses serviços estão relacionados com a movimentação de terra, o que resulta em uma seqüência de operações de escavação, carga, transporte, descarga, compactação, impermeabilização e acabamentos, executados a fim de transpor de um terreno no estado natural para uma nova conformação topográfica desejada.

A extensão desses serviços está ligada aos estudos de sondagens da área, que produzem valiosas informações sobre a natureza do terreno, como: características do solo, espessuras das camadas, nível do lençol freático, além de indicar o tipo de equipamento a ser utilizado para escavação e retirada de material. Através desses dados da sondagem, também é possível identificar o tipo de impermeabilização mais adequada a ser realizada na base do aterro.

#### a) Trincheira de resíduos sólidos urbanos

No Quadro 14 são apresentados os principais serviços requeridos na implantação do conjunto das trincheiras de disposição dos resíduos sólidos urbanos - RSU de Anápolis. Dentre esses serviços, tem maior influência na composição dos custos, o volume de movimentação de terra (escavação, transporte, disposição, compactação e acabamento).

Quadro 14: Demonstrativo dos serviços e custos da construção das trincheiras de RSU, no modelo atual do aterro sanitário de Anápolis

Item	Discriminação dos serviços	Unidade	Quantidade	* Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)
2	Terraplenagem				
2.1	Execução das trincheiras de R.S.U				
2.1.1	Limpeza espessura (0,15 m)	m <sup>2</sup>	323.400,00	0,15	48.510,00
2.1.2	Escavação e carga	m <sup>3</sup>	95.000,00	3,83	363.850,00
2.1.3	Transporte material escavado de 1ª categoria distância ≤ 1 km	m <sup>3</sup> .km	123.500,00	5,28	652.080,00
2.1.4	Aterro compactado	m <sup>2</sup>	36.000,00	2,44	87.840,00
	Total do item				1.152.280,00

Fonte: Projeto de adequação do aterro sanitário de Anápolis - adaptado (2006)

\* Base de preço unitário – Agência Goiana de Transportes e Obras Públicas (AGTOP), junho (2006)  
Relação (R\$/US\$ 2,251) em junho (2006)

b) Trincheira de resíduos de serviço de saúde

A composição dos custos de construção das trincheiras sanitárias destinadas a disposição dos resíduos dos serviços de saúde – RSS, é apresentada no Quadro 15. Tem maior influência a movimentação de terra (escavação, transporte, disposição, compactação e acabamento). A cobertura, quando realizada, tem se mostrado como excelente modelo de proteção à contribuição das águas de chuva na massa de resíduo, eliminando assim a necessidade da execução de sistema de drenagem de percolado e resultando em ganhos ambientais e economia na operação do projeto.

Quadro 15: Demonstrativo dos custos da construção do conjunto das trincheiras de R.S.S no modelo atual do aterro sanitário de Anápolis

Item	Discriminação dos serviços	Unidade	Quantidade	* Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)
2	Terraplenagem				
2.2	Execução das trincheiras de R.S.S.				
2.2.1	Limpeza da espessura $\leq 0,15$ m	m <sup>2</sup>	12.960,00	0,15	1.944,00
2.2.2	Escavação e carga	m <sup>3</sup>	13.200,00	3,83	50.556,00
2.2.3	Transporte material escavado de 1ª categoria distância $\leq 1$ km	m <sup>3</sup> .km	17.160,00	5,28	90.604,80
2.2.4	Aterro compactado	m <sup>2</sup>	2.400,00	2,44	5.856,00
	Total do item				148.960,80

Fonte: Projeto de adequação do aterro sanitário de Anápolis - adaptado (2006)

\* Base de preço unitário – Agência Goiana de Transportes e Obras Públicas (AGTOP), junho (2006)  
Relação (R\$/US\$ 2,251) em junho (2006)

c) Lagoas de estabilização - tratamento do percolado

O emprego de lagoas de estabilização foi o tratamento indicado para o percolado gerado no aterro sanitário de Anápolis. Certamente, dentre os processos recomendados, é o que apresenta menor custo de operação. O Quadro 16 mostra os serviços requeridos em sua implantação e, também neste caso, tem maior influência na composição desses custos a movimentação de terra (escavação, transporte, disposição, compactação e acabamento). Este sistema está concebido por duas lagoas anaeróbias e duas lagoas facultativas.

Quadro 16: Demonstrativo dos custos de implantação das lagoas de estabilização no modelo atual do aterro sanitário de Anápolis

Item	Discriminação dos serviços	Unidade	Quantidade	* Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)
2	Terraplenagem				
2.3	Execução das lagoas de estabilização				
2.3.1	Limpeza; espessura $\leq 0,15$ cm	m <sup>2</sup>	25.000,00	0,15	3.750,00
2.3.2	Escavação e carga	m <sup>3</sup>	38.000,00	3,83	145.540,00
2.3.3	Transporte de material escavado de 1ª categoria; distância $\leq 1$ km	m <sup>3</sup> .km	49.400,00	5,28	260.832,00
2.3.4	Aterro compactado	m <sup>3</sup>	4.300,00	2,44	10.492,00
	Total do item				420.614,00

Fonte: Projeto de adequação do aterro sanitário de Anápolis - adaptado (2006)

\* Base de preço unitário – Agência Goiana de Transportes e Obras Públicas (AGTOP), junho (2006)

Relação (R\$/US\$ 2,251) em junho (2006)

#### d) Impermeabilização dos elementos básicos do projeto

O material utilizado para a impermeabilização desses elementos do projeto do aterro sanitário de Anápolis, foi a Geomembrana de Polietileno de Alta Densidade – PEAD. Para essa indicação, fatores como a permeabilidade do solo local e a posição do nível do lençol freático foram decisivas, uma vez que a área está localizada a menos de duzentos metros do leito do Córrego Capão Cumprido, requerendo para esse caso maior segurança na impermeabilização da base desses elementos. Foi utilizada a geomembrana com espessura de 2,0 mm para a impermeabilização das trincheiras de disposição de resíduos e de 1,0 mm para a impermeabilização das lagoas de tratamento do percolado.

Vale ressaltar que tem grande influência nos custos da impermeabilização com utilização de geomembrana de PEAD, o tipo de membrana a ser utilizada, que pode ser com ou sem proteção de uma das faces, sua espessura, a modalidade de aquisição (tomada de preço, carta convite e por licitação) e a localização geográfica da obra (distância em relação ao fornecedor). Na aquisição do produto deve estar especificada a entrega, montagem e solda das emendas na obra.

O Quadro 17 mostra os custos (preços médios praticados – julho/2006) na impermeabilização da base das trincheiras e das lagoas de tratamento do percolado. Esse método de impermeabilização apresenta boa eficiência e induz a uma maior confiabilidade do processo no olhar dos visitantes.

Quadro 17: Demonstrativo dos custos da impermeabilização com geomembrana de PEAD no modelo atual do aterro sanitário de Anápolis

Item	Discriminação dos serviços	Unidade	Quantidade	Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)
3	Impermeabilização				
3.1	Impermeabilização com PEAD				
3.1.1	Trincheira de resíduos domésticos (2,0 mm)	m <sup>2</sup>	166.000,00	24,50	4.067.000,00
3.1.2	Trincheira de resíduos sólidos serviços saúde (2,0 mm)	m <sup>2</sup>	5.500,00	24,50	134.750,00
3.1.3	Lagoas (1,0 mm)	m <sup>2</sup>	18.000,00	13,73	247.140,00
	Total do item				4.448.890,00

Fonte: Projeto de adequação do aterro sanitário de Anápolis - adaptado (2006)  
Relação (R\$/US\$ 2,251) em junho (2006)

Como alternativa ao uso de geomembrana de PEAD, são apresentados no Quadro 18 os custos esperados na impermeabilização da base das trincheiras de R.S.U. e R.S.S. e das lagoas de tratamento do percolado com a utilização de solo argiloso compactado com coeficiente de permeabilidade inferior  $10^{-7}$  cm/s a 95% P.N. Nesse estudo, recomendou-se uma espessura de 80 cm para a base das trincheiras e 60 cm para base das lagoas. Deve-se ressaltar que esse método pode induzir a uma baixa confiabilidade na impermeabilização aos olhares dos visitantes. Entretanto, pode-se demonstrar que quando executada corretamente a compactação, o tempo para que uma possível pluma de contaminantes atravessasse uma camada com espessura de 80 cm, compactada com coeficiente de permeabilidade inferior  $10^{-7}$  cm/s a 95% P.N, será de aproximadamente 25 anos.

Quadro 18: Demonstrativo dos custos da impermeabilização com solo argiloso compactado, alternativa proposta para o aterro sanitário de Anápolis

Item	Discriminação dos serviços	Unidade	Quantidade	*Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)
3	Impermeabilização				
3.2	Impermeabilização com solo argiloso compactado				
3.2.1	Trincheira de resíduos domésticos (0,8 m)	m <sup>2</sup>	166.000,00	9,24	1.533.840,00
3.2.2	Trincheira de resíduos sólidos serviços saúde (0,8 m)	m <sup>2</sup>	5.500,00	9,24	50.820,00
3.2.3	Lagoas (0,6 m)	m <sup>2</sup>	18.000,00	6,93	124.7740,00
	Total do item				1.709.400,00

Fonte: Projeto de adequação do aterro sanitário de Anápolis - adaptado (2006)

\* Base de preço unitário adaptado - Agência Goiana de Transportes e Obras Públicas (AGTOP), junho (2006)  
Relação (R\$/US\$ 2,251) em junho (2006)

### 5.3.5 Controle e drenagem das águas superficiais

Estas ações visam evitar a ocorrência de inundações, erosão e assoreamento da

própria área de disposição dos resíduos sólidos urbanos as áreas vizinhas. O Quadro 19 mostra a composição dos custos na execução das obras de drenagem das águas pluviais da área do projeto do aterro sanitário de Anápolis, com a utilização de canaletas de concreto.

Algumas dessas canaletas podem ser executadas em terra batida nas vias internas de acesso provisório a área de disposição dos resíduos sólidos urbanos, com declividade máxima de 2%, permitindo assim o escoamento e direcionamento das águas pluviais para as bacias de contenção, sem que resulte no surgimento de processos erosivos na área.

Quadro 19: Demonstrativo dos serviços e custos da drenagem das águas pluviais no modelo atual do aterro sanitário de Anápolis

Item	Discriminação dos serviços	Unidade	Quantidade	* Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)
4	Drenagem das águas pluviais				
4.1	Canaletas de 0,60	m	2.886,00	28,00	80.808,00
4.2	Canaletas de 0,80	m	756,00	45,00	34.020,00
4.3	Caixa coletora	un	1,00	1.101,62	1.101,62
4.4	Bueiro tubular simples de concreto $\phi$ 0.60 m	m	55,00	152,76	8.401,80
4.5	Bueiro tubular simples de concreto $\phi$ 0.80 m	m	45,00	245,39	11.042,55
4.6	Boca de bueiro simples $\phi$ 0.60 m	un	6,00	401,29	2.407,74
4.7	Boca de bueiro simples $\phi$ 0.80 m	un	6,00	456,17	2.737,02
4.8	Dissipador de energia	un	7,00	890,00	6.230,00
	Total do item				146.748,70

Fonte: Projeto de adequação do aterro sanitário de Anápolis - adaptado (2006)

\* Base de preço unitário – Agência Goiana de Transportes e Obras Públicas (AGTOP), junho (2006)  
Relação (R\$/US\$ 2,251) em junho (2006)

### 5.3.6 Controle, drenagem e tratamento de percolados

Neste projeto, o sistema de drenagem do percolado é realizado com a utilização da geomembrana de PEAD na impermeabilização das trincheiras e construção de valas drenantes, que direciona o percolado para as lagoas de estabilização (anaeróbia e facultativa), seguido da recirculação (sistema atual) desse percolado para a massa de resíduo disposto no aterro sanitário. No Quadro 20 encontra-se apresentada a composição dos custos na execução das obras de drenagem do percolado do projeto do aterro sanitário de Anápolis, com a utilização de canal preenchido com pedra maroadada (dreno cego) e tubulações de Cloreto de Polivinila – PVC, na execução das redes condutoras desse percolado até às lagoas de tratamento. Também fazem parte do sistema de condução do percolado às lagoas de tratamento, os poços de visita construídos em alvenaria (bloco de concreto) com profundidade média de 1,50 metro.

Quadro 20: Demonstrativo dos serviços e custos da drenagem do percolado no modelo atual do aterro sanitário de Anápolis

Item	Discriminação dos serviços	Unidade	Quantidade	* Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)
5	Rede de drenagem do percolado				
5.1	Drenos de percolado	m	6.800,00	76,12	517.616,00
6.2	Tubulação de 200 mm	m	510,00	32,90	16.779,00
5.3	Tubulação de 150 mm (lagoas)	m	756,00	23,07	17.440,92
5.4	Tubulação de 100 mm	m	52,00	11,95	621,40
5.5	Poços de visita de (1,0 x 1,0) m	un	20,00	989,20	19.784,00
	Total do item				572.259,70

Fonte: Projeto de adequação do aterro sanitário de Anápolis - adaptado (2006)

\* Base de preço unitário – Agência Goiana de Transportes e Obras Públicas (AGTOP), junho (2006)  
Relação (R\$/US\$ 2,251) em junho (2006)

O conjunto do sistema de tratamento preliminar do percolado foi constituído por gradeamento, caixa desarenadora e medidor de vazão. O Quadro 21 mostra a composição dos custos na execução desses elementos do sistema preliminar de tratamento e medição do volume de percolado produzido diariamente no projeto do aterro sanitário de Anápolis.

Quadro 21: Demonstrativo dos serviços e custos do tratamento preliminar do percolado no modelo atual do aterro sanitário de Anápolis

Item	Discriminação dos serviços	Unidade	Quantidade	Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)
6	Tratamento preliminar do percolado				
6.1	Gradeamento / caixa de areia / medidor de vazão	un	1,00	8.539,00	8.539,00
	Total do item				8.539,00

Fonte: Projeto de adequação do aterro sanitário de Anápolis - adaptado (2006)

Relação (R\$/US\$ 2,251) em junho (2006)

A recirculação do percolado no estado bruto para a massa de lixo compactada e aterrada como é feito atualmente no projeto de Anápolis, embora tenha custos menores pela não existência das lagoas de tratamento, certamente aumenta as concentrações de contaminantes desse percolado e a possibilidade da contaminação da área por possíveis migrações desses no solo, atingindo o lençol freático. A implantação do sistema de tratamento por lagoas de estabilização certamente minimiza esse problema, pois, mesmo que não remova os metais solúveis, reduz consideravelmente a concentração de cargas de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e da Demanda Química de Oxigênio (DQO).

Após essa etapa, o percolado será recirculado para a massa dos resíduos sólidos do aterro, como forma de destinação final. O Quadro 22 mostra a composição dos custos esperados na implantação do sistema de bombeamento e recirculação desse percolado na área do projeto do aterro sanitário de Anápolis.

Quadro 22: Demonstrativo dos serviços e custos do sistema de recirculação do percolado no modelo atual do aterro sanitário de Anápolis

Item	Discriminação dos serviços	Unidade	Quantidade	Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)
7	Recirculação do percolado				
7.1	Caixa de recalque	un	1,00	15.990,00	15.990,00
7.2	Conjunto motor-bomba - 2 Hp - auto escorvante	un	2,00	1.550,00	3.100,00
7.3	Canalização de sucção c/ conexões	m	3,00	24,34	73,02
7.4	Canalização de recalque c/ conexões	m	160,00	16,24	2.598,40
	Total do item				21.761,42

Fonte: Projeto de adequação do aterro sanitário de Anápolis - adaptado (2006)  
Relação (R\$/US\$ 2,251) em junho (2006)

### 5.3.7 Controle e drenagem dos gases

A drenagem dos gases nesse projeto é realizada através de tubos de concreto perfurado (800 mm) posicionados verticalmente desde a camada inferior dos resíduos sólidos até a superfície, preenchidos com pedras maroadas e envolvidos por uma camisa também de pedra maroadada com cerca de 40 cm de raio. A queima dos gases é realizada na extremidade superior do dreno. No Quadro 23 encontra-se apresentada a composição dos custos na execução das obras de drenagem dos gases do projeto do aterro sanitário de Anápolis.

Quadro 23: Demonstrativo dos serviços e custos da drenagem dos gases no modelo atual do aterro sanitário de Anápolis

Item	Discriminação dos serviços	Unidade	Quantidade	*Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)
8	Drenagem dos gases				
8.1	Tubos de concreto (800 mm)	m	1.400,00	159,99	223.994,40
8.2	Brita (pedra maroadada)	m <sup>3</sup>	2.813,44	40,00	112.537,60
	Total do item				336.532,00

Fonte: Projeto de adequação do aterro sanitário de Anápolis - adaptado (2006)

\* Base de preço unitário – Agência Goiana de Transportes e Obras Públicas (AGTOP), junho (2006)  
Relação (R\$/US\$ 2,251) em junho (2006)

### 5.3.8 Vias de Acesso

A pista de acesso e de serviços internos do aterro sanitário de Anápolis tem sua conformação ilustrada na Figura 25. No Quadro 24 encontra-se apresentada a composição dos custos na execução dessas obras incluindo os serviços de manutenção periódicos e temporários.

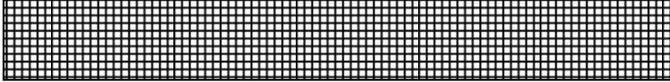
Base de rolamento - Cascalho		≥ 10 cm
Subleito - solo local ou entulho compactado		≥ 20 cm
Largura - 6,00 a 8,00 m		

Figura 25: Esquema da pista com revestimento primário no aterro sanitário de Anápolis

Quadro 24: Demonstrativo dos serviços e custos da via de acesso no modelo atual do aterro sanitário de Anápolis

Item	Discriminação dos serviços	Unidade	Quantidade	* Preço Unitário (R\$)	Preço total (R\$)
9	Via de acesso - terraplenagem				
9.1	Escavação e carga material de jazida	m <sup>3</sup>	2.250	3,83	8.617,50
9.2	Transporte de material de jazida (cascalho), distância ≤ 1,0 km	m <sup>3</sup> .km	2.250	5,28	11.880,00
9.3	Espalhamento e compactação do material	m <sup>2</sup>	15.000	0,22	3.300,00
	Total do item				23.797,50

Fonte: Projeto de adequação do aterro sanitário de Anápolis - adaptado (2006)

\* Base de preço unitário – Agência Goiana de Transportes e Obras Públicas (AGTOP), junho (2006)

Relação (R\$/US\$ 2,251) em junho (2006)

### 5.3.9 Poços de monitoramento

No Quadro 25 encontra-se apresentada a composição dos custos de execução dos poços da rede de monitoramento do aquífero freático para a abrangência de toda área do projeto do aterro sanitário de Anápolis. Embora a legislação estabeleça a execução de três poços de monitoramento, nesse projeto foi proposta a execução de sete poços, dada a sensibilidade ambiental da localização da área, que é drenada a sua esquerda pelo Córrego Capão Comprido.

Quadro 25: Demonstrativo dos serviços e custos da implantação dos poços de monitoramento no modelo atual do aterro sanitário de Anápolis

Item	Discriminação dos serviços	Unidade	Quantidade	Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)
10	Implantação dos poços de monitoramento				
10.1	Poços de monitoramento	un	7,00	2.000,00	14.000,00
10.2	Caixa de proteção com tampa	un	7,00	400,00	2.800,00
	Sub-total				16.800,00

Fonte: Projeto de adequação do aterro sanitário de Anápolis - adaptado (2006)

Relação (R\$/US\$ 2,251) em junho (2006)

Considerando que os custos da implantação desses poços de monitoramento são relativamente baixos, se comparado com os custos totais do projeto, quanto maior for a abrangência da amostragem, maior será a certeza da identificação de possíveis contaminações ambientais. Portanto, quanto maior for a rede de poços de monitoramento, menor será o risco à exposição dos usuários a alguma alteração na qualidade das águas do lençol freático na área de influência do projeto.

### 5.3.10 Cercamento e portão

O cercamento da área é executado para dificultar o ingresso de animais e pessoas não autorizadas na área do aterro sanitário. Nesse projeto, está proposta a construção de cerca com 10 fios de arame farpado, com 1,60 m de altura, poste de concreto pré-moldado, e dimensões de 10 x 10 x 250 cm, armado com 4 ferros de  $\Phi$  5,6 mm e 25 estribos  $\Phi$  4.2 mm a cada 10 cm, com espaçamento entre os postes de 2,50 m e a cada 30,0 metros um poste esticador, com dimensões de 15 x 15 x 250 cm, armado com  $\Phi$  5,6 mm e 25 estribos  $\Phi$  4.2 mm a cada 10 cm. As dimensões propostas certamente consideram a proximidade da área com o perímetro urbano da cidade. No Quadro 26 encontra-se apresentada a composição dos custos na execução do fechamento da área do projeto do aterro sanitário de Anápolis.

Para o controle do acesso a área, foi recomendada uma porteira executada em metal, com duas folhas de três metros de comprimento e 1,50 metros de altura cada uma, fixadas através de dobradiças de ferro em colunas de concreto, com dimensões de 20 cm x 20 cm.

Quadro 26: Demonstrativo dos serviços e custos do cercamento da área no modelo atual do aterro sanitário de Anápolis

Item	Discriminação dos serviços	Unidade	Quantidade	*Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)
11	Cerca de vedação - perímetro da área				
11.1	Cerca de arame farpado 10 fios c/ poste de concreto	ml	1.490,00	20,33	30.291,70
11.2	Portão c/ tela e tubo galvanizado e ferragem, duas folhas 2 x 1,5 x 3,0 m	m <sup>2</sup>	9,00	200,78	1.807,02
	Total do item				32.098,72

Fonte: Projeto de adequação do aterro sanitário de Anápolis - adaptado (2006)

\* Base de preço unitário – Agência Goiana de Transportes e Obras Públicas (AGTOP), junho (2006)  
Relação (R\$/US\$ 2,251) em junho (2006)

### 5.3.11 Formação do cinturão verde no perímetro da área

Nesse projeto a formação do cinturão verde se dará pelo plantio de uma linha de Sanção-do-campo, distanciada dois metros da cerca e com espaçamento de 20 cm entre as mudas (5,0 mudas por metro) e para o plantio do Eucalipto também uma linha distanciada cinco metros da cerca, com espaçamento de 2,50 metros entre as mudas (0,4 mudas por metro). No Quadro 27 encontra-se apresentada a composição dos custos na implantação desse cinturão verde no perímetro da área do projeto do aterro sanitário de Anápolis.

Quadro 27: Demonstrativo dos serviços e custos da urbanização do perímetro da área no modelo atual do aterro sanitário de Anápolis

Item	Discriminação dos serviços	Unidade	Quantidade	Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)
12	Cinturão verde - perímetro da área				
12.1	Plantio de gramíneas	m <sup>2</sup>	84.600,00	0,53	44.838,00
12.2	Plantio de eucalipto e sansão do campo	ml	1.490,00	6,50	9.685,00
	Total do item				54.523,00

Fonte: Projeto de adequação do aterro sanitário de Anápolis - adaptado (2006)  
Relação (R\$/US\$ 2,251) em junho (2006)

### 5.3.12 Balança

No projeto do aterro sanitário de Anápolis optou-se pela instalação da balança rodoviária (modelo convencional), já que os serviços de coleta, transporte e destinação dos resíduos sólidos urbanos são terceirizados, o que requer confiabilidade na medição dos serviços prestados. A pesagem para o cálculo do peso líquido da quantidade dos resíduos sólidos urbanos coletados e dispostos no aterro sanitário, torna-se, portanto, indispensável para a remuneração desses serviços. No Quadro 28 encontra-se demonstrada a composição dos custos de instalação da balança (40 t), com plataforma de 9 x 3 m, para o projeto de aterro sanitário de Anápolis.

Quadro 28: Demonstrativo dos custos e serviços de instalação da balança no modelo atual do aterro sanitário de Anápolis

Item	Discriminação dos serviços	Unidade	Quantidade	Preço Unitário (R\$)	Preço total (R\$)
13	Instalação da balança				
13.1	Balança de 40 t, com plataforma de 11 x 3 m	un	01	47.000,00	47.000,00
13.2	Obras civis de instalação	vb	01	25.000,00	25.000,00
	Total do item				72.000,00

Fonte: TOLEDO DO BRASIL (2006)  
Relação (R\$/US\$ 2,251) em junho (2006)

### 5.3.13 Jazida de material de recobrimento

A jazida de material utilizado na cobertura dos resíduos sólidos urbanos dispostos no aterro sanitário de Anápolis é obtida na própria área do projeto. A existência dessa jazida dentro da área tem relação direta nos custos, que relaciona com a distância inferior a um quilômetro a ser percorrida no transporte desse material.

Tais trabalhos consistem na escavação e carga do material em caminhões com capacidade de 6,0 m<sup>3</sup>, transporte até o local, espalhamento e compactação, resultando na composição dos custos de operação do projeto apresentado no Quadro 29.

Quadro 29: Demonstrativo dos custos e serviços de recobrimento do aterro no modelo atual do aterro sanitário de Anápolis

Item	Discriminação dos serviços	Unidade	Quantidade	* Preço Unitário (R\$)	Preço total (R\$)
14	Recobrimento do aterro				
14.1	Recobrimento do aterro com solo de jazida				
14.1.1	Escavação e carga material de jazida, 1ª categoria.	m <sup>3</sup>	102.900,00	3,83	394.107,00
14.1.2	Transporte de material de jazida distância ≤ 1,0 km	m <sup>3</sup> .km	102.900,00	5,28	543.312,00
14.1.3	Espalhamento e compactação do material	m <sup>2</sup>	171.500,00	0,22	37.730,00
	Total do item				975.149,00

Fonte: Projeto de adequação do aterro sanitário de Anápolis - adaptado (2006)

\* Base de preço unitário – Agência Goiana de Transportes e Obras Públicas (AGTOP), junho (2006)  
Relação (R\$/US\$ 2,251) em junho (2006)

Como alternativa ao recobrimento usual das células dos resíduos sólidos urbanos com solo de jazida, é apresentado no Quadro 30 os custos esperados com a cobertura utilizando entulho da construção civil. Deve-se ressaltar que o custo de transporte desse material até o local de disposição está a cargo do gerador, cabendo ao operador do projeto o espalhamento e a compactação de uma camada uniformemente distribuída sob a massa dos resíduos sólidos de aproximadamente 20 cm para a cobertura intermediária e de 50 cm na cobertura final.

Quadro 30: Demonstrativo dos custos e serviços de recobrimento do aterro – alternativa proposta para o aterro sanitário de Anápolis

Item	Discriminação dos serviços	Unidade	Quantidade	* Preço Unitário (R\$)	Preço total (R\$)
14	Recobrimento do aterro				
14.2	Recobrimento do aterro com entulho da construção civil				
14.2.1	Espalhamento e compactação do material	m <sup>2</sup>	171.500,00	0,22	37.730,00
	Total do item				37.730,00

Fonte: Projeto de adequação do aterro sanitário de Anápolis - adaptado (2006)

\* Base de preço unitário – Agência Goiana de Transportes e Obras Públicas (AGTOP), junho (2006)  
Relação (R\$/US\$ 2,251) em junho (2006)

Com o recebimento desses entulhos na área do projeto de Anápolis, tem-se a possibilidade da administração auferir receita com a instituição de taxa por tonelada de material recebido. Para isso, há a necessidade de ser regulamentado por lei específica do município, tendo como princípio que a responsabilidade pelo destino final do entulho é atribuída ao gerador.

#### 5.3.14 Instalações de apóio

As instalações básicas de apóio propostas para o aterro sanitário de Anápolis, constituem de três edificações: portaria, administração e almoxarifado. Foram concebidas de forma a simplificar os métodos executivos, tornando-as mais adequadas a realidade do projeto.

O prédio da portaria está construído com uma área de 10,00 m<sup>2</sup>. O prédio administrativo abriga a sala da gerência do aterro, copa cozinha e os vestiários com sanitários, totalizando uma área construída de 45,00 m<sup>2</sup>. No prédio do almoxarifado está em anexo a área coberta para manutenção de maquinas, totalizando uma área construída de 60,00 m<sup>2</sup>. Pela própria condição local dessas instalações, são edificações singelas embora requeiram total conforto para maior satisfação dos operários, representando investimentos pouco expressivos se comparados a sua importância, com os custos totais do projeto mostrados no Quadro 31.

Quadro 31: Demonstrativo dos custos das instalações de apoio no modelo atual do aterro sanitário de Anápolis

Item	Discriminação dos serviços	Unidade	Quantidade	*Preço Unitário (R\$)	Preço total (R\$)
15	Edifícios de apóio				
15.1	Edificação com acabamento, mais instalações hidro - sanitária , elétrica e telefônica	m <sup>2</sup>	115,00	486,07	55.898,05
	Total do item				

\* Base de preço unitário – Agência Goiana de Transportes e Obras Públicas (AGTOP), junho (2006)  
Relação (R\$/US\$ 2,251) em junho (2006)

#### 5.4 Análise dos custos decorrentes da implantação

O conjunto de elementos que compõe os custos das obras e serviços de implantação e operação continuada do projeto, mostra que são vários os fatores que influenciam direta e indiretamente essa composição. A pluralidade desses fatores requer amplo conhecimento dos profissionais que atuam na elaboração de orçamento de projetos de aterro sanitário, implantação e operação, para que a diversidade desses fatores, não conduza a uma composição de custos que não seja condizente com modelo do projeto proposto.

Dois fatores foram relevantes na composição dos custos do projeto do aterro sanitário de Anápolis:

- uso de geomembrana de PEAD na impermeabilização e solo de jazida no recobrimento dos resíduo sólido urbano disposto no aterro (modelo do projeto atual); e
- uso de solo argiloso compactado na impermeabilização e entulho da construção civil como material de recobrimento primário do resíduo sólido urbano disposto no aterro (modelo alternativo proposto).

A escolha para a utilização de um ou outro tipo de material, para que não resulte em prejuízos ambientais locais, está relacionada com a qualidade e confiabilidade na execução das obras e serviços. Esses dois fatores serão discutidos a seguir.

#### a) Sistema de implantação - modelo do projeto atual

Na Tabela 6 encontra-se apresentada a influência de cada elemento na composição dos custos da implantação, adequação e revitalização do aterro sanitário de Anápolis, com uso de geomembrana de PEAD na impermeabilização e solo de jazida no recobrimento do resíduo sólido urbano disposto no aterro.

Tabela 6: Influência dos elementos do projeto nos custos de implantação para o modelo atual do aterro sanitário de Anápolis

Item	Discriminação dos serviços	Preço total (R\$)	Participação de cada elemento (%)
1	Serviços preliminares	32.426,08	0,38
2	Terraplenagem (trincheiras de RSU, trincheiras de RSS, lagoas de estabilização)	1.721.854,80	20,21
3	Impermeabilização com PEAD (trincheira de resíduos domésticos 2,0 mm, trincheira de resíduos sólidos serviços saúde 2,0 mm, lagoas de estabilização 1,0 mm)	4.448.890,00	52,22
4	Drenagem das águas pluviais	146.748,70	1,72
5	Rede de drenagem do percolado mais poços de visita	572.259,70	6,72
6	Tratamento preliminar do percolado (gradeamento / caixa de areia / medidor de vazão)	8.539,00	0,10
7	Recirculação do percolado	21.761,42	0,26
8	Drenagem dos gases	336.532,00	3,95
9	Via de acesso - terraplenagem	23.797,50	0,30
10	Implantação dos poços de monitoramento	16.800,00	0,19
11	Cerca de vedação - perímetro da área	32.098,72	0,37
12	Cinturão verde - perímetro da área	54.523,00	0,64
13	Instalação da balança	72.000,00	0,85
14	Recobrimento do aterro com solo de jazida	975.149,00	11,44
15	Edifícios de apóio	55.898,05	0,65
	TOTAL	8.519.277,97	100

Relação (R\$/US\$ 2,251) em junho (2006)

A Figura 26 mostra a participação, em termos percentuais, de cada elemento do projeto na composição dos custos totais de implantação, destacando os gastos com a impermeabilização usando geomembrana de PEAD. Embora não seja uma exigência legal, o uso de geomembrana na impermeabilização da base dos aterros sanitário tem resultado na maior confiabilidade a proteção ambiental, justificando os custos com o uso desse material.

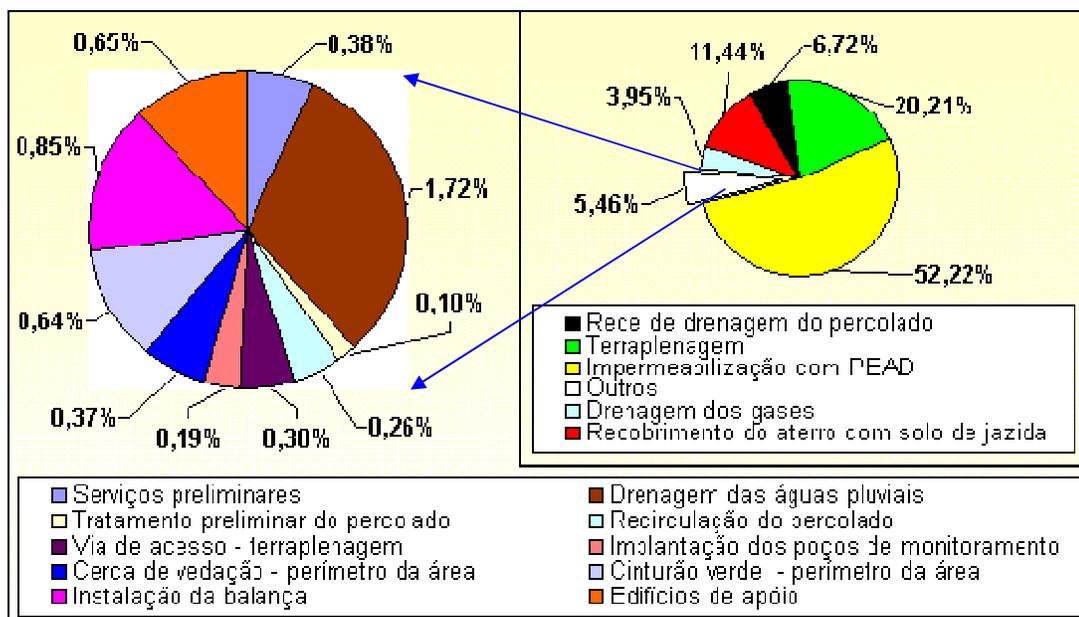


Figura 26: Participação dos elementos do projeto na composição dos custos de implantação do modelo do projeto atual do projeto de Anápolis

O custo mais elevado na impermeabilização em relação aos serviços de terraplenagem já era esperado, uma vez que neste projeto, parte dos serviços de movimentação de solo, como corte e aterro, já havia sido executada. É normal nesse caso, o custo com a movimentação de solo situar-se em torno de 60% dos custos totais da execução do projeto e a impermeabilização com geomembrana em torno de 30%.

Muitos dos custos desses elementos são considerados como investimentos singulares na implantação do projeto (serviços preliminares, tratamento do percolado, lagoas de estabilização, implantação dos poços de monitoramento, cerca de vedação, instalação da balança, edifícios de apoio etc.) e outros são parte integrante do processo continuado dessa implantação (trincheiras de RSU e RSS, impermeabilização, drenagem das águas pluviais e do percolado e sua recirculação, drenagem dos gases, vias de acesso, formação do cinturão verde, recobrimento do aterro, etc.). Dessa forma, muitos desses custos podem ser contabilizados como investimentos a serem gastos ao longo da vida útil do projeto somando-se aqueles de conservação das instalações.

As Figuras 27 e 28 mostram a influência dos investimentos iniciais e ao longo da

vida útil do projeto, que de certa forma tem sua implantação estabelecida pelo princípio da execução progressiva das obras (etapas), correspondentes ao cronograma físico equivalente a operação. Assim, a base dos investimentos ocorre ao longo da vida útil e com ampla possibilidade de previsão orçamentária, evitando problemas de descontinuidade da operação do projeto por escassez de recursos.



Figura 27: Influência dos investimentos ao longo da vida útil do projeto de Anápolis

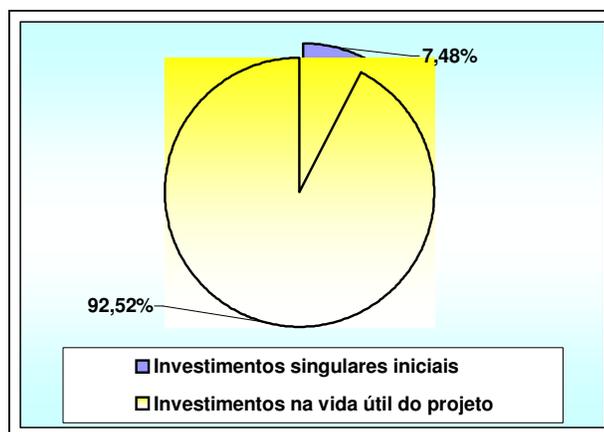


Figura 28: Participação dos investimentos iniciais e ao longo da vida útil do projeto de Anápolis, segundo o modelo atual.

O aterro sanitário de Anápolis está projetado para uma vida útil de dezesseis anos de operação. Os custos requeridos ao longo desse período mostrados na Figura 29, representam um investimento de 6,25% ao ano do custo total de implantação. Na fase inicial deve-se considerar que a partida é representada pela soma dessa fração inicial (6,25%) mais a fração dos investimentos das obras singulares (7,48%), totalizando 13,73% dos custos previstos. Portanto, a partida inicial dos investimentos soma R\$ 1.169.696,90 e, ao longo do horizonte de projeto, R\$ 459.348,81 ao ano.

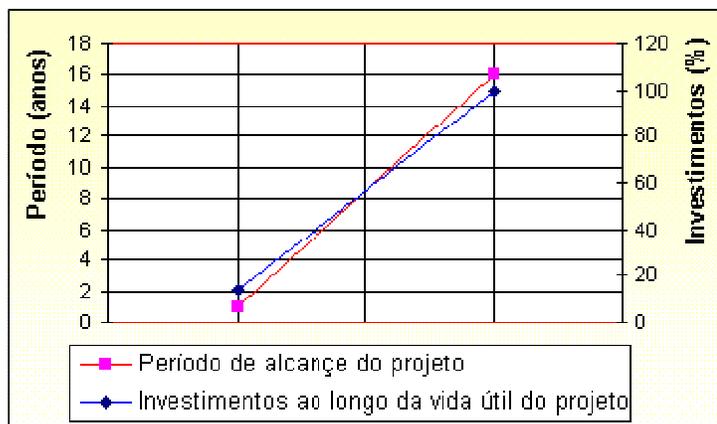


Figura 29: Desembolso acumulado no período da vida útil do projeto atual de Anápolis

b) Sistema de implantação - modelo alternativo proposto para o projeto

Na Tabela 7 encontra-se apresentada a influência de cada elemento na composição dos custos com o uso de material alternativo na implantação, adequação e revitalização do aterro sanitário de Anápolis - uso de solo argiloso compactado na impermeabilização e entulho da construção civil como material de recobrimento do resíduo sólido urbano disposto no aterro.

Tabela 7: Influência dos elementos do projeto nos custos de implantação para o modelo alternativo proposto para o aterro sanitário de Anápolis

Item	Discriminação dos serviços	Preço total (R\$)	Participação de cada elemento (%)
1	Serviços preliminares	32.426,08	0,67
2	Terraplenagem (trincheiras de RSU, trincheiras de RSS, lagoas de estabilização)	1.721.854,80	35,55
3	Impermeabilização solo argiloso compactado com coeficiente de permeabilidade inferior $10^{-7}$ cm/s a 95% P.N (trincheira de resíduos domésticos 2,0 mm, trincheira de resíduos sólidos serviços saúde 0,80 m, lagoas de estabilização 0,6 m)	1.709.400,00	35,30
4	Drenagem das águas pluviais	146.748,70	3,03
5	Rede de drenagem do percolado mais poços de visita	572.259,70	11,80
6	Tratamento preliminar do percolado (gradeamento / caixa de areia / medidor de vazão)	8.539,00	0,17
7	Recirculação do percolado	21.761,42	0,50
8	Drenagem dos gases	336.532,00	6,95
9	Via de acesso – terraplenagem	23.797,50	0,50
10	Implantação dos poços de monitoramento	16.800,00	0,34
11	Cerca de vedação - perímetro da área	32.098,72	0,66
12	Cinturão verde - perímetro da área	54.523,00	1,12
13	Instalação da balança	72.000,00	1,48
14	Recobrimento do aterro com entulho da construção civil	37.730,00	0,78
15	Edifícios de apóio	55.898,05	1,15
	TOTAL	4.842.386,97	100

Relação (R\$/US\$ 2,251) em junho (2006)

A Figura 30 mostra a participação, em termos percentuais, de cada elemento do projeto na composição dos custos totais de implantação, destacando a equivalência dos gastos com a impermeabilização usando solo argiloso compactado e os serviços de terraplenagem (escavação, transporte, disposição, compactação e acabamento) aplicados à execução das trincheiras de RSU, RSS e das lagoas de estabilização.

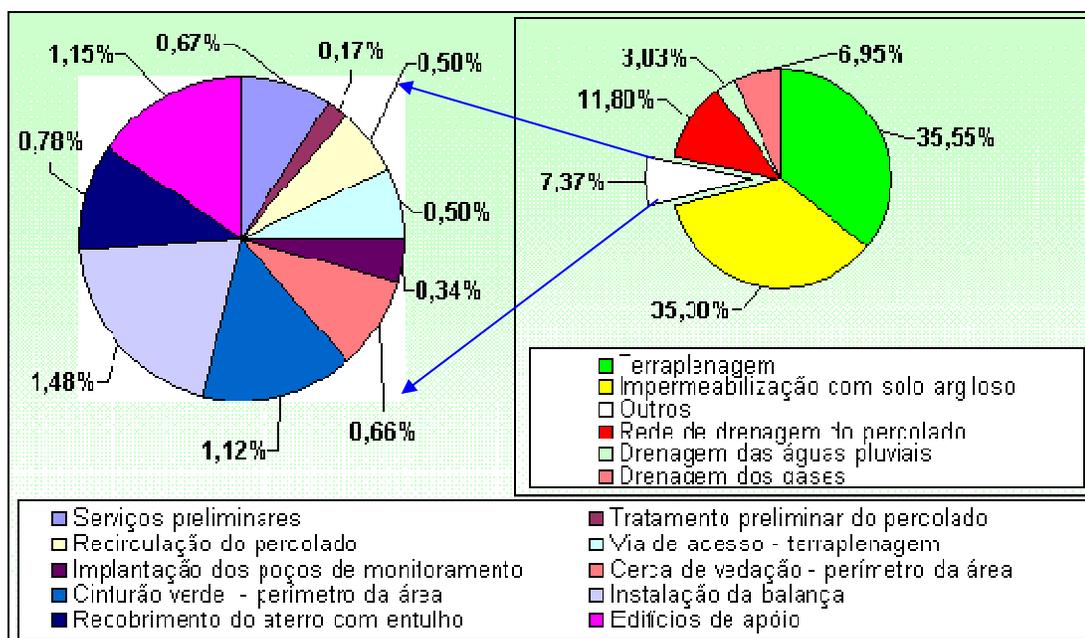


Figura 30: Participação dos elementos do projeto de Anápolis na composição dos custos de implantação, com uso de material alternativo.

Deve-se considerar que parte dos serviços de movimentação de solo como corte e aterro, já havia sido executada, resultando, portanto, em pouca diferença entre os custos da impermeabilização com solo argiloso, em relação aos serviços de terraplenagem.

O uso de solo argiloso compactado para impermeabilização das trincheiras de RSU, RSS e das lagoas de estabilização, é tecnologicamente recomendada pela notória eficiência comprovada, quando realizado com os devidos ensaios de compactação (Proctor Normal) para coeficiente de permeabilidade menor que  $10^{-7}$  cm/s. A utilização incorreta desse método tem sido pretexto para a pouca confiabilidade alcançada na proteção ambiental dos projetos de aterro sanitário, justificando a utilização cada vez maior das geomembranas nesses projetos.

A Figura 31 mostra a influência dos investimentos iniciais e ao longo da vida útil do projeto com a utilização de solo argiloso na impermeabilização e entulho da construção civil no recobrimento da massa dos resíduos sólidos. Sua implantação é estabelecida pelo princípio da execução progressiva das obras (etapas), correspondentes ao cronograma físico equivalente a operação. A base dos investimentos é reduzida e ocorre ao longo de dezesseis

anos com extensa possibilidade de previsão orçamentária, evitando problemas de descontinuidade da operação do projeto por escassez de recursos.

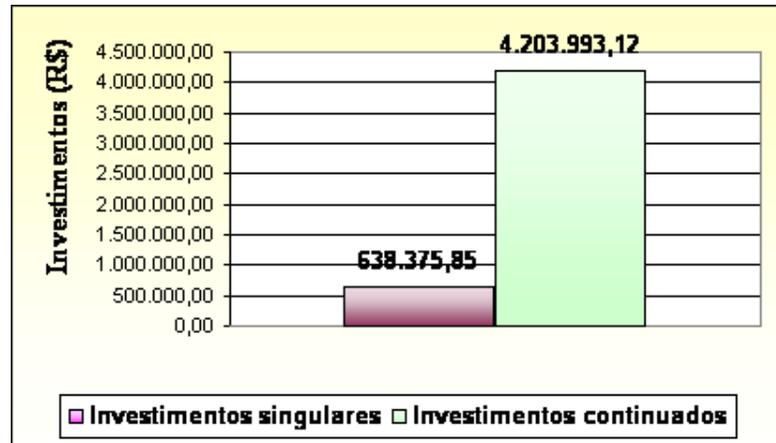


Figura 31: Influência dos investimentos ao longo da vida útil do projeto segundo o modelo alternativo

A Figura 32 mostra o aumento percentual dos investimentos para 13,15% com os elementos singulares do projeto (serviços preliminares, tratamento do percolado, lagoas de estabilização, implantação dos poços de monitoramento, cerca de vedação, instalação da balança, edifícios de apóio etc.). Embora esse percentual tenha aumentado, o custo com os investimentos singulares do modelo alternativo, é o mesmo do modelo proposto. A modelagem indica uma redução dos custos para os elementos de implantação continuada (impermeabilização com o uso de solo argiloso e recobrimento primário da massa dos resíduos sólidos com entulho da construção civil).

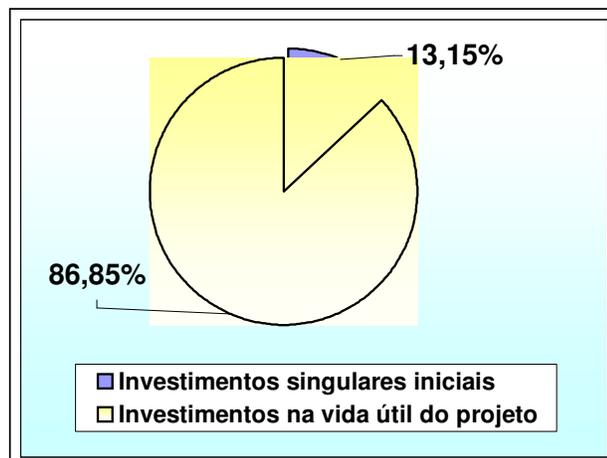


Figura 32: Influência dos custos do projeto – modelo alternativo.

Os investimentos requeridos ao longo do horizonte de projeto (16 anos), encontram-se apresentados na Figura 33. Os custos de implantação requeridos ao longo desse período, requerem investimento de 6,25% ao ano. Na fase inicial deve-se considerar que a partida é representada pela soma dessa fração (6,25%) mais a fração dos investimentos das obras singulares (13,15%), totalizando 19,40% dos custos previstos, superior em termos percentuais ao modelo atual (13,73%) mas inferior quando comparado em termos do montante do investimento em reais (\$). Portanto, a partida inicial dos investimentos soma R\$ 939.423,06 e ao longo do horizonte de projeto R\$ 243.935,24 ao ano.

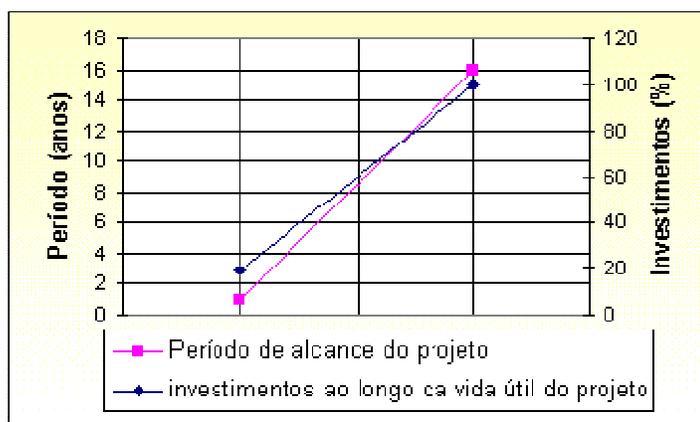


Figura 33: Desembolso acumulado no período da vida útil do projeto alternativo.

### c) Custos de implantação dos dois modelos de projeto apresentados

O Quadro 32 mostra os custos atuais de implantação dos elementos do projeto, com aplicação do modelo proposto e da alternativa estudada e os investimentos requeridos por habitante e por tonelada de resíduos sólidos urbanos disposto no aterro. Neste cenário, considerou-se os valores e a população atual e certamente ao longo de sua vida útil, fatores como a conjuntura econômica e o crescimento populacional, poderá resultar na necessidade de correções temporais pelos índices oficiais dos indicadores sociais e econômicos.

Quadro 32: Comparação dos custos de implantação dos dois modelos de projeto de aterro sanitário

Projeto	Custo total de implantação (R\$)	* População (hab)		** População urbana efetivamente atendida (95%)	***Capacidade de disposição de lixo urbano do projeto (t)	Custos de implantação por habitante (R\$)	Custos de implantação por tonelada (R\$)
		Total	Urbana				
Modelo atual	8.519.277,97	313.412	304.009	288.808	1.637.401,30	29,50	5,20
Modelo alternativo	4.842.386,97					16,76	3,0

\* SEPIN (2006); \*\* SEMMARH (2006); \*\*\* Projeto de adequação do aterro sanitário de Anápolis. Relação (R\$/US\$ 2,251) em junho (2006)

Este estudo considerou o modelo de projeto atual e o horizonte operacional previsto para dezesseis anos, com os ativos de implantação e operação do aterro sanitário de Anápolis. Esses valores apresentados são investimentos que irão ocorrer nesse período, resultando, portanto, em uma fração de 1/16 (um dezesseis avos) de contribuição anual, acrescido das correções estabelecidos pelos indicadores econômicos.

#### 5.4.1 A comparação dos custos com outros projetos no Estado de Goiás

No Quadro 33 encontram-se apresentados os custos de implantação dos projetos de Aparecida de Goiânia, Trindade e Anápolis. Os modelos são similares e foram descritos nos itens 5.1.1, 5.1.2 e 5.1.4. A data de elaboração desses projetos deu-se em anos diferentes e fatores relacionados a conjuntura econômica não são coincidentes nesses períodos. Outro fator importante, já incluído nos custos, é a Base das Despesas Indiretas – BDI, estabelecido entre 20 e 30 %. Esta variação depende do grau de dificuldade e dos riscos da execução da obra, podendo assumir valores até superiores aos normalmente praticados no mercado.

Quadro 33: Custos de implantação dos projetos de Aparecida de Goiânia, Trindade e Anápolis

Município	Projeto	Custo total de implantação (R\$)	População da época do projeto (hab)		População urbana efetivamente atendida (hab)	Capacidade de disposição de lixo urbano do projeto (t)	Custos de implantação por habitante (R\$)	Custos de implantação por tonelada (R\$)
			Total	Urbana				
Anápolis	Modelo atual	<sup>(1)</sup> 8.519.277,97	<sup>(2)</sup> 313.412	<sup>(2)</sup> 304.009	<sup>(3)</sup> 288.808	<sup>(1)</sup> 1.637.401,30	29,50	5,20
Aparecida de Goiânia	Modelo atual	<sup>(4)</sup> 3.185.719,60	<sup>(5)</sup> 300.000	<sup>(5)</sup> 198.547	<sup>(6)</sup> 119.129	<sup>(4)</sup> 331.520,00	26,74	9,61
Trindade	Modelo atual	<sup>(7)</sup> 4.003.864,78	<sup>(8)</sup> 90.199	<sup>(8)</sup> 88.427	<sup>(9)</sup> 75.163	<sup>(7)</sup> 340.827,00	53,27	11,74

<sup>(1)</sup> Projeto do aterro sanitário de Anápolis,(2006). Horizonte para dezesseis anos;

<sup>(2)</sup> SEPIN (2006);

<sup>(3)</sup> SEMMARH (2006);

<sup>(4)</sup> Projeto do aterro sanitário de Aparecida de Goiânia (1998). Horizonte para oito anos;

<sup>(5)</sup> SEPIN (1998);

<sup>(6)</sup> Secretaria de Desenvolvimento Urbano (1998);

<sup>(7)</sup> Projeto do aterro sanitário de Trindade (2003). Horizonte para treze anos;

<sup>(8)</sup> SEPIN (2003);

<sup>(9)</sup> Superintendência de Meio Ambiente (2003).

A população urbana considerada nesse estudo é aquela estabelecida no período da elaboração dos projetos. Observa-se que embora os projetos de Anápolis e Aparecida de

Goiânia tenham sido elaborados em períodos diferentes, os mesmos apresentaram custos de implantação por habitante bem próximo, apesar de apresentarem para a época uma diferença maior entre a população atendida. Já o projeto de Trindade, elaborado para atender uma população menor, apresentou o custo de implantação por habitante muito superior aos dois primeiros casos.

Este resultado confirma a importância do conhecimento da singularidade de cada modelo de projeto. Entretanto, pode-se estabelecer a hipótese de que para municípios menores, o custo por habitante na implantação de um projeto de aterro sanitário é mais elevado em relação aos grandes municípios, onde a base de contribuição é maior e que, quanto menor o aterro, maior seu custo de implantação por tonelada.

Neste estudo, o custo médio de implantação por habitante estabelecido entre os municípios de Anápolis e Aparecida de Goiânia foi de R\$ 28,12, representando custo em termos percentuais de 52,78%, menor em relação ao projeto de Trindade.

O custo de implantação dos projetos considerando sua capacidade de disposição de resíduo sólido urbano apresentou valores mais próximos para Aparecida de Goiânia e Trindade, com valor médio de R\$ 10,60 por tonelada. O projeto de Anápolis, o custo da implantação por tonelada foi de R\$ 5,20, e que em termos percentuais foi de 48,74% menor em relação a média dos dois primeiros casos.

Isto já era esperado, considerando que nos casos de Aparecida de Goiânia e Trindade, as estruturas iniciais dos projetos foram concebidas para a disposição dos resíduos sólidos urbanos pelo método da trincheira, com capacidade de disposição de resíduos na mesma ordem de grandeza (média de 336.174 t). Anápolis, que também usa o mesmo método de disposição na fase inicial (trincheira), foi prevista sua verticalização, armazenando, assim uma quantidade maior de resíduo por unidade de área, em termos percentuais representa 487% a mais de resíduos disposto no projeto.

## 5.5 Custos de operação do aterro sanitário de Anápolis

Os custos atuais com os serviços de disposição final dos resíduos urbanos no aterro sanitário de Anápolis são apresentados no Quadro 34. Esses custos são resultantes dos serviços de espalhamento, compactação e aterramento dos resíduos sólidos urbanos, abrangendo, portanto, o custo da operação propriamente dita da disposição dos resíduos sólidos urbanos no aterro sanitário.

Quadro 34: Custos atuais da destinação final dos resíduos sólidos urbanos de Anápolis

Tipo de resíduo	Serviço	* População urbana efetivamente atendida (95%)	Custo unitário (R\$/t)	Quantidade da média mensal de resíduo (t)	Custo médio mensal de resíduo (R\$/t)
Resíduo sólido urbano	Coleta e transporte	288.808	52,52	5.198,75	273.038,35
	Disposição final		22,93	5.198,75	119.207,34
Resíduo do serviço de saúde	Coleta, transporte e disposição final		330,66	46,92	15.514,57
Total					407.760,26

\* SEMMARH (2006)

Relação (R\$/US\$ 2,251) em junho (2006)

Esses valores são variáveis e relacionam-se diretamente com o peso dos resíduos urbanos (base de cálculo da remuneração dos serviços) que sofre influência pelo crescente aumento da geração *per capita* de resíduo sólido urbano, aumento da população no tempo e pelo ganho de umidade no período chuvoso (VER QUADRO, 12). O percentual gasto com a disposição final dos resíduos sólidos urbanos equivale a 33% dos custos mensais de todo serviço de limpeza pública de Anápolis. Com a disposição final, o custo é de R\$ 0,47 hab/mês.

#### 5.6 Custos de disposição dos resíduos urbanos praticado em outros municípios

Nesta pesquisa foi levantado o custo da disposição dos resíduos sólidos urbanos em outros projetos que operam na condição de aterro sanitário, no Estado de Goiás e em outros Estados Brasileiros.

##### a) Custo praticado em outros projetos do Estado de Goiás

No Quadro 35 são apresentados os custos com a operação e manutenção de aterros sanitários em outros municípios do Estado de Goiás. Duas são as modalidades de administração desses projetos: administração direta (gestão municipal) e serviço terceirizado (gestão privada). Esses custos apresentados servem apenas como referências, devendo cada município ter seu próprio centro de custos para que o gestor dos serviços possa tomar decisões quanto ao replanejamento das prioridades.

Os resultados apresentados foram informados pelos administradores dos projetos, analisados e mensurados de forma a serem confiáveis. Pode-se notar certa incerteza para estabelecer a correlação entre os custos praticados nesses municípios e os custos estudados e

pesquisados no projeto de Anápolis, apresentado nos Quadros 32 e 34, pela especificidade de cada município.

Quadro 35: Custo da disposição final dos resíduos sólidos urbanos praticados em outros municípios goianos

Responsável	Localidade	*Produção de lixo (t/d)	Custo (R\$/t)	Observações	Data
<sup>(1)</sup> QUALIX - Serviços Ambientais S. A	Goiânia	1.200	14,98	Disposição final	02/2006
Prefeitura de Aparecida de Goiânia	<sup>(2)</sup> Aparecida de Goiânia	185	54,29	Coleta e disposição final	05/2006
Evoluservic Ambiental	<sup>(3)</sup> Rio Verde	110	31,22	Coleta e disposição final	05/2006
Prefeitura Municipal de Goianésia	<sup>(4)</sup> Goianésia	18	13,30	Disposição final	05/2006
Prefeitura Municipal de Catalão	<sup>(5)</sup> Catalão	60	16,67	Disposição final	05/2006
Prefeitura Municipal de Quirinópolis	<sup>(6)</sup> Quirinópolis	22	23,52	Disposição final	05/2006

\* Produção estimada de lixo urbano – Prefeituras municipais (2006).

<sup>(1)</sup> Empresa de Tratamento de Resíduos

<sup>(4)</sup> Secretaria de Serviços Urbanos e Meio Ambiente

<sup>(2)</sup> Secretaria de Desenvolvimento Urbano

<sup>(5)</sup> Secretária Municipal de Meio Ambiente

<sup>(3)</sup> Secretaria de Agricultura e Meio Ambiente

<sup>(6)</sup> Secretária Municipal de Meio Ambiente

Os valores apresentados mostram que os custos da disposição dos resíduos sólidos urbanos em aterro sanitário, estão muito próximo nos municípios de Goiânia, Catalão, Goianésia e Quirinópolis. A média desses custos é de R\$ 17,12 e deve ser considerado que no município de Goiânia, esse custo é diluído pela grande quantidade de resíduo sólido urbano produzido diariamente. Nos municípios de Aparecida de Goiânia e Rio Verde, os valores apresentados incluem a coleta e disposição final, a variação desses custos em termos percentuais é mais onerosa em Aparecida de Goiânia em 57,50%. Provavelmente, isto se deve ao fato deste município ter uma área urbana maior e uma ocupação mais dispersa, criando trechos improdutíveis no sistema de coleta dos resíduos sólidos urbanos, dentre outros.

#### b) Custo praticado em outras regiões brasileiras

No Quadro 36 são apresentados os custos com a operação e manutenção de aterros sanitários em municípios de outros estados brasileiros. Três são as modalidades de administração desses projetos: administração direta (gestão municipal), por empresas terceirizadas (gestão privada) e com gestão compartilhada entre municípios (consórcio intermunicipal). Esses valores reforçam a conceito apresentado (exclusivamente como valores de referencia), devendo cada modelo de projeto ter seu próprio centro (planilha) de custos

para que o gestor dos serviços possa tomar decisões e estabelecer as prioridades, formando o ciclo do planejamento e adequação contínua da planta de disposição dos resíduos sólidos urbanos, com o uso de novos procedimentos e materiais alternativos na implantação e operação do aterro sanitário.

Quadro 36: Custo da disposição final dos resíduos sólidos urbanos, praticado em outras regiões do Brasil

Responsável	Localidade	Custo (R\$/toneladas)	Observações	DATA
Prefeitura de São Paulo	Aterro Bandeirante - SP	33,50 - 35,00	Dependendo da quantidade	08/2005
Prefeitura de São Paulo	Aterro Bandeirante - SP	64,00	Tarifa para terceiros	09/2005
<sup>(1)</sup> ESTRE	Santana de Parnaíba e Paulínia - SP	45,00		07/2005
<sup>(1)</sup> ESTRE	Americana - SP	38,50		08/2005
<sup>(1)</sup> ESTRE	Pedreira - SP	50,00		09/2005
<sup>(1)</sup> ESTRE	Itapevi - SP	45,00		09/2005
<sup>(2)</sup> VEGA	Km 33 Rod. Bandeirantes - SP	38,00 - 42,00	Dependendo da quantidade	10/2005
<sup>(2)</sup> VEGA	Salvador - BA	26,00 (atualmente em processo de revisão)	Entregue toda a infraestrutura (Acessos, balanças, escritórios, energia, etc) pronta, inclusive todos os investimentos na primeira célula	01/2005
<sup>(3)</sup> SUEZ	São José dos Campos - SP	44,00		10/2005
<sup>(4)</sup> CAVO	Caieiras - SP	44,00		07/2005
Prefeitura de Cotia - SP	Cotia - SP	38,00		08/2005
Prefeitura de João Pessoa	Aterro Metropolitano de JP	19,26	<sup>(5)</sup> Aterro que atende mais seis municípios	06/2005
Prefeitura de Fortaleza	Aterro Metropolitano de Caucaia - CE	28,30	Fortaleza, Caucaia	04/2006
Empresa Terceirizada	Aterro Quitauna - Guarulhos - SP	46,88		04/2006
Empresa Terceirizada	Itu - SP	40,00		04/2006
Prefeitura de Taboão - SP	Taboão - SP	38,00		09/2005
Prefeitura de Uberaba - NG	Uberaba - MG	34,00		02/2006

Fonte: DANTAS & TEREZA (MAIO, 2006), adaptado e ampliado (JUNHO, 2006)

<sup>(1)</sup> ESTRE (Empresa de Saneamento e Tratamento de Resíduos)

<sup>(2)</sup> VEGA (Engenharia Ambiental S.A)

<sup>(3)</sup> SUEZ - empresa francesa coligada da VEGA - Engenharia Ambiental S.A

<sup>(4)</sup> CAVO (Serviços e Meio Ambiente S.A)

<sup>(5)</sup> Bayeux, Cabedelo, Conde, Cruz do Espírito Santo, Lucena e Santa Rita (Consórcio de Desenvolvimento Intermunicipal da Área Metropolitana de João Pessoa - CONDIAM)

O valor médio da disposição dos resíduos sólidos urbanos em aterro sanitário mostrado no Quadro 36 é de aproximadamente R\$ 40,0. Deve ser considerado entre outros fatores, a magnitude e o grau de dificuldade de operação de cada aterro. O projeto do

município de João Pessoa que atende mais seis municípios tem o menor custo de disposição por tonelada, representando em termos percentuais 48,44% mais barato em relação ao valor médio apresentado. Tal fato mostra que a formação de consórcio intermunicipal para a disposição dos resíduos sólidos urbanos em aterro sanitário, é uma alternativa que precisa ser incentivada sua adoção em outras regiões do país.

### 5.7 Modelo para obtenção dos custos de manutenção e monitoração

A operação de um aterro sanitário deve ser simples e considerar todos os fatores inerentes e complementares ao projeto, garantindo uma intervenção segura, de imediato, para a destinação adequada dos resíduos sólidos urbanos. A Figura 34 ilustra o fluxograma operacional adotado nos projetos de Anápolis e Goiânia, diferenciados dos demais projetos estudados pela existência da balança para pesagem da quantidade de resíduo recebido e a recirculação do percolado dentro da área do projeto. Neste modelo, as conseqüências decorrentes da disposição final dos resíduos sólidos urbanos em aterro sanitário ficam restritas a própria área do projeto.

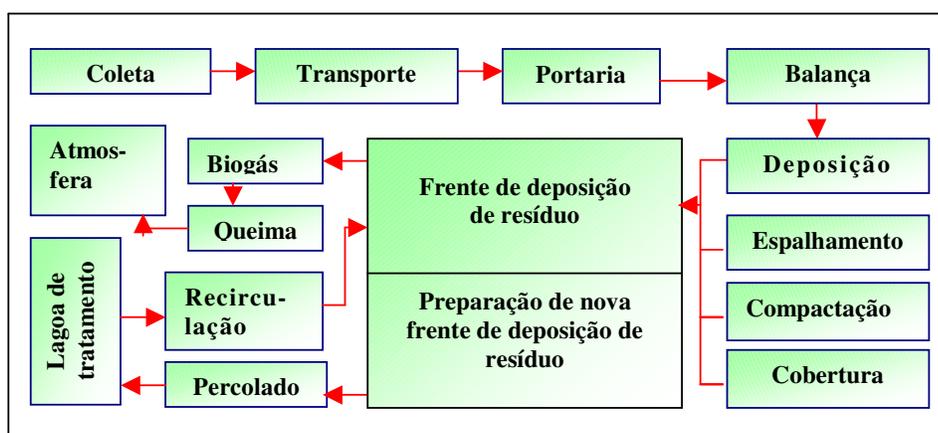


Figura 34: Fluxograma operacional de aterro sanitário com recirculação de percolado

Na Figura 35 está ilustrado um modelo de disposição final de resíduo sólido urbano em aterro sanitário, no qual o percolado produzido é descartado para o ambiente externo, requerendo maior controle e eficiência do sistema de tratamento adotado.

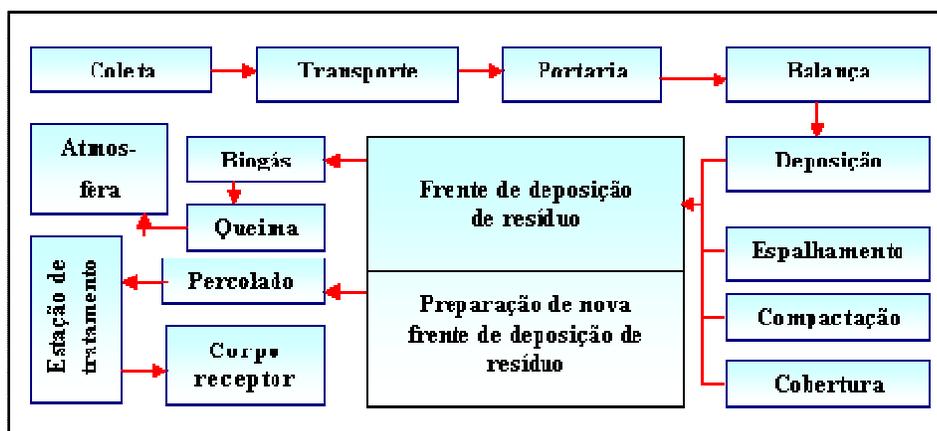


Figura 35: Fluxograma operacional de aterro sanitário com tratamento e descarte do percolado

A análise dos custos de manutenção e monitoramento não se restringe apenas as atividades desenvolvidas continuamente na disposição dos resíduos sólidos urbanos no aterro, mas também aquelas de implantação de novas etapas do projeto “coincidindo com essas etapas e seus custos” e das ações de monitoramento dos indicadores de qualidade ambiental. Esses elementos, que são apresentados a seguir, têm como objetivos nortear os parâmetros dos custos decorrentes desses serviços.

### 5.7.1 Controle da manutenção e monitoramento

Devem ser incluídos na composição dos custos de manutenção e monitoramento do aterro sanitário, os controles tecnológicos executados, os estudos e análise ambientais que têm como objetivo obter dados da avaliação dos impactos ambientais ocasionados pela implantação e operação do projeto.

#### 5.7.1.1 Manutenção do projeto

O processo de degradação dos resíduos sólidos pode gerar consequências imprevisíveis na estrutura dos diversos sistemas componentes de um aterro sanitário, causando malefícios ao meio ambiente. Para que isto não ocorra, é imprescindível que se tenha um plano de manutenção constante desses componentes, em dois aspectos:

- rotinas de inspeção;
- medidas corretivas.

**Acessos:** através das inspeções semanais e/ou após chuvas intensas, procurar detectar a ocorrência de algum dano aos acessos. A manutenção corretiva visa manter as características de largura, declividade longitudinal e transversal e drenagem.

**Cercas:** semanalmente deve ser vistoriada toda a cerca, verificando o estado dos fios, dos mourões de concreto, etc., os quais, quando apresentam alguma irregularidade, devem ser reparados imediatamente, de forma que seja sempre mantido o isolamento da área, impedindo o acesso de animais e pessoas não autorizadas.

**Instalações fixas:** a guarita e os prédios de apóio devem ter manutenção permanente, tanto preventiva como corretiva, de forma que sejam conservadas as condições de operacionalidade com higiene e segurança.

**Drenagem superficial:** o movimento dinâmico que ocorre em um aterro sanitário exibe grandes recalques, afetando muitas vezes o sistema de drenagem superficial. Para que este sistema seja eficiente é fundamental a manutenção das declividades desejadas para todos os dispositivos de drenagem projetados e executados. Para tanto, devem ser realizadas inspeções mensais e também após chuvas intensas de forma a identificar fenômenos tais como:

- inversão no sentido de escoamento das drenagens;
- quebra de tubulações, canaletas etc;
- recalque dos caimentos dos taludes e bernas;
- erosão e danos à cobertura vegetal.

Toda ocorrência detectada deve ser objeto de providencias imediatas de forma a restabelecer-se no menor tempo possível as condições ótimas previstas para o funcionamento da drenagem superficial.

**Drenagem de percolados:** a eficiência do sistema de drenagem do percolado juntamente com uma correta impermeabilização da base do aterro, são fundamentais para que não ocorram agressões ao meio ambiente, pela contaminação do lençol freático ou de corpos hídricos receptores de líquidos eventualmente existentes nas proximidades.

A seguir são apresentadas as ações básicas para a manutenção deste sistema:

- realização semanal de inspeções visuais em todo o sistema de drenagem e de recalque do percolado. A partir dos resultados obtidos, são identificadas e programadas as ações necessárias à manutenção do sistema existente;
- avaliação semanal das condições físicas e operacionais das caixas de passagem e do poço e tanque de acumulação, identificando-se a necessidade de reparos civis em todos os componentes do sistema de drenagem de percolado;

- determinação da necessidade de manutenção do sistema de retenção de sedimentos e resíduos sólidos a montante das caixas de passagem e execução de drenagens periódicas do material;

- avaliação dos recalques e identificação de eventuais deslizamentos que possam ter comprometido o sistema de drenagem e execução da manutenção dos mesmos.

A partir dos resultados obtidos, emite-se relatórios técnicos mensais, os quais contemplarão as ações desenvolvidas relativas à manutenção do sistema de coleta e drenagem do percolado gerado no aterro, bem como a concepção, caso necessário, de melhoria no sistema de captação e drenagem do aterro.

**Sistema de drenagem de gases:** deve ser realizada inspeção quinzenal dos drenos verticais de gases com verificação da queima. Quando for detectada tendência de rompimento, os mesmos deverão ser reparados e/ou substituídos quando necessário.

#### a) Controle da manutenção do projeto de aterro sanitário

Uma vez concluídas as obras iniciais de implantação e obtido o licenciamento ambiental de operação, pode-se dar início efetivo ao recebimento dos resíduos sólidos urbanos no aterro, que deverá obedecer ao plano operacional constituído. Esse plano deve contemplar todas as atividades rotineiras que requer um aterro sanitário, objetivando garantir a operação segura do projeto, como:

- **Controle quali-quantitativo dos resíduos:** a vida útil do aterro e sua segurança quanto aos impactos ambientais, é função dos resíduos passíveis de disposição do ponto de vista qualitativo e quantitativo. Além disso, deve ser avaliada a evolução das características dos resíduos produzida pela comunidade no tempo.

- **Controle de acessos e fluxo de visitantes:** o acesso de pessoas estranhas a área deve ser rigorosamente controlado e os visitantes ao projeto, só deve fazê-lo devidamente acompanhados, visando a segurança do sistema e o bom andamento dos serviços.

- **Controle do tráfego de veículos e equipamentos:** o tráfego interno de veículos e equipamentos é objeto de regras e normas de velocidade, sinalização, proteção de carga e etc.

- **Controle da disposição de resíduos no aterro:** a disposição dos resíduos no aterro deve ter acompanhamento locacional ao longo de sua vida útil de forma que se possa ter informações do que foi disposto e qual o local de sua disposição (cadastramento em planta).

- **Controle locacional das estruturas do aterro, compreendendo os sistemas de drenagem:** o cumprimento das disposições do projeto executivo e suas adequações deverão ser sempre a referência principal para a execução das estruturas complementares do aterro. Situa-se neste contexto o sistema de drenagem de percolados, a drenagem dos gases, o sistema de drenagem pluvial, e a cobertura final.

- **Controle da poluição do solo, subsolo e atmosférica na área:** o controle rigoroso da cobertura diária, a perfeita contenção dos resíduos, drenagem e tratamento do percolado e gases, bem como a conservação da drenagem pluvial, são instrumentos básicos de controle da poluição causada pela disposição dos resíduos sólidos urbanos em aterro sanitário.

- **Controle da presença de aves:** deve ser mantida toda uma estratégia para evitar a presença de aves, notadamente urubus e o aparecimento de espécies exóticas, na área do aterro.

- **Controle do sistema de drenagem de gases:** a decomposição de resíduos orgânicos produz gases explosivos, que se não forem adequadamente condicionados e tratados, poderão gerar explosões ou combustão espontânea no aterro. Assim, deve-se executar o sistema de drenagem de gases no desenvolvimento da construção do aterro de acordo com o projeto.

- **Controle das águas pluviais (sistema de drenagem):** o perfeito condicionamento e fluxo das águas resultantes das precipitações pluviométricas é condição fundamental para a adequada operação do aterro. É de grande importância a conservação e execução das estruturas de drenagem pluvial.

- **Comunicação interna:** de vital importância na tomada de decisões ou veiculação de mensagens. O sistema de comunicação interna deverá possibilitar o controle das operações com agilidade e precisão.

- **Controle de pessoal:** o controle físico do quadro de pessoal deve ser feito através da apuração diária da frequência.

- **Controle dos períodos produtivos e improdutivos dos equipamentos:** para a obtenção das reais necessidades do aterro em termos de hora-máquina e de forma a garantir a execução das atividades programadas e, conseqüentemente, a rigorosa observância às diretrizes do projeto, torna-se imprescindível o controle da utilização destes equipamentos. Neste sentido, deve ser concebido e implantado mapa de utilização de cada tipo de equipamento empregado no aterro, identificando cada máquina e especificando os horários produtivos e improdutivos, parados e em manutenção de cada uma.

### 5.7.1. 2 Monitoramento ambiental de projeto de aterro sanitário

O monitoramento ambiental do aterro sanitário visa à coleta de dados que permitam avaliar sua influência sobre o meio ambiente. Os efluentes gasosos e líquidos formados num aterro são lançados para fora da massa de resíduos, e o monitoramento avaliará as conseqüências destes sobre o meio. O monitoramento envolve métodos com e sem amostragens. Segue uma descrição dos monitoramentos requeridos.

- **Monitoramento das Águas Superficiais:** as águas superficiais devem ser monitoradas através de estações de amostragem instaladas nos cursos d'água adjacentes a área do projeto do aterro sanitário. As estações de amostragem devem posicionar-se a montante e jusante com relação à área do projeto. A frequência de amostragem sugerida é semestral, e os parâmetros ambientais recomendados para que sejam analisados são os seguintes: demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio, nitrogênio amoniacal total, ferro total, oxigênio dissolvido, cloretos, turbidez, sólidos totais dissolvidos, nitratos, nitritos, pH, substâncias fenólicas, cor, óleos e graxas, coliformes totais fecal e termotolerantes.

- **Monitoramento de Águas Subterrâneas:** a avaliação da contaminação ou não dos recursos hídricos subterrâneos da região, é executada pela perfuração de poços de monitoramento hidrogeológico, localizados à montante e à jusante do aterro. Deve ser desenvolvido com a finalidade de analisar possíveis interferências na qualidade das águas subterrâneas na área de influência do aterro, em decorrência da operação do mesmo.

O programa de controle desse plano de monitoramento deverá estabelecer que as amostras sejam coletadas antes, durante e depois da operação do aterro, seguindo a direção do fluxo do lençol freático, bem como a sistemática desse controle no primeiro ano de operação e seu espaçamento após esse período.

Para tanto, deverá ser coletada amostra das águas subterrâneas, em três diferentes profundidades em cada poço, para a realização de ensaios físico-químicos, com uma frequência semestral. Os parâmetros físico-químicos a serem analisados são os seguintes: pH, condutividade específica, alcalinidade total, dureza total, detergentes, óleos e graxas, cianetos fenóis, cloretos, sulfatos e sulfetos, nitrogênio amoniacal, nitratos e nitrito, fósforo total, ferro, fluoreto, zinco, chumbo, mercúrio, cádmio, níquel, cromo total, coliformes fecais, coliformes totais, cobre, cromo hexavalente, sólidos totais, dissolvidos e voláteis, oxigênio dissolvido, arsênio, bário, demanda bioquímica de oxigênio – DBO e demanda bioquímica de oxigênio - DQO.

Ressalta-se que a coleta das amostras e os ensaios físico-químicos e bacteriológicos deverão ser executados em conformidade com as normas técnicas vigentes.

- **Monitoramento ambiental do percolado a tratar e tratado:** sabe-se que as características físico-químicas e biológicas do percolado gerado num aterro variam principalmente em função da idade do aterro e que as características do mesmo são muito complexas. Para o monitoramento das características físico-químicas e biológicas do percolado gerado no aterro durante sua operação, deve ser coletada 1 (uma) amostra a cada três meses para análise.

Em tais amostras devem ser realizadas as seguintes análises físico-químicas e biológicas: temperatura do ar e do percolado, vazão, pH, óleos e graxas, cianetos, nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato, fósforo total, sulfetos, ferro, mercúrio, chumbo, cádmio, cromo total, coliformes fecais, sólidos totais, sólidos sedimentáveis, sólidos suspensos e voláteis, oxigênio dissolvido - OD, demanda bioquímica de oxigênio – DBO e demanda bioquímica de oxigênio - DQO.

- **Monitoramento Pluviométrico:** utilizado para obtenção de leituras diárias dos índices pluviométricos ocorridos na área do aterro. Estes índices servirão como referência na análise do nível de vazão dos líquidos percolados, portanto, é um parâmetro indicativo da eficiência das drenagens superficiais e do material de cobertura. A plotagem das leituras num gráfico facilitará a determinação dos períodos chuvosos característicos da região, bem como a intensidade destes períodos, avaliados a partir da análise do índice pluviométrico mensal e da média pluviométrica mensal.

#### a) Monitoramento geotécnico

O monitoramento geotécnico para aterros sanitários superficiais, envolve o controle de deformações verticais e horizontais do maciço, através de marcos superficiais e/ou outros instrumentos, com vistas a avaliar a estabilidade dos taludes, bem como rever a potencialidade de aumento de vida útil do aterro.

**Marcos Superficiais:** são instrumentos incorporados superficialmente que tem como função servir como orientadores dos deslocamentos aos quais o aterro está sujeito. Através dos marcos superficiais são observados e acompanhados, através de gráficos e planilhas, os deslocamentos vertical e horizontal.

Quanto aos deslocamentos verticais, devem ser analisados os recalques totais,

recalques parciais e a velocidade vertical dos deslocamentos, o que permitirá agilizar a definição de ações passíveis de serem tomadas no caso de ocorrência de situações adversas ao normalmente observado.

Quanto ao deslocamento horizontal, o mesmo também deve ser acompanhado, através da leitura de gráficos e planilhas, sendo analisados o deslocamento acumulado, o deslocamento parcial e a velocidade do deslocamento.

O acompanhamento permanente dos dados constantes das planilhas e gráficos possibilitará a detecção de qualquer fato anormal que possa comprometer a estabilidade do aterro, e conseqüentemente permitir que se atue preventivamente.

#### b) Contenção de taludes do aterro

Um aterro sanitário apresenta recalques de grande monta, que poderão afetar sensivelmente a cobertura vegetal estabelecida, pois tais recalques podem provocar o acúmulo de água em alguns pontos ou mesmo induzir caminhos preferenciais para o encaminhamento das águas, criando erosões e carreamento de partículas, danificando, por imediato, a cobertura vegetal.

Além destes fenômenos (decorrentes mais especificamente dos recalques) podem ocorrer outros mecanismos dentro do contexto de um aterro sanitário que podem induzir à morte da espécie vegetal plantada. Entre eles, pode-se citar a morte de espécies vegetais pela proximidade das raízes com o resíduo, uma baixa taxa de nutrientes na camada final de cobertura, pouca capacidade de retenção d'água desta última camada (pouca umidade), temperatura do solo da camada final muito alta, camada final excessivamente compactada, consumo de oxigênio da camada final pela oxidação do metano, etc.

Todos estes mecanismos podem induzir à morte da espécie vegetal, o que é extremamente perigoso para o aterro como um todo. Assim sendo, deve-se estabelecer uma rotina de inspeção da cobertura vegetal do aterro que envolve a inspeção de toda a área pelo menos uma vez por mês, a procura de espécies mortas.

Nesta inspeção deve-se procurar mapear todo o aterro, analisando toda a vegetação existente e respondendo a perguntas do tipo:

- existe vegetação em todo o aterro?
- mesmo nos locais onde existe vegetação ela se apresenta saudável?
- existem áreas com indícios de mortandade da vegetação?
- existe um padrão no estabelecimento das áreas problemáticas?

- existe odor de gás nas proximidades das plantas mortas?

A resposta adequada a estas perguntas permitirá mapear as áreas com problemas, e nelas, executar um programa de recuperação da cobertura final. Nenhuma tentativa de revegetar a área será bem sucedida se não souber qual as características do solo e se ele precisa de melhoramentos ou não.

Assim sendo, propõe-se correções localizadas da vegetação, conforme o problema for sendo detectado em campo:

- se a causa das mortes for recalques, o mesmo deve ser corrigido através de reaterros, com posterior revegetação do local;
- se a causa for a proximidade das raízes com o resíduo, deve ser providenciada um espessamento da camada final do aterro, distanciando assim as raízes do resíduo;
- se a causa for uma baixa taxa de nutrientes na camada final de cobertura, deve ser providenciada a adição destes nutrientes ao solo (Nitrogênio, Fósforo e Potássio - NPK);
- se a causa for a pouca capacidade de retenção d'água desta última camada de solo, deve ser providenciada uma diminuição da compactação da camada, permitindo assim um aumento no índice de vazios do solo, aumentando portanto a sua capacidade de aeração e de retenção d'água. Tal diminuição de compactação será produzida por grade de discos, ou outro equipamento mecânico;
- se a causa for a presença de biogás, deve ser providenciada a implantação de uma camada de solo melhor compactado e a instalação de poços para drenagem do gás nas proximidades do local.

### c) Monitoramento de incômodos a vizinhança

Observadas todas as recomendações requeridas para operar o aterro sanitário, torna-se mínimas as possibilidade de incômodos a vizinhança, excetuando-se aquelas causadas pelo transporte dos resíduos sólidos urbanos para o local e do material de recobrimento (quando este é obtido fora da área do aterro), ou por algum veículo ou máquina de operação sem dispositivos adequados de proteção de ruído, principalmente se a coleta/disposição, for noturna.

De qualquer forma, recomenda-se a manutenção de máquinas e equipamentos e o plantio de uma cortina vegetal que deverá suavizar possíveis ruídos e odores gerados pelo projeto.

### 5.7.1.3. Valoração da manutenção e monitoramento de projetos de aterro sanitário

Os custos da manutenção e monitoramento do projeto compreendem todos os investimentos relacionados com a disposição dos resíduos sólidos urbanos no aterro sanitário, e que são ativos em função de sua vida útil. Essas atividades estão relacionadas com: manutenção e edificação continuada do projeto, controle operacional, monitoramento ambiental, monitoramento geotécnico, contenção de taludes do aterro, manutenção das máquinas, prevenção de incômodos à vizinhança, licenciamento ambiental e investimentos em recursos humanos.

A especificidade do aparelhamento, a limitação de recursos no setor público e o aumento tendencial dos gastos com a disposição final dos resíduos sólidos urbanos, exigem a adoção de modelos de operação que respondam, satisfatoriamente, a pressão da sociedade por melhor qualidade e maior amplitude desses serviços. A utilização das informações de custos deve auxiliar os administradores desses projetos no cumprimento da missão gerencial e estar em conformidade com as limitações orçamentárias do município. Esses objetivos, que podem ser alcançados com ações estruturantes do modelo, resultam em ganhos ambientais.

No Quadro 37 encontra-se apresentada, para o cenário estudado, uma planilha para a composição desses custos como forma de dar o provimento contínuo de recursos decorrentes da manutenção e monitoramento do projeto. Nesse quadro são mostrados os itens, a descrição dos serviços e a unidade de medida dos elementos para a composição desses custos. A quantidade é uma variante muito singular e depende da dinâmica gerencial do projeto e os preços são temporais, devendo ser obtidos nas modalidades de: tomada de preço, carta convite e/ou por licitação.

Como pode-se observar, as obras desenvolvidas na implantação, operação, manutenção e monitoramento do projeto, são complementares durante sua vida útil, limitando apenas a uma composição de custos de ocasião. Portanto, a conclusão dessa análise de custo, pode conduzir à falhas temporais, ficando, portanto, apresentado o modelo para essa valoração.

Quadro 37: Modelo para obtenção dos custos de manutenção e monitoramento

Item	Discriminação dos serviços	Unidade	Quantidade	Preço Unitário (R\$)	Preço total (R\$)
<b>1</b>	<b>Manutenção e edificação do projeto</b>				
	Acessos	m <sup>2</sup>			
	Cercas	ml			
	Instalações fixas	un			
	Drenagem superficial	ml			
	Drenagem de percolados	ml			
	Drenagem de gases	ml			
	Preparação de novas frentes de disposição de lixo urbano	m <sup>2</sup>			
<b>2</b>	<b>Controle operacional</b>				
	Controle de pessoal (frequência)	hht			
	Fluxo de visitantes	un			
	Acessos dos resíduos ao aterro	un			
	Qualidade e quantidade “pesagem” dos resíduos	t			
	Tráfego de veículos e equipamentos	un			
	Disposição de resíduos no aterro	t			
	Locação das novas estruturas do aterro	un			
	Controle contra contaminação do solo, subsolo, poluição atmosférica e limpeza da área	un			
	Controle contra a presença de aves e outros animais	un			
	Controle de gases explosivos	un			
	Sistema de drenagem das águas pluviais	un			
	Comunicação interna (treinamento de pessoal)	hht			
	Controle dos períodos produtivos e improdutivos das máquinas e equipamentos	un			
<b>3</b>	<b>Análises ambientais – físico-química e biológicas</b>				
	Análise das águas subterrâneas (montante e jusante)	un			
	Análises de efluentes (percolado), bruto e tratado	un			
<b>4</b>	<b>Monitoramento geotécnico</b>				
	Marcos Superficiais (medições e manutenções)	un			
	Pluviômetro (medições e manutenções)	un			
<b>5</b>	<b>Contenção de taludes do aterro</b>				
	Reparos e conservação da vegetação	un			
<b>6</b>	<b>Prevenção de incômodos à vizinhança</b>				
	Pesquisa e correções	un			
<b>7</b>	<b>Licenciamento ambiental</b>				
	Renovação da licença ambiental	un			
<b>8</b>	<b>Manutenção das máquinas</b>				
	Caminhões, máquinas e equipamentos do aterro sanitário (óleo diesel, pneus, peças, mão de obra na oficina, óleos lubrificantes, graxas, etc.)	un			
<b>9</b>	<b>Recursos humanos</b>				
	Supervisor, apontadores, guardas, trabalhador braçal, motorista, operadores de máquinas.	hht			
	Uniforme e equipamentos de proteção individual	un			
	Cesta básica dos funcionários do aterro	un			
10	<b>Total dos itens</b>				

## 5.8 Gerenciamento de planta de disposição de resíduos sólidos urbanos em aterro sanitário

### 5.8.1 Introdução

Neste trabalho é apresentado os dados sistematizados e recomendados para o gerenciamento de planta de disposição de resíduos sólidos urbanos em aterro sanitário, espelhado no resultado dessa pesquisa.

Para cada cenário deve-se considerar a magnitude e o modelo do projeto, que em geral deve ser planejado para uma vida útil superior a quinze anos e ser estabelecido a operação diária da planta. Ter no comando das tarefas um engenheiro responsável por esses trabalhos, um técnico com conhecimento em geotecnia e com habilidade para resolver problemas operacionais imediatos e um quadro de operários e operadores de máquinas treinados para o desempenho de suas funções é fundamental.

Um aterro para resíduos sólidos urbanos, como pré-requisito de ordem sanitária e ambiental, deve ser construído de acordo com técnicas definidas, como: impermeabilização da base para que o percolado não atinja o lençol freático contaminando as águas, sistema de drenagem do percolado que deve ser retirado da massa de lixo e direcionado para sistema de tratamento e sistema de drenagem para os gases com objetivo de garantir a estabilidade do aterro que fica sujeito a explosões e deslizamentos.

O requisito de máquinas e equipamentos disponíveis e compatíveis com o volume de operação do projeto deve ser garantido e em condições de trabalho diário, através de programa de manutenção preventiva e temporal, este requisito também é fundamental para o sucesso da operação do projeto. A disponibilidade de materiais e agregados para a construção dos elementos do aterro sanitário na área do projeto deve ser garantida, para que as obras não tenham descontinuidade de execução.

Também é importante que toda equipe demonstre interesse e aptidão para o trabalho, e que venham a se aperfeiçoar participando de cursos de treinamento sobre saúde, segurança do trabalho, operação, manutenção e monitoramento de aterros destinados à disposição dos resíduos sólidos urbanos.

### 5.8.2 Modelo de projeto

A seguir, são apresentados os dois métodos de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo mais utilizados: o método da trincheira, e o da área ou superfície. Os locais devem ser selecionados a partir de critérios que atendam as legislações municipais, estaduais e federais e que resultem no menor impacto ao meio físico, biótico e sócio-econômicos.

A disposição de resíduos sólidos urbanos no solo pelo método da trincheira tem sido em geral, o modelo mais utilizado pelos municípios de pequeno porte (até trinta mil habitantes). O método é recomendado pela simplicidade em sua implantação, operação e monitoramento. A disposição dos resíduos sólidos urbanos na trincheira deve ser preferencialmente dentro da vala como mostrado na Figura 36, compactado e aterrado no nível original do terreno. Esse método é mais apropriado para terrenos poucos inclinados (até 10%) e onde o lençol freático esteja situado a uma profundidade que permita manter uma distância superior a três metros da base da trincheira.

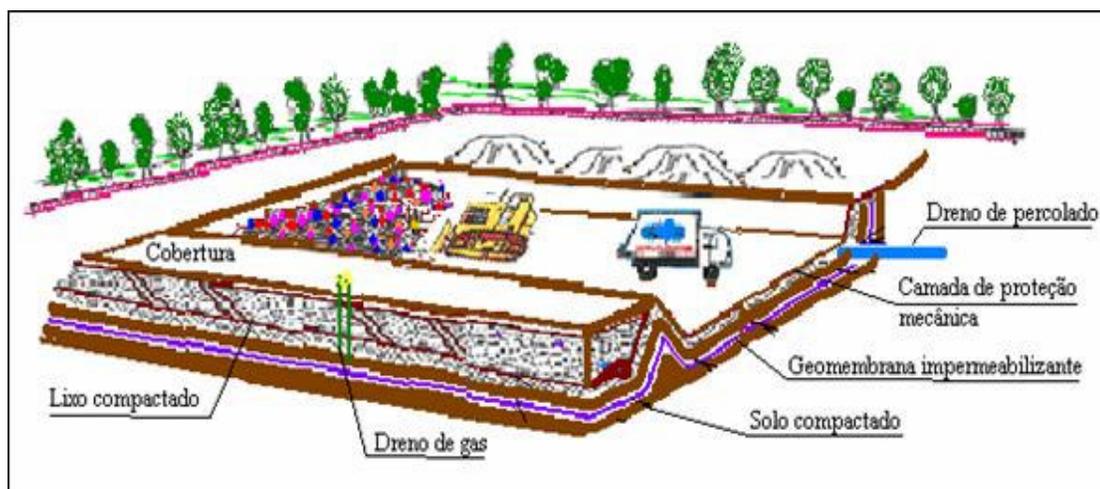


Figura 36: Método da trincheira para disposição de resíduos sólidos urbanos  
Fonte: Adaptado de ENTERPA AMBIENTAL S.A (2005)

O método da superfície é mais adequado para municípios de médio e grande porte (mais que cem mil habitantes). Geralmente faz-se a verticalização do aterro, conseguindo assim, ganho na vida útil, com maior aproveitamento da área. A disposição dos resíduos na área deve obedecer ao princípio da ocupação ordenada da área, formando o maciço do resíduo sólido urbano compactado e recoberto como mostrado na Figura 37. Esse método requer ainda maior controle na operação, com atenção especial ao sistema de drenagem do percolado, dos gases e das águas pluviais, conservação dos taludes e bom estado de trafegabilidade das pistas de acesso ao local de disposição dos resíduos sólidos urbanos.

Geralmente esse método requer a existência de jazida de material de recobrimento que, para economia de transporte, deve estar localizada o mais próximo possível do local do aterro. Pode ser implantado em terrenos que sejam planos ou poucos inclinados e que possuam o nível do lençol freático situado a uma profundidade superior a três metros da base do aterro.

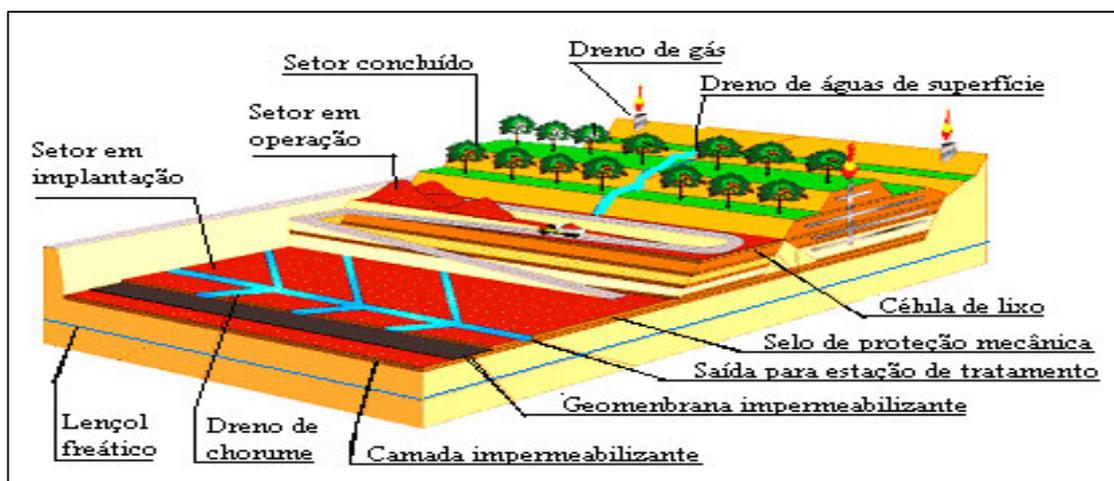


Figura 37: Método da disposição de resíduos sólidos urbanos em superfície com verticalização  
 Fonte: Adaptado de CONDER (2005)

### 5.8.3 Operação

Os aterros sanitários são destinados a disposição de resíduos sólidos urbanos gerados diariamente pela sociedade. Portanto, deve-se estabelecer rotinas de trabalho onde a implantação e a operação, sejam ações dependentes uma da outra e coincidentes com sua vida útil, estendendo-se até a conclusão e encerramento das obras, urbanização e proteção da área.

**Implantação do aterro sanitário:** compreende, dentre outras, as atividades de escolha da área, elaboração do projeto, licenciamentos ambientais, limpeza do terreno, obras de terraplenagem, acessos, impermeabilização, drenagem, obras de construção civil, etc.

**Operação do aterro sanitário:** compreende, dentre outras, o espalhamento, compactação, cobertura dos resíduos, monitoramento do sistema de drenagem e tratamento do percolado, monitoramento ambiental e topográfico, monitoramento das águas superficiais e do lençol freático, manutenção dos acessos e das instalações de apoio, etc.

### 5.8.4 Horário de funcionamento

Preferencialmente, deve ser estabelecido o período diurno para recepção de resíduos sólidos e operação do aterro sanitário. Naqueles municípios que necessitam de operação noturna, deve ser prevista a iluminação do acesso a área de descarga dos resíduos.

### 5.8.5 Transporte dos resíduos sólidos para o aterro sanitário

A coleta e transporte dos resíduos sólidos urbanos até a área do projeto são realizados pelo município ou por empresa terceirizada para prestação desse serviço. Devem ser utilizados veículos apropriados ao sistema viário e a distância a ser percorrida até a área de disposição no aterro. No caso de grandes geradores de resíduos (quantidade superior a 50 kg/dia), o transporte é de sua responsabilidade.

### 5.8.6 Recursos humanos para operação de um aterro sanitário

A qualificação dos operários é fundamental para o sucesso da operação do projeto, que associada a uma política salarial bem definida, também servirá de estímulo para a excelência do desempenho dos trabalhos da equipe. É importante que a remuneração seja acrescida da insalubridade, como estímulo para o desempenho de suas funções. Uma equipe adequada deve contar com os seguintes profissionais:

- supervisor (engenheiro);
- encarregado (técnico qualificado);
- operador de máquina (motorista);
- motorista (operador de máquina);
- apontador;
- mecânico de manutenção;
- operários de obra;
- vigia.

### 5.8.7 Equipamentos para a operação de um aterro sanitário

Os equipamentos indispensáveis na operação de um aterro sanitário são:

- trator de esteiras - provido de lamina para espalhamento, compactação e recobrimento dos resíduos sólidos urbanos - peso operacional  $\geq 10$  t.;
- caminhão basculante - para transporte de material de cobertura e para acessos internos - com capacidade volumétrica da caçamba  $\geq 6$  m<sup>3</sup>;
- pá mecânica - para carregamento do caminhão e outros serviços;
- retroescavadeira - para abertura de valas;
- caminhão-pipa - para abastecimento d'água e redução da poeira nas vias internas.

Municípios pequenos geralmente não dispõem de equipamentos específicos para operação do aterro sanitário. Uma solução pode ser a utilização periódica de máquinas pertencentes a outro setor da Prefeitura, como, por exemplo, as usadas para conservação das estradas.

#### 5.8.8 Supervisão da operação do aterro sanitário

O supervisor fará a inspeção da área e seu entorno, que esteja sob influência direta da implantação do projeto, devendo ser observado:

- a conservação da área do projeto, devendo estar totalmente fechada, para evitar a presença de pessoas estranhas e/ou de animais domésticos;
- providenciar para que resíduos não estejam espalhados pelo sistema viário de acesso a área do projeto;
- verificar e manter a conservação das placas de advertência fixadas no perímetro da área, proibindo a entrada de pessoas estranhas;
- orientar os operário para que não realizem a queima de lixo na trincheira, pois este contribui com a poluição atmosférica e podem danificar a estrutura do aterro, como, por exemplo, queimar a geomembrana quando essa é utilizada na impermeabilização;
- estabelecer rotinas de trabalho e dar condições para que não ocorra a descontinuidade da execução das tarefas de operação, manutenção dos equipamentos e da área do projeto;
- providenciar a realização de pesquisa de opinião junto aos moradores da região em um raio de 2,0 km da área do projeto, com o objetivo de identificar problemas não constatados na supervisão de rotina;
- providenciar a realização de análises ambientais por consultoria independente, visando comprovar a eficiência do projeto ou para apresentar alternativas de melhoramento.

#### 5.8.9 Tarefas de rotina dos operadores do projeto

É tarefa da equipe de operação e manutenção do projeto:

- identificar a natureza e a origem dos resíduos que chegam a área, cuidando para que não entre nenhum material com características desconhecidas, com risco potencial de periculosidade, além daqueles especificados no projeto;
- controlar a direção e o fluxo das águas pluviais, para que não haja prejuízos à vizinhança e a formação de processos erosivos;
- cuidar para que todo percolado produzido seja lançado no sistema de tratamento;

- cuidar para que o cinturão verde tenha seu desenvolvimento e crescimento normal;
- combater o aparecimento de formigueiro na área do projeto;
- cuidar para que não haja instabilidade dos taludes das trincheiras e das lagoas de tratamento de percolado;
- cuidar para que não ocorra a formação de processos erosivos no terreno, com a manutenção periódica do sistema de drenagem, das curvas de níveis e bacias de contenção;
- cuidar para que não haja a formação de poças de água de chuva na superfície da área do aterro;
- cuidar para que não haja a presença de animais silvestres e aves (urubus) na área;
- manter o sistema de drenagem do interior da trincheira desobstruído, para que não ocorra o inchamento com líquidos no interior da massa de lixo;
- certificar-se de que o sistema de drenagem dos gases esteja em funcionamento, através da manutenção da chama no queimador;
- orientar a descarga dos caminhões que transportam os resíduos sólidos urbanos para a área do projeto, indicando o local exato para a descarga de acordo com a natureza dos resíduos sólidos que está chegando;
- fazer a compactação e recobrimento periódico dos resíduos sólidos disposto na área, e ou, dentro das trincheiras, na frequência pré-estabelecida;
- comunicar as autoridades competentes e ao órgão fiscalizador, sobre qualquer anormalidade anotada em todas as fases de operação do projeto.

#### 5.8.10 Sistema viário de acesso externo e interno ao aterro sanitário

As vias de acesso a área do projeto devem ser mantidas constantemente em boas condições de tráfego, com atenção especial para os períodos de chuvas intensas. Para aquelas que não forem pavimentadas, fazer o encascalhamento sempre que for necessário.

Os acessos internos devem ser planejados, para facilitar a movimentação dos veículos no aterro. Eles podem ser construídos com vários materiais: rocha em decomposição, material de demolição (entulhos da construção civil), produtos de pedreira. A espessura recomendada para as vias internas do aterro é de 30 a 50 cm e de 50 a 70 cm para as pistas sob a massa de lixo, compactadas em camadas de 10 a 20 cm. Um bom aterro é o que se mantém em boas condições de operação e tráfego até mesmo em dias chuvosos.

#### 5.8.11 Natureza dos resíduos recebidos em aterro sanitário

Os aterros sanitários municipais são destinados aos resíduos sólidos urbanos classificados como não perigoso (classe “II - A”, não inertes e classe “II - B”, inertes) e aos resíduos dos serviços de saúde.

Quando identificado o transporte até o local de resíduos de natureza desconhecida por particulares – podendo tratar-se de resíduo “perigoso” - classe “T”, não receber esse resíduo e orientar o gerador sobre sua responsabilidade pelo tratamento com destinação final adequada, conforme é estabelecido em normas e legislações específicas; anotar a placa do veículo para identificações posteriores e comunicar o órgão fiscalizador competente, geralmente o órgão ambiental local.

#### 5.8.12 Disposição dos resíduos sólidos urbanos no aterro sanitário

Os procedimentos são quase os mesmos, independente do método seguido. As regras básicas são:

- o espalhamento e a compactação dos resíduos sólidos deve ser efetuado sempre que possível, de baixo para cima, a fim de se obter um melhor resultado;
- para uma boa compactação, o espalhamento da massa de lixo deverá ser feito em camadas não muito espessas, com o trator dando de três a seis passadas sobre a massa de resíduos;
- a altura da célula para os aterros superficiais, deve ser de 3 a 5 metros para que a decomposição da massa lixo aterrado ocorra em melhores condições;
- a camada de solo de cobertura ideal é de 15 a 30 cm para os recobrimentos diários da massa lixo;
- uma nova célula será instalada no dia seguinte em continuidade à que foi concluída no dia anterior;
- a execução de uma célula em sobreposição a outra (aterro verticalizado), só devera acontecer após um período de estabilização da massa de lixo, geralmente após sessenta dias;
- a camada final de material de cobertura deverá ter no mínimo 60 cm de espessura;
- a largura da célula deverá ser a menor possível (em geral, suficiente para descarga simultânea de três a cinco caminhões coletores).

A Figura 38 ilustra a operação de descarga do veículo transportador dos resíduos sólidos urbanos, o qual deve estacionar e descarregar (basculando) os resíduos no local (sopé da célula, na área, e ou, dentro da trincheira) onde a massa de lixo será compactado e aterrado.

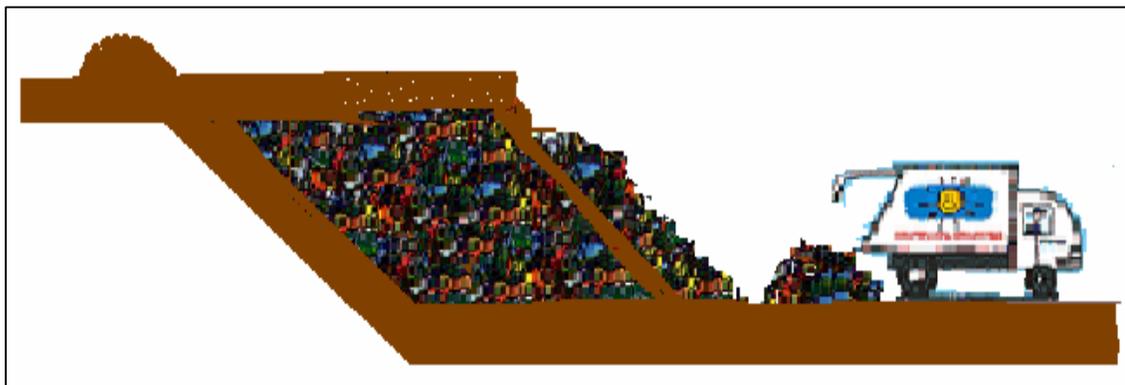


Figura 38: Descarga de resíduos em um aterro sanitário.

### 5.8.13 Cobertura e compactação dos resíduos sólidos

Devem ser realizados preferencialmente todos os dias ou conforme o volume de lixo recebido no aterro sanitário. Os resíduos sólidos devem ser empurrados para a formação das células de lixo, como ilustrado na Figura 39, formando uma rampa com taludes de inclinação aproximada de 1/3 (Vertical/Horizontal), passando de três a seis vezes sobre essa massa de lixo. No final da operação, recobrir com uma camada de solo de 15 a 30 cm, formando células de lixo compactado na área de disposição ou dentro da trincheira. No final, a área ou a trincheira deve ser selada com uma cobertura de aproximadamente 60 cm de solo.

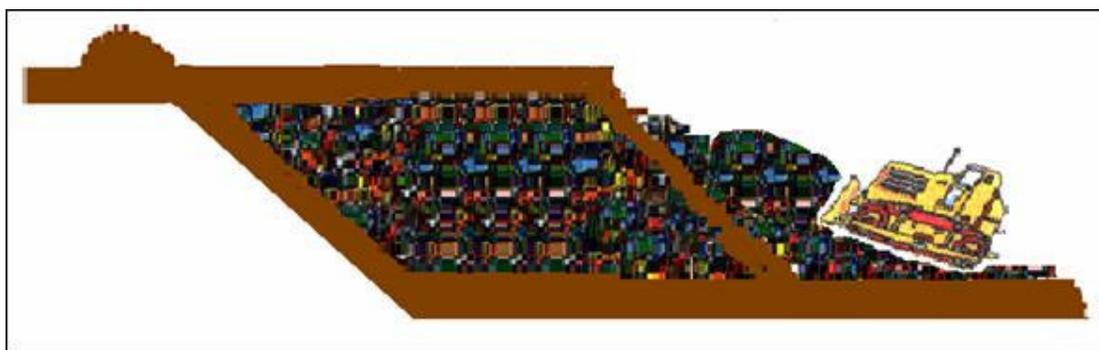


Figura 39: Compactação e cobertura dos resíduos sólidos

A Figura 40 ilustra a conclusão diária da disposição dos resíduos sólidos urbanos em uma célula. Com objetivo de reduzir custos operacionais e aumentar o volume de disposição dos resíduos sólidos urbanos na área, em muitos casos a cobertura é realizada apenas na parte superior, dispensando o recobrimento intermediário. Nesse caso, deve ser realizada após a boa compactação da massa de lixo, para evitar possíveis recalques e acúmulo de água na superfície.

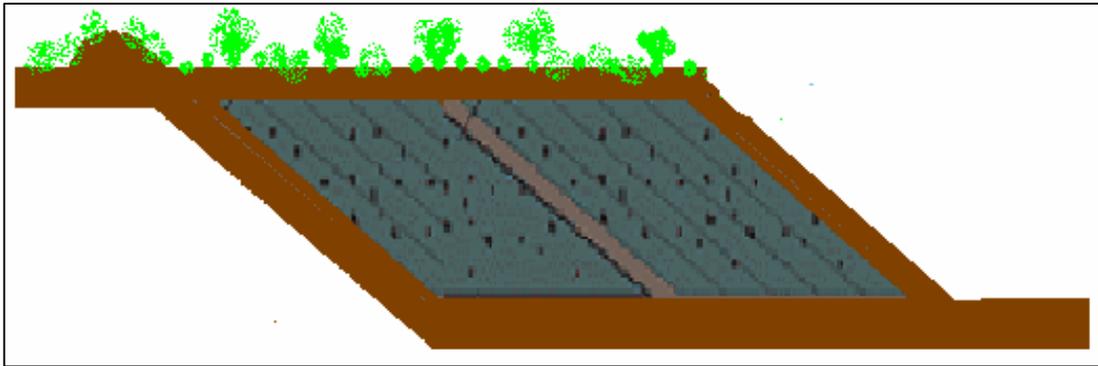


Figura 40: Cobertura das células de lixo urbano

#### 5.8.14 Drenagem das águas pluviais

A drenagem das águas de escoamento superficial (chuvas) deve ser assegurada para uma operação eficiente do aterro. Portanto, deve-se evitar que as águas de chuva que precipitam nas áreas vizinhas do aterro alcancem a área de serviço, por meio da construção de canaletas ao redor do aterro ou valetas de meia encosta.

A cobertura final da área aterrada deve ser trabalhada de tal modo que haja o caimento de 1% a 2% para ambos os lados para o método da trincheira e no sentido transversal para o método da área, impedindo assim, a formação de poças de água de chuva em sua superfície, como ilustrado na Figura 41.

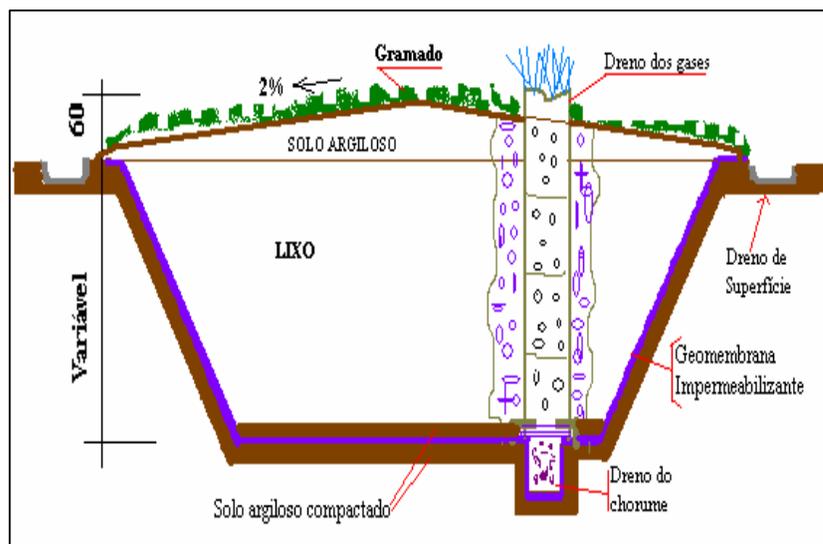


Figura 41: Detalhe do fechamento de uma trincheira (corte vertical), ilustrando a drenagem das águas pluviais.

A Figura 42 ilustra um aterro verticalizado e as estruturas de drenagem que devem ser implantadas na superfície do maciço de lixo, executadas em canaletas para coleta dessas águas pluviais, conduzindo-as para escadas de descidas com sistema de dissipação de energia, afastando da área de influência do aterro lançando em bacia de contenção.

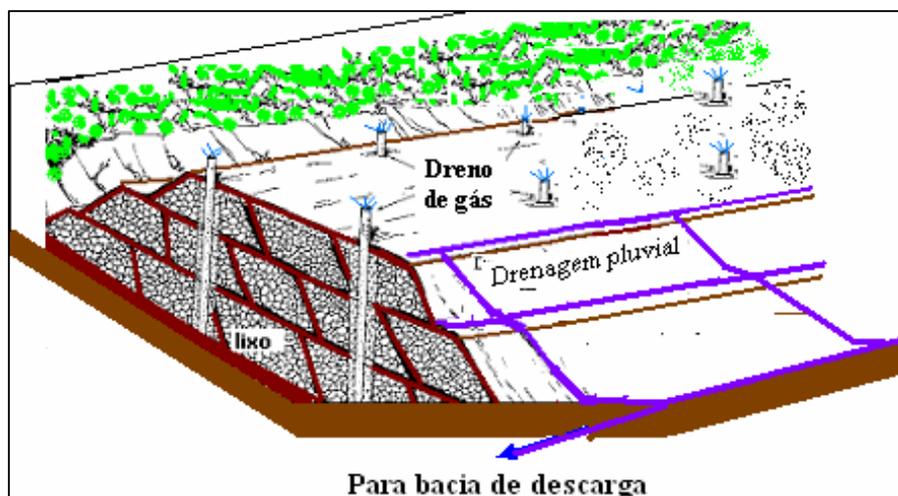


Figura 42: Sistema de drenagem das águas pluviais do maciço de um aterro verticalizado  
Fonte: Adaptado de IPT/CEMPRE (2000)

#### 5.8.15 Drenagem do percolado no aterro sanitário

Um dos principais fatores que garante a estabilidade da massa de lixo do aterro sanitário é certamente o bom desempenho do sistema de drenagem do percolado. Isto é conseguido pela construção de rede de drenagem, constituído pela abertura de valas longitudinais com declividade variando em torno de 2% ao longo da área de disposição dos resíduos sólidos urbanos e ou dentro da trincheira (espinha de peixe) conduzindo para o sistema de tratamento, e conveniente preenchido com pedra maroadada. Para evitar a colmatagem do dreno, este deve receber uma cobertura com galhos de árvore resultante de poda ou simplesmente capim seco.

Esses sistemas de drenagem devem ser mantidos desobstruídos durante a operação do aterro. A Figura 43 ilustra a execução de um dreno com pedra maroadada coberto com capim. O mesmo dreno também pode ser preenchido associando-se pneus entrelaçados com pedra maroadada, e/ou, blocos de entulhos da construção civil, recobertos com galhos de árvore.

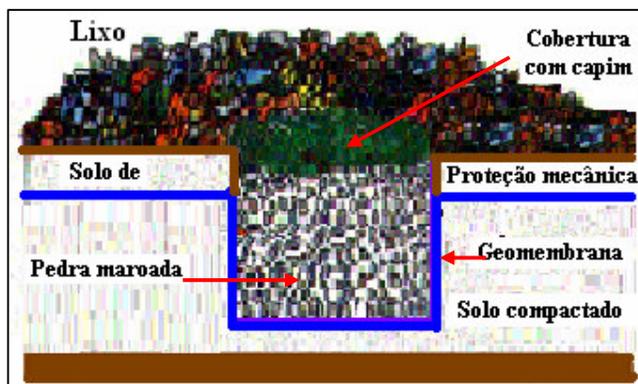


Figura 43: Esquema de um Sistema de drenagem de percolado no interior de uma trincheira

Qualquer que seja o modelo do projeto do aterro sanitário, o sistema de drenagem do percolado deve estar locado de tal forma que não atrapalhe as operações de descarga e compactação dos resíduos sólidos urbanos. Quando o modelo de projeto for o método da trincheira, cuidados devem ser mais efetivos quanto à possibilidade de ocorrerem obstruções dos drens. Recomenda-se, para esse caso, a execução do dreno principal em uma das laterais da trincheira (FIGURA 44).

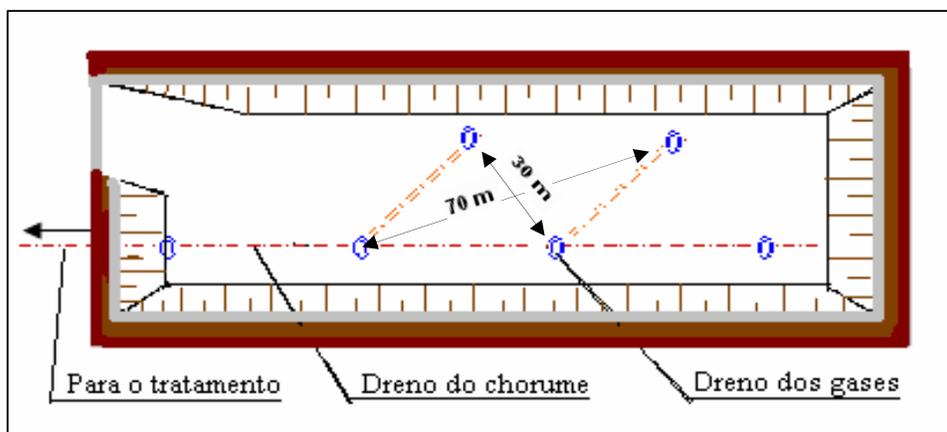


Figura 44: Localização do dreno de percolado e dos coletores de gases no interior de uma trincheira

#### 5.8.16 Preparação de novas áreas ou execução de novas trincheiras

Antes do encerramento de uma área ou de uma trincheira, é necessário que outra já tenha sido implantada para que o processo não sofra interrupção. A Figura 45 ilustra as fases de construção de um aterro sanitário: preparação do terreno; canaleta de drenagem do percolado; sistema de impermeabilização com geomembrana com a colocação e soldagem da manta de Polietileno de Alta Densidade - PEAD.



Figura 45: Aterro sanitário em construção. Preparação da área (a); colocação da geomembrana, canal de drenagem (b); execução da solda da geomembrana (c); execução do dreno do percolato sob a geomembrana (d).

O encerramento de uma área ou de uma trincheira e a preparação de outra deve ser realizado sempre no período de baixa precipitação pluviométrica, ou seja, nos meses considerados períodos de seca do ano. Este cuidado facilitará o trabalho com a movimentação de solo. Na preparação de nova área ou a execução de nova trincheira para a disposição dos resíduos sólidos urbanos, deve ser feita a locação topográfica obedecendo ao sentido de ocupação ordenada da área.

#### 5.8.17 Disposição de resíduos sólidos dos serviços de saúde em trincheira sanitária

A destinação final de resíduos sólidos dos serviços de saúde, consiste no uso de procedimentos técnicos que visa sua disposição geralmente no solo (técnica de baixo custo) associada a um determinado tratamento prévio (calagem) que pode prevenir a disseminação de agentes patogênicos ou de qualquer outra forma de contaminação, garantindo a proteção a saúde humana e do meio ambiente.

A vala séptica mostrada na Figura 46 ilustra o método da disposição desses resíduos em trincheira. O local escolhido para a construção da trincheira deve estar na parte mais alta da área do projeto. Recomenda-se que o fundo da vala esteja a uma distância superior a 3 (três) metros do lençol freático, para maior segurança e proteção ambiental. Neste

caso, a vala não precisa necessariamente ser drenada, para a retirada do percolado de seu interior.

Outra alternativa de construção recomendada e que vem ganhando credibilidade junto aos órgãos ambientais, é a construção de valas sépticas com cobertura móvel sob trilhos e impermeabilizada com geomembrana. Neste caso, a vala não precisa ser drenada, para a retirada do percolado de seu interior, pois está protegida da contribuição das águas de chuva. Quando se faz a impermeabilização com geomembrana e não é feita a cobertura, deve-se fazer a drenagem do percolado, conduzindo-o para o sistema de tratamento.

O solo retirado da vala deve ser armazenado lateralmente, para ser utilizado no recobrimento diário dos resíduos de serviço de saúde. Os resíduos são lançados na trincheira, sendo recobertos por uma camada de cal virgem (calagem, utilizada para prevenir a proliferação de vetores e eliminar patógenos). Posteriormente, os resíduos são cobertos diariamente com o solo armazenado, não necessitando neste caso de compactação. Em geral, as valas possuem as seguintes dimensões: 3 m de profundidade, 2 m de largura, comprimento variável e inclinação dos taludes de 1/1 (vertical/horizontal).

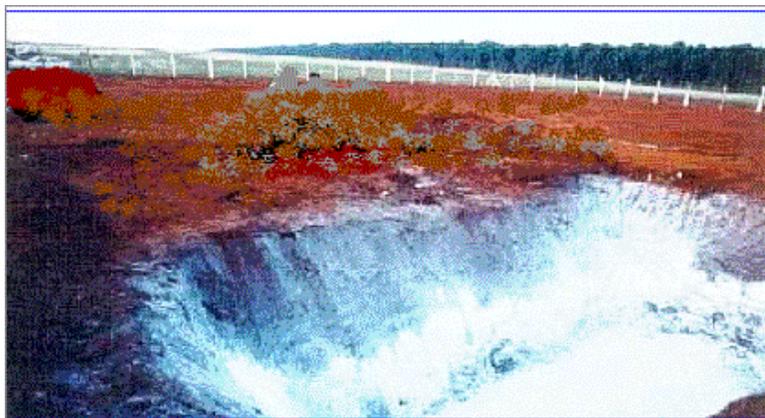


Figura 46: Construção e preparação de uma vala para disposição dos resíduos do serviço de saúde.

Fonte: Adaptado de Dudas (2001).

#### 5.8.18 Reserva de solo para recobrimento das células de lixo

Em geral, o volume de solo gasto no recobrimento diário e na cobertura final da massa dos resíduos urbanos é de aproximadamente 20% do volume da massa de resíduo aterrada. Portanto, igual volume de solo retirado durante a implantação do projeto, deve ser armazenado com este objetivo.

Outro aspecto a considerar, no caso de ser executado apenas uma frente de trabalho para atender a demanda presente, é a utilização de empréstimo de solo para a cobertura da massa lixo, do local de preparação da próxima área e/ou da trincheira a ser implantada. Assim, o local da área e/ou da trincheira estará previamente preparado, resultando na redução de custos com a movimentação de solo na implantação de novas frentes de disposição dos resíduos sólidos urbanos. É importante que o local seja demarcado e feito a locação topográfica, obedecendo sentido de ocupação ordenada conforme indicado no projeto executivo.

A utilização de entulhos da construção civil no recobrimento primário do lixo, também vem se mostrando como uma alternativa viável, gerando economia na operação do projeto, visto que os custos de transporte até o local são assumidos pelo gerador, cabendo ao operador do aterro sanitário, o espalhamento e a compactação. O entulho pode ser utilizado na cobertura diária das células de resíduos (camada de  $\pm 20$  cm), e/ou, na cobertura final da massa de resíduo compactada (camada de  $\pm 50$  cm). Neste último caso, o recobrimento deve ser complementado com uma camada de aproximadamente 20 cm com solo argiloso.

#### 5.8.19 Monitoramento das águas subterrâneas e superficiais

O monitoramento das águas subterrâneas e superficiais é um dos principais controles a ser realizado durante a operação e o período posterior ao encerramento da utilização da área do aterro sanitário.

Amostras de águas subterrâneas são coletadas dos poços de monitoramento implantados na área do projeto. Geralmente um único poço de montante é suficiente para este fim. Os poços de jusante devem ser posicionados levando-se em conta a direção do fluxo de escoamentos do aquífero. São recomendados, no mínimo, três poços de jusante no sistema de monitoramento, para os aterros sanitários e controlados.

Para a localização dos poços de monitoramento, deve-se avaliar os obstáculos naturais e/ou artificiais que podem afetar a qualidade das águas subterrâneas, tais como: os cursos superficiais de águas, as obras civis, a exploração de solos (pedreiras, jazidas), a formação de lagos e lagoas (naturais, e ou, artificiais), etc. Uma vez analisadas as situações preexistentes em cada área, faz-se a localização dos poços de monitoração de tal forma que afete o menos possível a área monitorada.

Esses poços de monitoramento devem ser construídos tomando-se todas as precauções necessárias para evitar a comunicação do lençol freático com os diferentes aquíferos, e projetados de acordo com os estudos hidro-geológicos realizados. Os poços devem ser executados em conformidade com a NBR 13895 (ABNT, 1997), ilustrado na Figura 47.

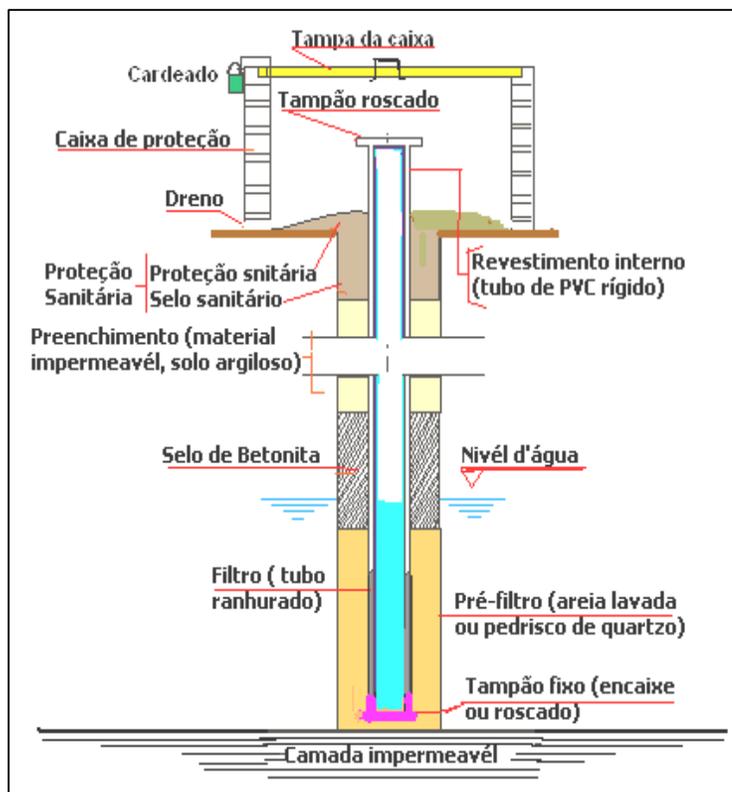


Figura 47: Esquema de um poço de monitoramento de águas subterrâneas.

No Quadro 38 são apresentados os parâmetros ambientais recomendados para a determinação da qualidade das águas subterrâneas (frequência de amostragem sugerida, semestral). As análises destes parâmetros devem ser solicitadas a laboratórios de análises ambientais, e serem realizadas conforme recomendado pelo Standart Methods for the Examination of water and Wastewater (métodos padronizados para análise de água).

Quadro 38: Parâmetros de avaliação da qualidade de águas subterrâneas

- Óleos e graxas	- Oxigênio dissolvido	- Nitrogênio amoniacal
- Níquel	- Demanda Química de Oxigênio	- Nitrogênio total
- Arsênico	- Demanda bioquímica de oxigênio	- Nitritos
- Cádmio	- Fósforo total	- Nitratos
- Cianetos	- Ferro total	- pH
- Zinco	- Fluoreto	- Chumbo
- Cloretos	- Cromo total e hexavalente	- Coliformes totais e fecais
- Cobre	- Mercúrio total	- Sulfatos e sulfetos
- Fenóis	- Bário	- Sólidos totais e dissolvidos

As águas superficiais devem ser monitoradas através de estações de amostragem instaladas nos cursos d'água superficiais adjacentes a área de implantação do projeto do aterro sanitário. As estações de coleta ou de amostragem devem posicionar-se no curso d'água de forma que existam posições de águas acima e abaixo, com relação a área do projeto. A frequência de amostragem sugerida é semestral, e os parâmetros ambientais recomendados para que sejam analisados em pesquisa de qualidade das águas superficiais estão relacionados no Quadro 39.

Quadro 39: Parâmetros de avaliação da qualidade de águas superficiais

- Alcalinidade Total	- Demanda Bioquímica de Oxigênio	- Nitrogênio Orgânico
- pH	- Demanda Química de Oxigênio	- Nitrogênio Total Kjeldahl
- Colimétria	- Ferro Total	- Oxigênio dissoluto
- Cloretos	- Nitrogênio Amoniacal	- Sólidos Totais Dissolutos
- Nitratos	- Substâncias Fenólicas	- Sólidos Sedimentáveis
- Nitritos	- Substâncias Detergentes	- Turbidez

#### 5.8.20 Coleta e tratamento dos gases

Entre os produtos da decomposição da massa lixo está o gás de aterro (biogás), também conhecido como gás-dos-pantanos. As três formas mais usuais de se construir drenos verticais, que deverão estar instalados em diversos pontos do aterro, são:

- utilizando-se tubos perfurados de concreto com diâmetro de 0,40 a 1,00 metro, que vão sendo sobrepostos conforme a elevação da cota do aterro (FIGURA 48), dentro do qual são colocadas pedras maroadas ou de mão, associado a formação de uma camisa de pedra a sua volta;
- utilizando-se uma forma feita de tela, onde se colocam pedras de mão, que vai subindo à medida que o aterro sobe (FIGURA 49<sub>a</sub>);
- utilizando-se um tubo guia dentro do qual são colocadas pedras britadas nº 4 (ou pedras de mão de até 10 cm), com o tubo sendo elevado à medida que se aumenta a cota do aterro (FIGURA 49<sub>b</sub>).

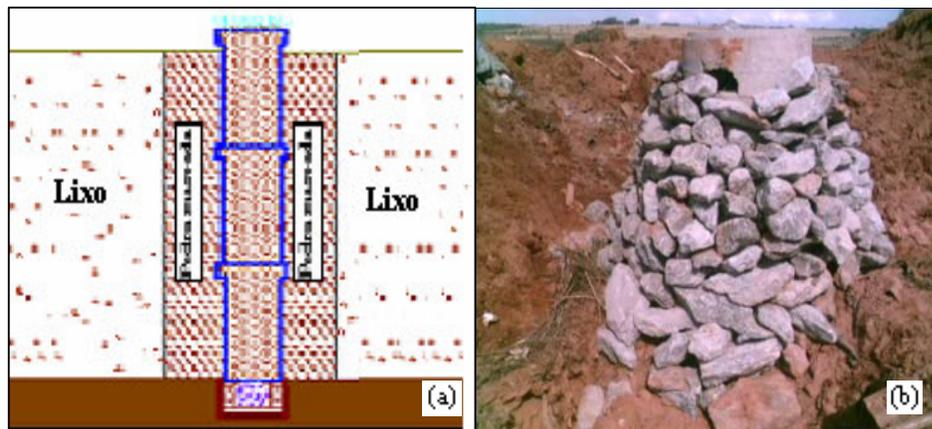


Figura 48: Dreno de gás confeccionado com tubo de concreto furado e preenchido com pedra maroadada, corte vertical (a); vista real do dreno (b)



Figura 49: Dreno confeccionado com tela (a) e tubo guia (b).  
Fonte: Adaptado de CONDER (2005)

Importante estabelecer que o material de preenchimento desses drenos de gás (pedra maroadada), deve ser composto por rochas de alto grau de dureza, já que quando o gás é queimado no próprio dreno, a alta temperatura pode alterar as características da rocha (caso específico de rochas calcáreas), que se transformam em cal, cimentando o dreno.

Quando a queima do gás não é realizada diretamente na boca do dreno, uma alternativa para reduzir custos na implantação desses, é a substituição do material de uso convencional (pedra maroadada) por blocos de concreto vindo nos entulhos da construção civil.

### 5.8.21 Tratamento do percolado

Em alguns aterros é suficiente para o controle da poluição, a drenagem superficial, a boa impermeabilização da base e a cobertura diária da massa de resíduo. Com estas providências, o percolado produzido certamente fica contido na massa do lixo, evitando a contaminação ambiental.

Nos projetos de aterro controlado (indicados para municípios de pequeno porte – população até 30.000 hab), pressupõe-se sua implantação em terreno com características naturais favoráveis (solo pouco permeável e lençol freático profundo). Assim o tratamento do percolado é dispensável.

Pelas características do percolado este pode potencializar os riscos de contaminação ambiental. Portanto, o sistema de captação e tratamento pode minimizar esses riscos, constituindo-se em um elemento indispensável ao projeto dos aterros sanitários.

Para os casos em que for indicada a utilização de lagoas de estabilização (FIGURA, 50), a operação resume-se em conservar as características pré-estabelecidas no projeto, as quais são indispensáveis ao seu bom funcionamento. Recomenda-se que diariamente seja observado:

- a) o desvio superficial das águas pluviais, principalmente no período chuvoso, para que essas não adentrem as lagoas;
- b) a limpeza periódica dos taludes internos, evitando sempre a invasão do mato no seu interior;
- c) as possíveis infiltrações nos taludes e o surgimento de processos erosivos;
- d) combater o surgimento de formigueiros em sua proximidade;
- e) o sombreamento, evitando plantar árvores em sua proximidade;
- f) as obstruções, tanto das tubulações de entrada como de saída;
- g) o acesso de pessoas não autorizadas e ou animais;
- h) conservar a área cercada e sinalizada com a identificação funcional da lagoa;
- i) fazer a pintura periódica dos mourões da cerca etc.

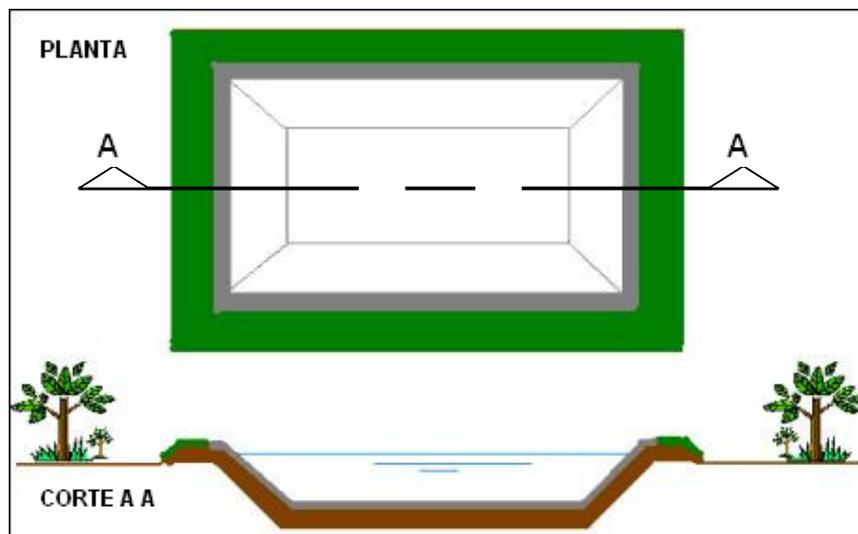


Figura 50: Esquema de uma lagoa de estabilização utilizada no tratamento do percolado.

Análises ambientais do percolado devem ser realizadas com amostragem pelo menos em dois pontos (entrada e saída do sistema de tratamento adotado). A frequência dessa amostragem sugerida é trimestral, e os parâmetros ambientais recomendados estão relacionados no Quadro 40.

Quadro 40: Parâmetros de avaliação da qualidade do percolado (afluente e efluente)

- Vazão	- Cloretos
- Sólidos suspensos	- Temperatura ambiente e da amostra
- Oxigênio Dissolvido	- Óleos e graxas
- Nitrogênio amoniacal	- Carbono orgânico total
- Nitrito e nitrato	- Cromo
- pH	- Mercúrio
- Ferro e chumbo	- Cadmio
- fosfato e fósforo total	- coliformes fecais
- Demanda Bioquímica de Oxigênio	- Demanda Química de Oxigênio
- sulfatos e sulfetos	- cianeto

As análises destes parâmetros devem ser solicitadas a laboratórios de análises ambientais, ser realizadas conforme recomendado pelo Standart Methods for the Examination of water and Wastewater (métodos padronizados para análise de esgoto), com emissão de laudo conclusivo, fazendo a comparação com os valores máximos estabelecidos pelas legislações ambientais vigentes, que estabelecem os parâmetros para lançamento final. Caso esses efluentes sejam lançados em cursos d'água, esses valores são estabelecidos por

leis municipais e/ou estaduais específicas e no âmbito federal pela resolução 357 (CONAMA, 2005).

A recirculação do percolado no estado bruto pela massa de lixo aterrada, também tem-se mostrado economicamente viável, e é aplicada até mesmo nos casos em que os parâmetros finais do processo de tratamento adotado não atendam os parâmetros estabelecidos na legislação pertinente. A principal vantagem dessa recirculação está na redução de custos com a implantação e operação do sistema de tratamento do percolado.

#### 5.8.22 Encerramento do aterro sanitário e uso futuro da área

Na desativação de um aterro sanitário a ordem é estabilizar a área (física, química e biologicamente) e, após essa estabilização (período geralmente não inferior a 15 anos após encerrar a disposição de resíduos sólidos urbanos na área), destiná-la ao uso compatível. A cobertura definitiva deve ser projetada e executada de maneira a atender o requisito de isolar a massa de lixo do meio ambiente, impedir a infiltração das águas de chuva e a saída não controlada do biogás.

Após o encerramento do aterro sanitário, a massa de resíduo pode sofrer recalque e ocorrer o aparecimento de desnível na cobertura final, ocasionando a formação de poças de água das chuvas, havendo, portanto, a necessidade da execução de canais de drenagem superficiais. Pequenas rachaduras na superfície atribuídas ao processo de acomodação da estabilização da massa de resíduo que está em decomposição, também poderão aparecer.

Terminando o fechamento de uma frente de disposição de resíduos sólidos urbanos, deve ser espalhada uma camada de material orgânico sobre o solo de recobrimento para que sirva de base para o plantio de grama ou capim e arbustos, que contribuirão para a revitalização do paisagismo. O sistema de drenagem superficial (incluindo aquela que circunda a área do projeto) e os sistemas de tratamento do percolado e coleta dos gases devem ser monitorados durante o tempo que houver risco potencial ao meio ambiente.

Obedecendo as devidas normas de proteção, após o fim das atividades do aterro, o local pode ser usado para a construção de um parque, jardim, campo de futebol, construídos em cima da última camada de resíduo sem que o terreno apresente qualquer risco a saúde pública ou de deslizamento.

Não é recomendada a construção de edificações sobre a área de um aterro sanitário concluído, pois ocorrem problemas de instabilidade e deformação da massa de resíduo. Este processo pode perdurar por muito tempo, dependendo da quantidade e das

características dos resíduos depositados.

O plantio de arbustos na formação de parque deve ser orientado por profissional habilitado, pois requer a indicação de espécies resistentes (nativas, preferencialmente), uma vez que o ambiente oferecido é inóspito para grande parte dos vegetais, principalmente para aqueles que apresentam raízes profundas.

As Figuras 51 e 52 apresentam desenho esquemático em corte da configuração de um aterro sanitário pelos métodos da trincheira e de superfície verticalizado, respectivamente, com o plantio de gramíneas e arbustos de pequeno porte sobre a cobertura da massa de lixo, sistema de drenagem dos gases em atividade e sistema de captação das águas pluviais e do percolado. No sistema de aterro verticalizado, há ainda a necessidade de manter as escadas de descida das águas pluviais com dissipador de energia em bom estado de conservação.

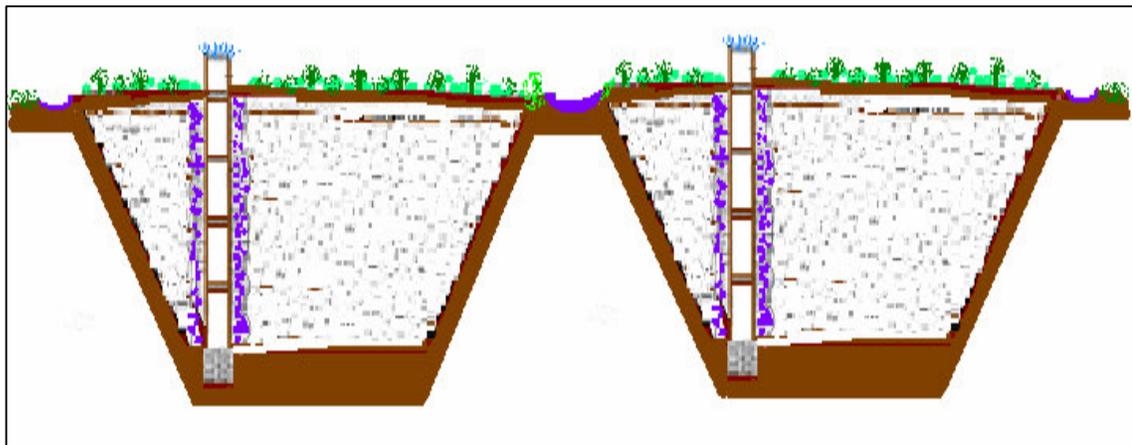


Figura 51: Encerramento da trincheira de um aterro sanitário

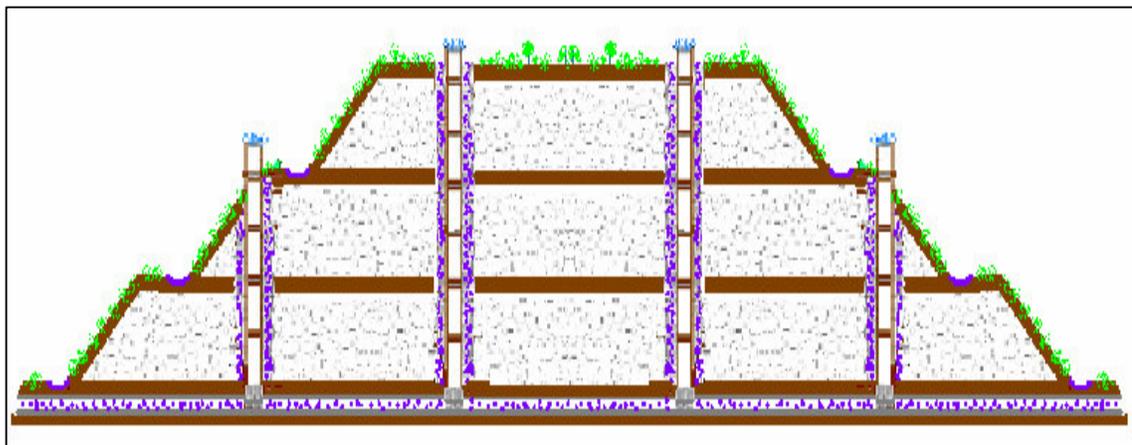


Figura 52: Encerramento da área de um aterro sanitário verticalizado

### 5.8.23 Paisagismo e aspectos positivos do aterro bem operado

Geralmente, a disposição de resíduos urbanos no solo ocupa grandes áreas, alterando a topografia, bem como outras características da região, sofrendo, portanto, uma ação intensa das forças da natureza, que tendem a alterar ou assimilar a nova condição. Por isso, mesmo aqueles projetos já encerrados, exigem obras especiais que protejam as suas estruturas durante um tempo mais ou menos longo, que depende das dimensões e características construtivas desse aterro, até que o mesmo esteja totalmente integrado ao ambiente local e, portanto, em condições de relativa estabilidade.

A paisagem é a visão do conjunto do local onde observa-se as técnicas que, juntamente com a sensibilidade buscam recriar ou ordenar a natureza, de modo a obter harmonia, beleza de cores e formas, integrar o homem à natureza, contribuindo para melhorar a qualidade de vida.

Os jardins são formas de manifestação cultural do homem, estão ligados à própria história das civilizações. A arte da jardinagem vem desde os povos antigos, como os egípcios, os gregos e os romanos. O paisagismo depende inteiramente da jardinagem. A planta é o ponto principal a destacar no jardim. É o máximo de expressão dentro da maior simplicidade. Portanto, a boa operação do projeto também deve estar associada à urbanização da área com a formação do cinturão verde, ajardinamento das áreas de acesso e das áreas internas disponíveis e que não estejam sendo utilizada. A Figura 53 ilustra a área de aterro bem urbanizado. A esses fatores estão associados ainda:

- boa impressão aos visitantes;
- evitar o aspecto antiestético do lixo e a exalação de maus odores;
- impedir que materiais leves sejam arrastados pela ação dos ventos.



Figura 53: Cinturão verde e ajardinamento de um aterro sanitário

#### 5.8.24 Cuidados a serem tomados pelos operadores de aterro sanitário

O lixo e o percolato transmitem uma série de doenças infecciosas. Para se precaver dessas doenças deve-se tomar os seguintes cuidados.

- Evitar qualquer contato direto com o lixo e o percolato;
- Não realizar qualquer trabalho, até que instruções tenham sido dadas e compreendidas;
- Não correr na área do projeto, a não ser em casos de emergência;
- Não operar nenhum equipamento, sem que tenha recebido instruções;
- Manter os equipamentos limpos e em condições de uso;
- Utilizar ferramenta correta e de forma adequada para cada serviço;
- Usar equipamentos de proteção individual, sempre que necessário e guarda-los após o uso;
- Não usar roupas muito largas;
- Manter as unhas cortadas e remover todo material estranho com escova, água e sabão;
- Comunicar e tratar imediatamente todo ferimento ocorrido durante o trabalho;
- Usar luvas e botas em todas as tarefas;
- No caso de contato com o lixo e o percolato, usar álcool iodado para a limpeza do corpo;
- Lavar as mãos antes de acender um cigarro ou comer qualquer alimento;
- Deixar as roupas usadas para trabalhar na área do projeto, nunca as usando em casa. A roupa usada deverá ser desinfetada e lavada no local de trabalho, sendo seca ao sol;
- Após o uso de ferramentas (pás, enxada, etc.), lavá-las com jato d'água;
- Caso ocorra algum corte nos dedos, ou arranhões nos braços, limpar com água e aplicar iodo;
- Fazer o reforço de vacinas (tétano, tifo e varicela) de acordo com orientações médicas;
- Ter sempre um estojo de primeiros socorros no local de trabalho, repondo periodicamente os materiais utilizados.

### 5.8.25 Uso de equipamentos de proteção individual

A operação segura de aterro sanitário exige o uso correto dos Equipamentos de Proteção Individual – EPI, pelos operários. Esses equipamentos são ferramentas de trabalho que visam proteger a saúde do trabalhador, reduzindo os riscos a sua saúde decorrentes da exposição a área de disposição do lixo. As vias de exposição são: inalatória, ocular, dérmica e oral. A função básica dos EPI é proteger o organismo, minimizando os riscos considerados acidentes de trabalho.

O uso de EPI é uma exigência da legislação trabalhista brasileira e o não cumprimento poderá acarretar em ações de responsabilidade cível e penal, além de multas aos infratores. A legislação trabalhista prevê que:

**É obrigação do empregador:**

- fornecer os EPI's adequados ao trabalho;
- instruir e treinar quanto ao uso dos EPI's;
- fiscalizar e exigir o uso dos EPI's;
- repor os EPI's danificados.

**É obrigação do trabalhador:**

- usar e conservar o EPI.

O empregador poderá responder na área criminal ou cível, além de ser multado pelo Ministério do Trabalho. O funcionário está sujeito a sanções trabalhistas podendo até ser demitido por justa causa. É recomendado que o fornecimento de EPI, bem como treinamentos ministrados, sejam registrados através de documentação apropriada para eventuais esclarecimentos em causas trabalhistas.

Abaixo, estão listados os EPI's indispensáveis para os operadores de aterro sanitário e informações e descrições para assegurar a sua identificação e o uso:

**Luvax:** um dos equipamentos de proteção mais importantes, pois protege as partes do corpo com maior risco de exposição, as mãos;

**Respiradores:** geralmente chamados de máscaras, protege o sistema respiratório contra a inalação de partículas, potencializando o risco a contaminação;

**Botas:** devem ser impermeáveis, preferencialmente de cano alto, para proteção dos membros inferiores;

**Jaleco e calça:** são vestimentas de segurança e proteção corporal;

**Boné:** confeccionado em tecido de algodão tratado para proteger o couro cabeludo;

**Protetor auricular:** muito importante para proteção do sistema auditivo.

### 5.8.26 Controle da quantidade dos resíduos sólidos recebidos na área do projeto

Os resíduos recebidos na área do projeto devem ser quantificados em toneladas por dia. Esta quantificação se dá pela pesagem em balança rodoviária dos veículos que transportam o lixo para o aterro. Naqueles projetos que não dispõem de balança, a determinação estimada do peso de lixo, pode ser feita pelo conhecimento do peso específico dos resíduos gerados, que é uma relação inversamente proporcional a unidade de massa por unidade de volume, expressa pela equação:

$$\text{Peso específico } (\delta) = \frac{\text{Peso líquido do lixo (kg)}}{\text{Volume do lixo (m}^3\text{)}}$$

Portanto, conhecido o volume do lixo recebido na área do projeto, através da medida do volume das carrocerias dos veículos transportadores, é possível determinar quantos quilos esse representa, pela expressão:

$$\text{Peso do lixo (kg)} = \text{Peso específico (kg/m}^3\text{)} \times \text{Volume do lixo}$$

Assim, é possível estabelecer uma taxa pela quantidade de resíduo urbano recebido na área do projeto em kg/dia adotando, por exemplo, o valor padrão do peso específico do lixo urbano transportado por caminhão compactador de 700 kg/m<sup>3</sup> e ou 250 kg/m<sup>3</sup> para o lixo transportado sem a compactação, pelas seguintes expressões, respectivamente:

$$\text{Peso do lixo compactado (kg)} = 700 \text{ kg/ m}^3 \times \text{Volume do lixo (m}^3\text{)}$$

ou

$$\text{Peso do lixo sem compactação (kg)} = 250 \text{ kg/ m}^3 \times \text{Volume do lixo (m}^3\text{)}$$

O resultado obtido deve ser anotado em uma ficha específica, conforme modelo apresentado no Quadro 41, para o controle do tipo de resíduos recebido, a origem e a quantidade por um determinado período. Geralmente, esse período é especificado por dia e por mês. Este controle também é importante para a orientação do local de disposição do resíduo e controle da vida útil do projeto.



### 5.8.27 Plano de monitoramento ambiental de aterro sanitário

Os elementos de monitoramento de um aterro sanitário, apresentados no Quadro 42, quando estabelecidos como prioridade no gerenciamento do projeto, certamente resultara no bom desempenho da implantação continuada e sua operação. A consequência resultante esta na produção de menor impacto ao meio físico, biótico e sócio-econômico. Desse modo, define-se o esquema básico do plano e suas prioridades.

Primeiro: Conhecimento e assimilação dos fundamentos que levaram a concepção do aterro sanitário, suas especificações técnicas e de todas as unidades componentes, sua importância e a necessidade de estabelecer os princípios da administração continuada.

Segundo: Estabelecimento das rotinas sistematizadas de operação, manutenção e monitoramento.

Quadro 42: Elementos de monitoramento do aterro sanitário de resíduos urbanos

ELEMENTOS	MONITORAMENTO	PERÍODO
Administrativo do aterro	- Assegurar a permanência das equipes, equipamentos e máquinas para manutenção, implantação e operação do aterro.	Durante a vida útil de implantação e operação do aterro
Operação do aterro	- Cuidar para que não ocorra interrupção na execução de nenhuma fase de implantação, operação e manutenção do aterro.	Durante a vida útil de implantação e operação do aterro
Acesso à área do aterro	- Visitantes, somente acompanhados; - Não permitir a presença de animais domésticos; - Evitar a presença de animais silvestres.	Durante a vida útil do aterro
Equipamentos de operação do aterro	- Manter os equipamentos sempre em condições de trabalho; - Manter uma rotina de manutenção preventiva e atualização dos procedimentos de acordo com as recomendações dos fabricantes; - Executar manutenção corretiva, segundo as especificações técnicas dos equipamentos.	Durante a operação do aterro
Formação do cinturão verde no perímetro do aterro	- Combater o aparecimento de formigueiro; - Evitar o acesso de animais na fase de crescimento das mudas; - Combater ervas daninhas e o crescimento de capim que possa abafar o desenvolvimento das mudas; - Combater e eliminar mudas doentes; - Fazer o desbaste para evitar o sombreamento excessivo.	Durante a fase de crescimento

ELEMENTOS	MONITORAMENTO	PERÍODO
Controle de dípteros e outros vetores na área do aterro	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Está relacionada às boas condições de operação e manutenção do aterro;</li> <li>- Não permitir a presença de animais domésticos e silvestres;</li> <li>- São considerados elementos indesejáveis na área; moscas, mosquitos, urubus, ratos, baratas, etc.</li> </ul>	Durante a vida útil do aterro
Proteção do perímetro da área do aterro.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Conservar as placas de advertência;</li> <li>- Conservar os moirões que sustentam os fios de arame;</li> <li>- Manter apenas uma única portaria de acesso.</li> </ul>	Durante a vida útil do aterro e para a utilização futura da área
Drenagem das águas pluviais do aterro	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Conservar os taludes das curvas de níveis;</li> <li>- Manter desobstruídos os canais de escoamento superficial;</li> <li>- Eliminar possíveis invasões das águas da chuva em escoamento superficial na área do aterro, e ou, nas lagoas de tratamento do percolado;</li> <li>- Afastar a águas de escoamento superficial, lançando-as em bacias de contenção.</li> </ul>	Durante a vida útil do aterro e para a utilização futura da área
Estabilidade dos taludes da área de disposição dos resíduos urbanos do aterro	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Corrigir imediatamente possíveis processos erosivos;</li> <li>- Construir canais de drenagem na crista e nos pés de talude, escada de descida com dissipador de energia;</li> <li>- Eliminar poças de água de chuva na superfície da área do aterro;</li> <li>- Manter a boa compactação do resíduo aterrado.</li> </ul>	Durante a vida útil do aterro e para a utilização futura da área
Sistema de drenagem do percolado do aterro	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Corrigir imediatamente possíveis processos erosivos;</li> <li>- Manter desobstruído o canal de drenagem;</li> <li>- Evitar o trânsito de veículo sobre o canal de drenagem da área do aterro em operação.</li> </ul>	Durante a operação do aterro e enquanto houver a geração deste efluente.
Sistema de drenagem dos gases do aterro	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Manter acessa a chama para queima continuada dos gases;</li> <li>- Sinalizar o dreno que estiver em chama com placa de advertência de perigo.</li> </ul>	Durante a operação e enquanto houver geração de gás.
Natureza dos resíduos dispostos na área do aterro	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identificar a origem do resíduo.</li> <li>- Se a procedência for de empresa privada, identificar o gerador e anotar na ficha;</li> <li>- Fazer a inspeção visual antes de ser descarregado;</li> <li>- Exigir a caracterização do resíduo sempre que houver dúvidas quanto a sua natureza;</li> <li>- Anotar o volume, e/ou, o peso dos resíduos recebido na ficha de controle.</li> </ul>	Durante a operação do aterro
Disposição e compactação dos resíduos na área do aterro	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cuidar para que todo resíduo recebido no aterro seja disposto no sopé da célula de resíduo;</li> <li>- Evitar que resíduos fiquem espalhados pela área do aterro;</li> <li>- Utilizando trator de esteira, formar a rampa de lixo com passadas de três a seis vezes para obter uma boa compactação;</li> <li>- Fazer o recobrimento diário das células de resíduo, e ou, periodicamente conforme o caso.</li> </ul>	Durante a operação do aterro
Sistema viário do aterro	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Manter em bom estado de conservação, as pistas de acesso à área e no interior aterro;</li> <li>- Conservar todo sistema de drenagem das águas pluviais;</li> </ul>	Durante a operação do aterro

ELEMENTOS	MONITORAMENTO	PERÍODO
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Recolher possíveis resíduos que possam cair pelo caminho e levá-los para disposição na área.</li> </ul>	
Área do aterro para disposição dos resíduos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Eliminar poças de água de chuva na superfície da área;</li> <li>- Cuidar para que não ocorra a queima de lixo.</li> </ul>	Durante a operação do aterro
Encerramento de um aterro	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cuidar para que haja o recobrimento uniforme de toda superfície, com uma camada de solo de 60 cm.</li> <li>- Cuidar para que seja executado o caimento em 2%, para o escoamento das águas pluviais.</li> <li>- Cuidar para que não se formem depressões que permitam o empocamento de águas de chuva.</li> <li>- Cuidar para que haja o desenvolvimento normal das gramíneas e espécies arbustivas plantadas na superfície da trincheira.</li> </ul>	Após a vida útil da trincheira e por mais de 25 anos.
Preparação de novas áreas para disposição de resíduos no aterro	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cuidar para que cada nova área preparada esteja em conformidade com o projeto executivo;</li> <li>- Implantar a nova etapa antes do término da utilização da área em uso;</li> <li>- Executar essas obras no período de estiagem, de preferência entre os meses de maio e setembro;</li> <li>- Implantar todos os elementos requeridos como: compactação e impermeabilização da base, dreno do percolado e dos gases.</li> </ul>	Na preparação de nova área para o aterro
Contaminação do lençol freático da área do aterro	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Certificar-se que toda área de disposição dos resíduos tenha sido impermeabilizada;</li> <li>- Certificar-se de que o sistema de drenagem do percolado esteja funcionando;</li> <li>- Realizar análises ambientais de amostra da água dos poços de monitoramento semestralmente;</li> <li>- Comparar os resultados dos poços de jusante com os valores encontrados no poço de montante da área;</li> <li>- Comparar, também, com os parâmetros de potabilidade da água.</li> </ul>	Durante a operação do aterro
Operação da Estação de Tratamento de Percolado “ETP” do aterro	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Eliminar o crescimento do mato nas bordas internas das lagoas;</li> <li>- Conter a presença de animais silvestres e domésticos na área da ETP;</li> <li>- A presença de visitantes, somente acompanhados pelo responsável;</li> <li>- Realizar análises semestrais dos afluentes e efluentes, comparando-os com os valores máximos permitidos nas legislações ambientais vigentes.</li> </ul>	Durante a operação do aterro
Utilização da área do aterro	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cuidar para que nenhuma outra atividade seja desenvolvida na área, sem que haja estudos técnicos que os recomenda;</li> <li>- Manter atualizada o licenciamento ambiental.</li> </ul>	Durante a vida útil do aterro e para a utilização futura da área
Manual de operação do aterro	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ler atentamente o manual de operação do aterro;</li> <li>- Dirimir todas as dúvidas antes de executar uma tarefa;</li> <li>- Usar sempre os equipamentos de proteção individual “EPI”.</li> </ul>	Durante a operação do aterro

## 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A utilização de aterro sanitário é ainda uma alternativa de destinação de resíduos sólidos urbanos utilizada por poucos municípios brasileiros.

O aterro controlado ou simplesmente o aterro em vala, embora seja de longe uma alternativa adequada, ainda é recomendado para os pequenos municípios que geralmente dispõem de poucos recursos financeiros, humanos e de equipamentos.

A falta de procedimentos operacionais de rotina e de uma política administrativa continuada tem levado muitos projetos a serem abandonados, voltando à condição de lixo.

O aterramento diário dos resíduos dos serviços de saúde e sua calagem atende principalmente os aspectos psicossociais, sendo importante para a proteção dos trabalhadores da área do projeto e dos visitantes.

A compactação e o aterramento diário dos resíduos dispostos em aterro sanitário são mais praticados para quantidades superiores a 30 toneladas. Para quantidades diárias inferiores, esta operação deve ser programada para quando a quantidade de resíduos recebidos ultrapassar 30 t, desde que esse período de recobrimento não ultrapasse sete dias.

Para a operação de aterro sanitário em município de pequeno porte, é necessário que esse disponha no mínimo de uma pá-carregadeira articulada para essa finalidade.

Uma das soluções requeridas para minimizar a problemática do gerenciamento integrado dos resíduos sólidos urbanos, está na criação de estrutura organizacional com autonomia administrativa e financeira no âmbito da administração pública.

O custo médio de implantação dos aterros sanitários dos municípios de Anápolis e Aparecida de Goiânia foi de R\$ 28,12 por habitante e de Trindade R\$ 53,27 por habitante.

Quanto à capacidade dos aterros, Aparecida de Goiânia e Trindade tiveram custos médios de implantação por tonelada de R\$ 10,60. Quanto ao projeto de Anápolis, o custo da implantação por tonelada foi de R\$ 5,20.

Os custos de operação de um aterro sanitário são muito variáveis e relacionam-se diretamente com a estrutura disponível para esta finalidade. O percentual gasto no projeto de Anápolis equivale a 33% dos custos mensais de todo serviço de limpeza pública, coleta e destinação final dos resíduos sólidos urbanos. Os valores atuais são de R\$ 22,93 por tonelada o que equivale uma contribuição de R\$ 0,47 hab / mês.

O custo médio de operação de outros aterros sanitários no estado de Goiás é de R\$ 17,12 por tonelada, muito abaixo do valor médio de outros municípios brasileiros que é de R\$

40,0 por tonelada, especialmente daqueles projetos da região sudeste do país. Isto está relacionado a vários fatores, dentre eles, destaca-se os custos com a mão de obra.

Os custos de implantação e operação de um aterro sanitário, ainda que estejam representando a média dos custos regionais praticados, não podem ser aplicados como regra geral, dado o fato de que interfere nesses custos um grande número de variáveis, (características específicas da área escolhida, modelo de projeto desenvolvido, custo dos materiais de construção envolvidos, custo da mão-de-obra, etc.).

A utilização de solo argiloso na impermeabilização da base de um aterro sanitário (área de disposição de lixo urbano, serviço de saúde e lagoas de estabilização) resulta em custos bem menores quando comparados com o uso da geomembrana.

A utilização de entulho da construção civil no recobrimento da massa de lixo demonstrou ser uma alternativa viável na estabilidade da massa de resíduo aterrada e na redução de custos de operação.

A utilização de materiais alternativos para a construção da base do sistema de drenagem do percolado, tais como pneus entrelaçados recobertos com galhos de árvores, apresentaram bons resultados no projeto de Aparecida de Goiânia, com significativa redução de custos.

A construção dos drenos dos gases com uso de material alternativo como bloco de concreto de entulho da construção civil, deve ser evitado quando a queima dos gases é feita diretamente na boca do dreno, devido a pouco resistente desse material a altas temperaturas. Esse material pode ser recomendado apenas na formação da cortina externa no entorno do dreno dos gases.

Quando se faz a queima direta dos gases na saída do dreno, deve ser utilizado material com alta dureza na formação da chaminé, e com capacidade de resistir altas temperaturas, evitando, assim, a fusão desse material com a colmatação do dreno.

A recirculação do percolado dentro da área do projeto após as lagoas de estabilização, voltando sua carga para a massa dos resíduos sólidos aterrados, tem evitado a implantação de sofisticados processos de tratamento, geralmente requeridos para a remoção das altas cargas poluentes, características desses efluentes.

Existem poucas informações disponíveis sobre procedimentos operacionais, e em linguagem acessível aos quadros atuais de operadores dos projetos de disposição dos resíduos sólidos estudados.

A criação, na esfera do governo estadual e federal, de programas de capacitação e formação de técnicos com habilitação para o gerenciamento dos serviços de limpeza pública e

para a operação de projetos de destinação de resíduos sólidos urbanos, certamente contribuiria com a solução dessa problemática.

Para que a operação de um aterro sanitário seja efetivamente satisfatória, há a necessidade da presença de um responsável técnico com habilitação para o desempenho dessas funções, no comando do gerenciamento do projeto.

O incentivo à criação de programas de educação ambiental, à criação de cooperativas para a coleta seletiva, de centros de triagem de lixo nos municípios, também contribuirá para a solução da problemática dos resíduos sólidos.

O fomento e incentivo pelo governo dos estados na instalação de indústrias de reciclagem, também devem ser vistos como uma contribuição para a solução da destinação dos resíduos sólidos além de proporcionar a geração de emprego e renda.

Por fim, recomenda-se para novas pesquisas nos projetos de Anápolis, Aparecida de Goiânia e Goiânia, estudos relacionados a: fatores decorrentes do uso do solo na implantação do aterro sanitário, lançamento do percolado na rede pública de esgotamento sanitário; índice de compactação que resulte na melhor estabilidade dos aterros; relação da produção de biogás com a massa de resíduos sólidos disposta no aterro e aproveitamento desse biogás, aproveitamento da potencialidade dos resíduos urbanos da região metropolitana de Goiânia na co-geração de energia.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGMA - AGÊNCIA AMBIENTAL DE GOIÁS. **Diagnóstico do monitoramento dos projetos de disposição do lixo urbano nos municípios goianos**. Goiânia , Goiás, 2005, 29 p.

AMBIENTE BRASIL **Código de cores para os diferentes tipos de resíduos**. Disponível em: <<http://www.abientebrasil.com.br/composer.php3?base=residuos/indexphp3&conteudo=../docs/residuos/cores.html>> . Acesso em: 30 out. 2005.

ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**, São Paulo. 2003. 64 p. Disponível em <[www.abrelpe.com.br](http://www.abrelpe.com.br)> . Acesso em: 31 mar. 2005.

\_\_\_\_\_. ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**, São Paulo. 2005. 182 p. Disponível em <[www.abrelpe.com.br](http://www.abrelpe.com.br)> . Acesso em: 18 jan. 2006.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 84.7182: **solo – ensaio de compactação: método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1982. 10 p.

\_\_\_\_\_. NBR 84.19: **apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos: procedimentos**. Rio de Janeiro, 1985<sub>a</sub>. 9 p.

\_\_\_\_\_. NBR 8849b: **Apresentação de projetos de aterros controlados de resíduos sólidos urbanos: procedimentos**. Rio de Janeiro, 1985<sub>b</sub>. 9 p.

\_\_\_\_\_. NBR 11174. **Armazenamento de resíduos classe “II – A não inerte e II – B inerte: procedimentos**. Rio de Janeiro, 1990. 7 p.

\_\_\_\_\_. NBR 13895. **Construção de poços de monitoramento e amostragem – procedimento**. Rio de Janeiro, 1997. 32 p.

\_\_\_\_\_. NBR 13221. **Transporte de resíduos: referência**. Rio de Janeiro, 2000. 5 p.

\_\_\_\_\_. NBR 10.004: **resíduos sólidos: classificação**. Rio de Janeiro, 2004<sub>a</sub>. 71 p.

\_\_\_\_\_. NBR 10.005: **procedimentos para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos: referência**. Rio de Janeiro, 2004<sub>b</sub>. 16 p.

\_\_\_\_\_. NBR 10.006: **procedimentos para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos: referência**. Rio de Janeiro, 2004<sub>c</sub>. 3 p.

\_\_\_\_\_. NBR 10.007: **amostragem de resíduos sólidos: referência**. Rio de Janeiro, 2004<sub>d</sub>. 21 p.

BIDONE, Francisco Ricardo Andrade e POVINELE, Jurandy, **Conceitos básicos de Resíduos Sólidos**. São Carlos - SP, EEC/USP, 1999.

BISHOP, P.L. **Pollution Prevention. Inc. Fundamentals and Practice**. Singapore: McGraw-Hill Companies. 2000.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (2002a).**Lixo doméstico**

**está mais adequado no Estado de São Paulo** 2000. Disponível em: <[www.cetesb.sp.gov.br/solo/solo\\_inventario.htm](http://www.cetesb.sp.gov.br/solo/solo_inventario.htm)>. Acesso em: 15 de abr. de 2005.

\_\_\_\_\_. (2002b). **Ações da CETESB**. CETESB. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/prevencaopoluicao/acoes.htm>>. Acesso em: 15 de abr. de 2005.

CNEN - COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. Resolução NE-6.05. **Estabelece critérios gerais e requisitos básicos relativos à gerência de rejeitos radioativos em instalações radiativas**. Publicado no Diário Oficial da União em 17 de dezembro de 1985.

CAMPOS, H. K. T. **A geração de resíduos no Brasil e os problemas associados**. Documentos emanados da conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento. Rio de Janeiro. 1992.

CASTILHOS JUNIOR A. B. (cord.). **Resíduos Sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte**. Projeto PROSAB. iL. ABES RIMA, 2003. 294 p

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Aterro Sanitário - Apostilas Ambientais**, CETESB, São Paulo, 1997, 40 p.

CEMPRE - Compromisso Empresarial para Reciclagem **Reduzindo, reutilizando, reciclando - a indústria ecoeficiente**. São Paulo. CEMPRE, SENAI, 2000. 84 p.

\_\_\_\_\_. CEMPRE (2001). **Gerenciamento Integrado do Lixo**. Disponível em: <<http://www.cempre.org.br/duvidas.html>>. Acessado em: 16 jun. 2005.

CARVALHO (1996). In: FRITSCH, I. E. (2000). **Resíduos Sólidos e seus aspectos legais, doutrinários e jurisprudenciais**. Porto Alegre, EU/Secretaria Municipal da Cultura.

CONDER – Cia de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia. **Encontro técnico de gestão de resíduos sólidos urbanos – operação de aterro sanitário**. Bahia – Salvador. SEDUR/CONDER. 2005. 28p.

DBO Engenharia Ltda. **Projeto de adequação do aterro sanitário de Anápolis**. Anápolis, 2006a.

\_\_\_\_\_. **Estudo de impacto ambiental** – projeto do aterro sanitário de Aparecida de Goiânia. Aparecida de Goiânia, 1999b. 105 p

\_\_\_\_\_. **Relatório de monitoramento ambiental** – projeto do aterro sanitário de Goiânia. Goiânia, 2002c. 60 p

\_\_\_\_\_. **Estudo de impacto ambiental** – projeto do aterro sanitário de Trindade. Trindade, 2002d. 108 p

Dudas, L. **Origem e Destinação dos Resíduos Sólidos**. CD-ROM, Pr, 2001.

ENTERPA AMBIENTAL S.A. **Limpeza urbana**. Disponível em: <<http://www.resol.com.br/Patrocinadores/Enterpa.htm>>. Acessado em: nov. 2005.

FERREIRA, Osmar Mendes. **Laudo técnico pericial**. Ministério Público “Comarca de Anápolis”. Agência Ambiental de Goiás. 2000.

FONSECA, E. **Iniciação ao estudo dos resíduos sólidos e da limpeza urbana**. João Pessoa, 2º Ed. 2001. 130 p.

FRANCO, R. M. **Principais Problemas Ambientais Municipais e Perspectivas de Solução**. In: PHILIPPI JÚNIOR, A. et al. (Ld.) (1999). **Municípios e Meio Ambiente: Perspectivas para a municipalização da Gestão Ambiental no Brasil**. São Paulo: ABES, 1999. p 19-31.

FRITSCH, I E. **Resíduos Sólidos e seus aspectos legais, doutrinários e jurisprudenciais**. Porto Alegre, EU/Secretaria Municipal da Cultural, 2000. 143 p.

GAE/CONSTRURBAN - Consórcio GC Ambiental. **Dossiê Aterro Sanitário de Anápolis. GAE – Construção e Comércio Ltda. Relatos da empresa**. Goiânia, 2005 e 2006.

GIROD, J. L. **Loi du 15 juillet 1975. Code pratique des déchets textes officiels commentaris jurisprudence**. Nouvelle edition. 1993. 321 p.

HASAN, S. E. **Geology and hazardous waste management**. Prentice Hall, Inc, 1995. 387 p.

IBAM - Instituto Brasileiro de Administração Municipal [et al.]. **Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos - diagnóstico da Situação Atual**. Anápolis, 2004.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (1996). **Pesquisa Nacional por Amostras de Domicílios (PNAD)**. Síntese de Indicadores, 1995. Rio de Janeiro e Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB, 1989). IBGE, Rio de Janeiro.

\_\_\_\_\_. IBGE (2000). **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb/lixo\\_coletado/lixo\\_coletado\\_109.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb/lixo_coletado/lixo_coletado_109.shtm)>. Acesso em: abr. 2005.

\_\_\_\_\_. IBGE (2002). **IBGE - Tendências Demográficas - Brasil e UFs**. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/05122002tendemograf.shtm>>. Acesso em: 12 de jan. de 2006.

\_\_\_\_\_. IBGE (2006). **Cidades**. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>>. Acesso em 09 de mar. de 2006.

LIMA, José Dantas de. **Gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil**. Grupo de resíduos sólidos. João Pessoa, Paraíba, 2003. 267 p.

LIMA, José Dantas de. **Sistema integrado de destinação final de resíduos sólidos urbanos**. Grupo de resíduos sólidos. João Pessoa, Paraíba, 2005. 277 p.

LOPES, Adriana Antunes. **Estudo da gestão e do gerenciamento integrado dos resíduos sólidos urbanos no município de São Carlos (SP)**. Dissertação de Mestrado, 2003. 194 p. Escola de Engenharia de São Carlos Universidade de São Paulo, São Carlos. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/>. Acesso em: 25 de maio de 2005.

Maria Luiza Otero D'Almeida, Andre Vilhena. [et al.]; **Lixo Municipal, Manual de Gerenciamento Integrado**. 2ª edição. São Paulo. IPT/CEMPRE, 2000.

MATOS, Milton Martins de (PhD). **Anotações das aulas ministradas no curso de geotécnica ambiental**. FURNAS - Centrais Elétricas S. A. Aparecida de Goiânia, Goiás, 1996.

Mercedes-benz do Brasil. **Veículos comerciais**. Disponível em [http://www.mercedes-benz.com.br/veiculos\\_comerciais/caminhoes.htm](http://www.mercedes-benz.com.br/veiculos_comerciais/caminhoes.htm) . Acesso em: 01 de mar. de 2006

MMA - Ministério do Meio Ambiente (2005). **Qualidade Ambiental nos Assentamentos Humanos**. Secretaria de Qualidade Ambiental. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/sqa/residuos/index.cfm> Acesso em: 12 de jan. de 2006

MONTEIRO J. H. P. [et al.]. **Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001. 200 p.

MOTA. S. **Urbanização e Meio Ambiente**. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Capítulo Nacional da AIDIS. Rio de Janeiro. ABES 1999. 352 p.

MOREIRA et al. **Geração e manejo de resíduos sólidos de serviços de saúde no município de Bauru**. Bauru - São Paulo, 1994. 69 p.

NUPENGE – Núcleo de Pesquisa em Engenharia [et al.]. **Diagnóstico do gerenciamento de resíduos sólidos em municípios do estado de Goiás**. Anápolis, 2004a. Diagnóstico da Situação Atual.

\_\_\_\_\_. **Diagnóstico do gerenciamento de resíduos sólidos em municípios do estado de Goiás**. Aparecida de Goiânia, 2004b. Diagnóstico da Situação Atual.

ONA S.A Engenharia, Comércio e Indústria. **Estudo de impacto ambiental** – projeto do aterro sanitário de Anápolis. Anápolis, 1999.

Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB, 2000). Disponível em <http://www.ibge.gov.br/> Acesso em: 06 de janeiro de 2006.

SEMMARH - **Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Recursos Hídricos**. Disponível em: <http://semmarh.anapolis.go.gov.br/>. Acesso em: fev. e março, 2006.

SEPIN- Superintendência de pesquisa e informações. **Perfil socioeconômico dos municípios goianos**. Disponível em <http://portalsepin.seplan.go.gov.br/>. Acesso em: set. de 2006.

SEWELL, G. H. **Administração e controle da qualidade ambiental**. São Paulo. Universidade de São Paulo – USP. 1978. 295 p.

TESTA. S. M. **Geological aspects of hazardous waste management**. CRF Pess Inc Boca Ranton - Flórida, 1994. 537 p.

TOLEDO do Brasil. **Soluções em pesagem estática para caminhões**. Revista técnica, publicações de catalogo. São Paulo, SP, TOLEDO, 2006. Site [www.toledobrasil.com.br](http://www.toledobrasil.com.br)

USP - Universidade de São Paulo. **Biomassa no Brasil. Resíduos**. Disponível em: <http://infoener.iee.usp.br/cenbio/biomassa.htm>. Acesso em: 12 de jan. de 2006.

VELLOSO, C. H. V. **Modelo tecnológico para sistema de tratamento e destinação final de resíduos sólidos urbanos**. Curso Modelo de Gestão Integrado dos Resíduos Sólidos Urbanos, Brasília, 1999. 173 p

**OBRAS CONSULTADAS**

ABREU, Maria de Fátima. **Do lixo a cidadania, estratégia para ação**. Caixa Econômica Federal, UNICEF, Brasília, 2001.

Azevedo, Fausto Antônio de e Chasin, Alice A, da Matta (editores). **Metais – gerenciamento da toxicidade**. São Paulo, SP, Editora Atheneu, 2003.

Mansur, Gilson Leite e Monteiro, José Henrique R. Penido. **Cartilha de limpeza urbana**. Ministério da Ação Social, Brasília, 1991, 81p

Brasil, Ana Maria e Santos, Fátima. **Equilíbrio ambiental e resíduos na sociedade moderna**. São Paulo, FAARTE Editora, 2004.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Saneamento**. 1. ed. rev. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2004. 408p.

BRASIL, Ministério das cidades. **Diagnóstico da gestão e manejo de resíduos sólidos urbanos**. Ministério das Cidades, Brasília, IPEIA, 2004.

BRASIL, Ministério da Saúde. **Gerenciamento de resíduos de serviço de saúde**. Ministério da Saúde, Brasília, REFORSUS 2001.

BRASIL, Ministério do Planejamento. **Orientações básicas para organizar um serviço de limpeza pública em comunidades de pequeno porte**. Governo Federal – Brasília, 1997.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DA REGIÃO METROPOLITANA DE SALVADOR – CONDER. **Plano diretor de limpeza urbana – Dias D'Ávila**. Salvador, Bahia, 1994.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Norma 6410 CETESB. **Amostragem e monitoramento das águas subterrâneas e Construção de poços de monitoramento de aquífero freático**. CETESB, São Paulo, 1988;

LEMA, Legislações de Meio Ambiente Ltda. **Legislação ambiental federal**. São Paulo – SP, LEMA, 2000.

LIMA, José Dantas de. **Gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil**. João Pessoa, Paraíba, 2001. 267 p.

LORA, E. E. S. **Prevenção e Controle da Poluição nos Setores Energético, Industrial e de Transporte**. Brasília, Distrito Federal: ANEEL. 2000. Cap.II, p.74-87.

MANDELLI, S. M. D. C. **Variáveis que interferem no comportamento da população urbana no manejo de resíduos sólidos domésticos no âmbito das residências**. 1997. Tese de Doutorado. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, São Paulo, 1997.

METCALF & EDDY. **Tratamiento Y. Depuración de Las Aguas Residuales**. Editorial Labor, S.A. 1977. 837 p

NUNESMAIA, Maria de Fátima da Silva. **Lixo soluções alternativas**. Universidade Estadual

de Feira de Santana, Feira de Santana, Bahia 1997.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE (2005). **Programa de Coleta Seletiva**. Secretaria Municipal de Limpeza Urbana. Disponível em: <<http://www.phd.gov.br/limpeza-urbana/coletasele.htm>>. Acesso em: 14 de maio de 2005.

PEREIRA NETO, João Tinoco. **Manual de compostagem, processo de baixo custo**. Belo Horizonte, UFMG, 1996. 56 p.

RODRIGUES, Francisco Luiz e Cavinatto, Vilma Maria. **Lixo, de onde vem? para onde vai?**, Editora Moderna São Paulo - SP, 3ª Edição, 1997.

SCHNEIDER, V. E. [et al.]. **Manual de Gerenciamento de Resíduos Sólidos de Serviço de Saúde**. Caxias do Sul: Educs. 2. ed. rev. e ampl. 2004. 319p.

Silva, Salomão Anselmo e Oliveira, Rui de. **Manual de análise físico-químicas de águas de abastecimento e residuárias**. Campina Grande, Paraíba, 2001.

Sisinno, Cristina Lucia Silveira (org.). **Resíduos sólidos, ambiente e saúde, uma visão multidisciplinar**. Rio de Janeiro, Editora Fiocruz, 2000.

TELES, Luiz Antônio Souza. **Lixo como cuidar dele**. Ilustração Paulo Serra. Salvador, Bahia. SRHSH, 1994. 48p.

## SITES VISITADOS

<http://www.ambientalgyn.com.br/> Impermeabilização com geomembrana para aterros e lagoas. Dados técnicos e demais informações sobre projeto e execuções de aterros sanitários e lagoas.

<http://www.ambisolo.com.br/moni01.htm> Empresa prestadora de serviços em sondagens e perfurações e poços de monitoramento.

[http://www2.widener.edu/~sxw0004/solid\\_waste.html](http://www2.widener.edu/~sxw0004/solid_waste.html) Journal diary, public peal Widener University School of Engineering and the National Center for Resource Management and Technology at the University of Pennsylvania. Publicações especializadas em tecnologias de reciclagem de resíduos.

<http://people.howstuffworks.com/landfill.htm> Discute problemas da disposição de lixo em aterro sanitário.

<http://www.mma.gov.br/port/conama/index.cfm> Disponibiliza as legislações ambientais nacionais e as Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA.

<http://www.periodicos.capes.gov.br> Disponibiliza artigos, teses, dissertações e trabalhos técnicos científicos, nacionais e internacionais, às comunidades acadêmicas associadas.

<http://www.teses.usp.br> Disponibiliza para consultas abertas para o público teses e dissertações, das pesquisas desenvolvidas pelo corpo docente e discente da Universidade de São Paulo – USP.

<http://www.infra.goias.gov.br> Disponibiliza ao público legislações, decretos, portarias e informações da infraestrutura do Estado de Goiás.

<http://www.web-resol.org> Divulga informações sobre meio ambiente e saneamento básico e em especial sobre a gestão de resíduos sólidos.

<http://www.law.indiana.edu> Biblioteca virtual da Faculdade de Direito da Universidade de Indiana, USA, disponibiliza links para diversos sites de legislação ambiental internacional.

[http://www.rredc.nrel.gov/biomass/doe/nrel/waste\\_data/msw/data\\_sum/](http://www.rredc.nrel.gov/biomass/doe/nrel/waste_data/msw/data_sum/) Discute vários temas tecnológicos, alternativas para tratamento e destinação de resíduos sólidos urbanos.

<http://www.eawag.ch/dept/san> Apresenta e discute projetos para o desenvolvimento do saneamento e gerenciamento de resíduos sólidos em países em desenvolvimento.

<http://www.epa.gov/swerrims/index.htm> United States Environmental Protection Agency, discute as problemáticas dos resíduos perigosos.

<http://www.feam.br>. Fundação estadual do meio ambiente de MG. Disponibiliza informações sobre meio ambiente

<http://www.feema.rj.gov.br> Fundação estadual de engenharia do meio ambiente do rio de Janeiro. Divulga sus atividades, programas e projetos de interesse a comunidade.

<http://www.grs-ufpe.com.br> Grupo de resíduos sólidos da Universidade Federal de Pernambuco. Disponibiliza artigos, teses, dissertações e trabalhos técnicos científicos sobre

tratamento e destinação de resíduos sólidos entre outros.

<http://www.recordengenharia.com.br> Impermeabilização com geomembrana para aterros e lagoas. Dados técnicos e demais informações sobre projeto e execuções de aterros sanitários e lagoas.

<http://www.ibama.gov.br> Instituto brasileiro do meio ambiente e dos recursos naturais renováveis. Apresenta as linhas de atuações, políticas nacionais de meio ambiente etc.

[http://www.bancomundial.org.ar/lfg/default\\_po.htm](http://www.bancomundial.org.ar/lfg/default_po.htm) Landfill gas. Discute o aproveitamento de gas nos aterros sanitário para a América latina.

<http://www.prodam.pmsp.sp.gov/limpurb/instituc/instituc.htm> Departamento de limpeza urbana do Município de São Paulo. Apresenta informações sobre sistema gerenciamento de resíduos sólidos urbanos.

<http://www.mma.gov.br> Ministério do Meio Ambiente do Brasil. Apresenta legislações e informações e links sobre ações ambientais no Brasil.

<http://www.sustenta.org.mx> Compromisso empresarial para el manejo integral de resíduos sólidos. Informações técnicas de sistemas de tratamento e destinação final de resíduos sólidos urbanos para a sociedade.

## DIÁLOGO & INFORMAÇÕES

Prefeitura Municipal de Anápolis  
Endereço: Av. Brasil nº 200 – Centro – Anápolis - Goiás  
Telefone: (62) 3902-1237

Prefeitura Municipal de Aparecida de Goiânia  
Secretária de Ação Urbana  
Telefone: (62) 3283 1088

Prefeitura Municipal de Goiânia  
COMURG - Companhia de Urbanização de Goiânia  
Telefone: (62) 3524-8503

Prefeitura Municipal de Catalão  
Secretário Municipal de Meio Ambiente  
Telefone: (64) 3441-2709

Prefeitura Municipal de Goianésia  
Secretaria de Serviços Urbanos e Meio Ambiente  
Telefone: (62) 3935 1058 / 3935 1019

Prefeitura Municipal de Quirinópolis  
Secretária Municipal do Meio do Ambiente  
Telefone: (64) 3651 8800 ramal - 209

Prefeitura Municipal de Rio Verde  
Secretaria de Agricultura e Meio Ambiente  
Telefone: (64) 2101-6700

Prefeitura Municipal de Trindade  
Superintendência do Meio Ambiente  
Telefone: 3506-7009-7009

"DANTAS & TEREZA" <dantast@terra.com.br>

<http://www.estre.com.br>  
Estre Ambiental S/A. Av. Presidente Juscelino Kubitschek, 830 – Torre IV 4º andar - Itaim Bibi – São Paulo – SP PABX: 55 (11) 3709-2300 / fax 55- (11) 3078 – 5834, e-mail: [estre@estre.com.br](mailto:estre@estre.com.br)

<http://www.vega.com.br>  
Vega Engenharia Ambiental S.A. Praça Alberto Lion, 366 – Mooca, 01515-000 - São Paulo - SP - Brasil, Telefone: 55.11.6165.3500, Fax: 55.11.6165.3624. e-mail: [diretoria@vega.com.br](mailto:diretoria@vega.com.br)

<http://www.cavo.com.br/gestaocorporativa.html>  
Grupo Camargo Corrêa. Rua Funchal, 160 - Vila Olímpia, CEP: 04551-903 - São Paulo – SP, Tel: 11 3841-5400, Fax: 11 3841-5404

<http://www.suez.fr>  
SUEZ – Groupe Industriel International et de Services Electricité, gaz, services à l'énergie, eau. Vega Engenharia Ambiental S.A. Praça Alberto Lion, 366 – Mooca, 01515-000 - São Paulo - SP - Brasil, Telefone: 55.11.6165.3500, Fax: 55.11.6165.3624. e-mail: [diretoria@vega.com.br](mailto:diretoria@vega.com.br)

# Livros Grátis

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

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

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

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

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