Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Centro de Tecnologia e Ciências
Faculdade de Engenharia

Daniela Freitas Ribeiro

Avaliação dos aspectos estruturais e operacionais em cinco aterros sanitários, localizados nos estados do Rio de Janeiro e São Paulo

Rio de Janeiro
2016

Daniela Freitas Ribeiro

Avaliação dos aspectos estruturais e operacionais em cinco aterros sanitários, localizados nos estados do Rio de Janeiro e São Paulo

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Orientador: Prof. D. Sc. João Alberto Ferreira

Rio de Janeiro

2016

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

R484 Ribeiro, Daniela Freitas.
Avaliação dos aspectos estruturais e operacionais em cinco aterros sanitários, localizados nos Estados do Rio de Janeiro e São Paulo / Daniela Freitas Ribeiro. – 2016.
136f.

Orientador: João Alberto Ferreira.
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia.

1. Engenharia Ambiental. 2. Aterro sanitário - Dissertações. 3. Estruturas - Engenharia - Dissertações. 4. Resíduos sólidos - Dissertações. I. Ferreira, João Alberto. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. III. Título.

CDU 628.4

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação.

_____ _____

Assinatura Data

Daniela Freitas Ribeiro

Avaliação dos aspectos estruturais e operacionais em cinco aterros sanitários, localizados nos estados do Rio de Janeiro e São Paulo

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Aprovada em 31 de Março de 2016.

Banca Examinadora:

Prof. D. Sc. João Alberto Ferreira (Orientador)

Faculdade de Engenharia - UERJ

Profª. Dr.ª Ana Ghislane Henriques Pereira van Elk

Faculdade de Engenharia - UERJ

Profª. Dr.ª Camille Ferreira Mannarino

Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca - FIOCRUZ

Rio de Janeiro

2016

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha avó paterna Mariana e aos meus avós maternos Mário e Conceição pela **fé** e **inspiração** que transbordam a cada demonstração de afeto.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por sempre me dar mais do que eu possa imaginar.

Agradeço a minha família João, Helene, Mariana e João Daniel pelos momentos sempre compartilhados, pela inspiração, pela fé ensinada, pela paciência e pelo amor incondicional.

Agradeço ao meu noivo Caio pela compreensão, pelo amor cultivado e dedicação. Agradeço a sua família pela acolhida e pelo carinho.

Agradeço ao Professor João Alberto e a Universidade do Estado do Rio de Janeiro pela oportunidade, pela orientação, confiança e compreensão durante todo o processo de desenvolvimento da pesquisa acadêmica.

Agradeço ao Engenheiro José Carlos Pires, ao colega de trabalho Fábio Vasconcellos e ao Grupo Riwa S/A pela confiança e oportunidade de aprender e de desenvolver minhas competências pessoais e profissionais.

Agradeço as companhias Vital Engenharia Ambiental S/A, Construtora Zadar Ltda., Companhia Municipal de Limpeza Urbana – Comlurb, Eppo Saneamento Ambiental e Obras Ltda. e Essencis Soluções Ambientais S/A pelos dados fornecidos, pelo suporte operacional durante as visitas técnicas e pela contribuição dada a esta pesquisa acadêmica.

O sucesso ou o fracasso depende em grande parte dos seus próprios esforços.

Lord Baden-Powell

RESUMO

RIBEIRO, Daniela Freitas. *Avaliação dos aspectos estruturais e operacionais em cinco aterros sanitários, localizados nos estados do Rio de Janeiro e São Paulo.* 136 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

Os resíduos sólidos gerados diariamente pelas populações exigem a implantação de um sistema de gerenciamento integrado de resíduos de forma a propiciar desde a redução de sua geração até sua disposição final adequada. Nesta perspectiva, o aterro sanitário desempenha papel importante, devido a sua viabilidade econômica e ambiental para disposição final de resíduos sólidos. A realização de pesquisas relacionadas ao tema é de grande relevância, em razão dos níveis de segurança que este tipo de obra de engenharia exige. O presente trabalho apresenta os resultados do estudo dos aspectos estruturais e critérios operacionais de engenharia de cinco aterros sanitários, localizados nos estados do Rio de Janeiro e São Paulo. Os critérios abordados foram caracterização local, projetos de impermeabilização, sistema de drenagem de lixiviado, de biogás e de água pluvial, somado da descrição do procedimento operacional e o plano de monitoramento ambiental e geotécnico. Como resultado principal deste estudo, destaca-se a contribuição com a identificação de mecanismos e/ou o aprimoramento das técnicas existentes para assegurar o melhor desempenho de aterros sanitários.

Palavras-chave: Resíduos Sólidos; Aterro Sanitário; Critérios Estruturais e Operacionais de Engenharia.

ABSTRACT

RIBEIRO, Daniela Freitas. *Evaluation of the structural and operational aspects in five landfills, located in the states of Rio de Janeiro and São Paulo.* 136 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

The solid waste generated daily by the populations requires the implementation of an integrated management system of waste in order to supply as from the reduce of the generation to the final disposition adequate. In this perspective, the landfill plays an important function, due its economic and environmental viability for final disposal of solid waste. The realization of researches associated to the sanitary landfill is of high importance, because of the levels of security that this type of engineering job requires. This paper presents the results of the study of structural engineering aspects and some operational criteria in five landfills, located in the states of Rio de Janeiro and Sao Paulo. The criteria included in this academic work were site characterization, waterproofing system, leachate drainage system, biogas drainage system and rainwater drainage system, plus the description of the operating proceeding and the environmental and geotechnical monitoring plan. The principal result of this research is the contribution to the identification of mechanisms and/or improvement of existing techniques to establish the high performance of landfills.

Keywords: Solid Waste; Landfill; Structural and Operational Engineering Criteria.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Disposição final de resíduos sólidos em 2014	20
Figura 2 -	Concepção de um layout para aterro sanitário em planta baixa	24
Figura 3 -	Método construtivo da trincheira	31
Figura 4 -	Método construtivo da rampa	32
Figura 5 -	Método construtivo da área	32
Figura 6 -	Sistemas de impermeabilização inferior para aterros sanitários	34
Figura 7 -	Tipos de cobertura aplicada em aterros sanitários	36
Figura 8 -	Sistemas de cobertura final para aterros sanitários	37
Figura 9 -	Esquema geral para geração de lixiviados em aterros sanitários	39
Figura 10 -	Esquema de dreno de lixiviado	41
Figura 11 -	Taxa de geração de gases em aterros sanitários	42
Figura 12 -	Modelo de dreno de gás utilizado em aterros sanitários	43
Figura 13 -	Esquema de projeto de distribuição de drenos de gás	44
Figura 14 -	Construção do sistema de drenagem de águas pluviais	45
Figura 15 -	Desenvolvimento de um aterro sanitário	49
Figura 16 -	Declive de compactação da área do aterro (1V:3H)	51
Figura 17 -	Localização CTR Campos	57
Figura 18 -	Localização CTR Macaé	58
Figura 19 -	Localização CTR Rio	59
Figura 20 -	Localização Aterro Municipal de Itu	60
Figura 21 -	Localização do aterro sanitário localizado no município de Caieiras	61

Lista de Figuras – Artigo Técnico 1

Figura 1 -	Localização dos aterros sanitários estudados	67
Figura 2 -	Sistemas de impermeabilização inferior e superior	72
Figura 3 -	Sistemas de drenagem de lixiviados	74
Figura 4 -	Sistemas de drenagem de emissões gasosas	76
Figura 5 -	Sistemas de drenagem de águas pluviais – Geocélula	78
Figura 6 -	Sistemas de drenagem de águas pluviais	79

Lista de Figuras – Artigo Técnico 2

Figura 1 - Localização dos aterros sanitários estudados 87

Figura 2 - Esquema geral de operação identificado nos aterros sanitários 92

Figura 3 - Tipos de coberturas e materiais utilizados, conforme monitoramento de aterros sanitários 94

Figura 4 - Sistemas de drenagem de lixiviado intermediário, com duas opções de estrutura drenantes identificadas nos aterros sanitários 96

Figura 5 - Tipos de dispositivos temporários para drenagem de águas pluviais 97

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Disposição final de resíduos sólidos, por formas de destinação (2000-2008)	21
Tabela 2 -	Quantidade de municípios por região e tipo de destinação adotada – 2014	21
Tabela 3 -	Quantidade de resíduos em toneladas diárias por tipo de destinação adotada – 2014	22
Tabela 4 -	Sistemas horizontais de drenagem de lixiviado	40
Tabela 5 -	Pesos específicos em função do grau de compactação (KN/m^3)	50
Tabela 6 -	Critérios determinados para definição dos aterros sanitários.	56

Lista de Tabelas – Artigo Técnico 1

Tabela 1 -	Critérios determinados para definição dos aterros sanitários	67
Tabela 2 -	Grupo de aterros sanitários indicados	68
Tabela 3 -	Apresentação dos critérios de caracterização local	70

Lista de Tabelas – Artigo Técnico 2

Tabela 1 -	Critérios determinados para definição dos aterros sanitários	87
Tabela 2 -	Grupo de aterros sanitários indicados	89
Tabela 3 -	Aspectos gerais de infraestrutura de aterros sanitários	90

LISTA DE ABREVIAÇÕES E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
CEMPRE	Compromisso Empresarial para Reciclagem
CETESB	Secretaria Estadual do Meio Ambiente do Estado de São Paulo
CH_4	Metano
CO_2	Dióxido de Carbono
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CTR	Central de Tratamento de Resíduos
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
GCL	Geocomposto Bentonítico
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário
ETC	Estação de Tratamento de Chorume
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
IQR	Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos
ISWA	International Solid Waste Association
LI	Licença de instalação
LO	Licença de operação
LP	Licença prévia
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
NUCASE	Núcleo Sudeste de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PNSB	Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos

LISTA DE SIMBOLOS

Kgf/m^3	Quilograma força por metro cúbico
%	Porcentagem
t/dia	Toneladas por dia
m	Metro
cm/s	Centímetros por segundo
cm	Centímetro
mm	Milímetro
mJ/m^3	Megajoule por metro cúbico
°C	Graus Celsius
N°	Número
kN/m^3	Quilonewton por metro cúbico
V:H	Relação vertical e horizontal

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO 15
1. OBJETIVOS 17
1.1 Objetivo geral 17
1.2 Objetivos específicos 17
2. REFERENCIAL TEÓRICO 18
2.1 Resíduos sólidos: definição, classificação e caracterização 18
2.2 Disposição final de resíduos sólidos 20
2.3 Concepção, projeto e operação de aterros sanitários 23
2.3.1 Condições gerais para apresentação de projetos 25
2.3.2 Características estruturais de aterros sanitários 30
2.3.2.1 Método construtivo 30
2.3.2.2 Sistemas de impermeabilização 33
2.3.2.3 Sistemas de drenagem de lixiviado 38
2.3.2.4 Sistemas de drenagem de emissões gasosas 41
2.3.2.5 Drenagem de águas pluviais 44
2.3.3 Critérios de operação de aterros sanitários 46
2.3.3.1 Aspectos gerais de operação 46
2.3.3.2 Características operacionais do local de disposição 48
2.3.3.3 Plano de monitoramento ambiental e geotécnico 52
3. METODOLOGIA 55
3.1 Planejamento e levantamento dos aspectos estruturais e operacionais 55
3.2 Caracterização dos aterros sanitários indicados 56
3.2.1 CTR Campos 57
3.2.2 CTR Macaé 58
3.2.3 CTR Rio 59
3.2.4 Aterro Municipal de Itu 59
3.2.5 Aterro Sanitário localizado no município de Caieiras 60
3.3 Metodologia aplicada para análise dos dados e construção de projetos 61
4. RESULTADO E DISCUSSÃO 63
4.1 Artigo Técnico – Aspectos estruturais 63
4.2 Artigo Técnico – Critérios operacionais 83

5. CONCLUSÃO 102
REFERÊNCIAS 105
APÊNDICES 112
APÊNDICE A – Formulário aplicado nos aterros sanitários visitados 112
APÊNDICE B – Formulário aplicado na CTR Campos 115
APÊNDICE C – Formulário aplicado na CTR Macaé 119
APÊNDICE D – Formulário aplicado no CTR Rio 123
APÊNDICE E – Formulário aplicado no Aterro Municipal de Itu 128
APÊNDICE F – Formulário aplicado no aterro sanitário localizado no município de Caieiras 133

INTRODUÇÃO

Os resíduos sólidos gerados diariamente pelas populações exigem a implantação de um sistema de gerenciamento integrado de resíduos de forma a proporcionar desde a redução de sua geração até sua disposição final ambientalmente adequada. De acordo com a Constituição Federal, o município tem a competência legal para administrar e implantar este conjunto de soluções e ferramentas administrativas, operacionais e financeiras, que se encontram interligadas e comprometidas entre si.

Este sistema de gerenciamento integrado deve ser planejado, de forma a ponderar as limitações econômicas e sociais do município, garantindo a inserção gradativa de soluções para as etapas de coleta, transporte, tratamento e, principalmente, para a disposição final dos resíduos sólidos gerados.

Neste contexto, a disposição final de resíduos sólidos passa a desempenhar um papel importante, já que esta etapa necessariamente deverá existir para garantir o descarte adequado dos resíduos que não foram reaproveitados nas opções de tratamento viabilizadas. No Brasil, a principal solução de disposição final de resíduos sólidos urbanos (RSU) é o aterro sanitário, devido aos altos custos de implantação e operação de outras técnicas de tratamento e disposição final.

Entretanto, esta técnica de engenharia não elimina os impactos ao meio ambiente e os efeitos à saúde, apenas minimiza. Os aterros sanitários devem ser projetados, implantados e operados dentro de padrões ambientais e critérios técnicos que visem controlar e mitigar seus impactos ambientais negativos.

O aterro sanitário é um complexo sistema de engenharia em termos de planejamento, concepção, construção, operação e de manutenção, em razão dos processos físicos, químicos e biológicos envolvidos e que influenciam diretamente seu comportamento.

Para garantir que os aterros sanitários se configurem como projetos adequados, capazes de prevenir os efeitos negativos causados ao meio ambiente e a saúde, é necessária a adoção de critérios estruturais e procedimentos operacionais para o acompanhamento e monitoramento compatíveis, com as tecnologias existentes e as normas técnicas previstas.

Dentre esses critérios podem ser citados a caracterização e infraestrutura local, os projetos dos sistemas de impermeabilização de base e superior, as

configurações dos sistemas de drenagem de lixiviado, de emissões gasosas e de águas superficiais, a descrição do procedimento operacional (número de passadas, tipo de equipamento compactador, altura das camadas, inclinação das rampas), o tipo de material utilizado para cobertura intermediária e temporária, o projeto de sistema de drenagem de lixiviado intermediário e de drenagem de água pluvial temporário, conjuntamente com o escopo do plano de monitoramento ambiental e geotécnico.

Os aspectos e critérios técnicos estruturais e operacionais relacionados à engenharia civil e sanitária, hoje adotados nos aterros sanitários, apresentam elevados custos e carecem de uma padronização dos mecanismos indicados em normas e manuais técnicos. Esta circunstância torna fundamental a análise de novas alternativas e/ou aprimoramento das práticas desenvolvidas, garantindo que esta técnica de disposição ocorra de forma adequada.

Desta maneira, tendo como base a necessidade do aprofundamento da pesquisa científica neste assunto, o presente trabalho busca contribuir com a identificação de técnicas e procedimentos aplicados nas fases de construção e operação de cinco aterros sanitários, localizados nos estados do Rio de Janeiro e São Paulo, de forma a fornecer subsídios para assegurar um melhor desempenho durante a sua vida útil.

A dissertação foi estruturada em 6 Capítulos, adicionados das referências bibliográficas e dos apêndices. O Capítulo 1 apresenta a introdução, no qual são descritos alguns dos problemas associados à gestão e à disposição dos RSU, dos critérios técnicos estruturais e os procedimentos operacionais de aterros sanitários. No Capítulo 2 são definidos os objetivos gerais e específicos, que nortearam o desenvolvimento do presente projeto de pesquisa. O Capítulo 3 apresenta o Referencial Teórico e no Capítulo 4 é abordada a metodologia de trabalho empregada para execução do trabalho. O Capítulo 5 apresenta, em formato de artigos técnicos, os resultados e discussão da dissertação, no qual são avaliados os projetos estruturais e os procedimentos operacionais empregados nos aterros sanitários visitados, já no sexto Capítulo, são apresentadas as considerações finais deste trabalho. E por fim, são apresentadas as referências bibliográficas citadas no trabalho e os apêndices, onde são apresentados os formulários e os dados obtidos nas visitas técnicas de monitoramento dos aterros sanitários.

1 OBJETIVOS

1.1 Objetivo geral

O objetivo geral do trabalho é avaliar os critérios técnicos estruturais e os procedimentos operacionais utilizados nas etapas de construção e execução de cinco aterros sanitários, de modo a contribuir com a identificação de mecanismos que assegurem o melhor desempenho e a qualidade deste tipo de projeto de engenharia.

1.2 Objetivos específicos

Para o alcance do objetivo geral proposto, foram determinados os seguintes objetivos específicos:

- Estabelecer os parâmetros de caracterização e avaliação de um aterro sanitário;
- Apresentar a avaliação dos critérios estruturais estabelecidos para a etapa de implantação e construção de aterros sanitários;
- Apresentar a análise os procedimentos operacionais aplicados na etapa de execução e operação de aterros sanitários;
- Identificar possíveis projetos de engenharia, novos ou adaptados, aplicados nos aterros sanitários.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Resíduos sólidos: definição, classificação e caracterização

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (BRASIL, 2010) definiu resíduos sólidos como “material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível”.

Os resíduos sólidos possuem características físicas, químicas e biológicas, que se alteram, de acordo com o processo ou atividade, que origina o resíduo. A identificação e o estudo aprofundado destas características são fundamentais para o planejamento de todo o sistema de gerenciamento, pois eles influenciam no dimensionamento das instalações e equipamentos para coleta e transporte e na escolha das tecnologias de tratamento para destinação dos resíduos sólidos gerados (IPT/CEMPRE, 2010).

Segundo Monteiro et al. (2001), as características físicas a serem consideradas são:

- Taxa de geração por habitante (kg/habitante/dia): relaciona a quantidade de resíduos sólidos gerados diariamente e o número de habitantes de uma determinada região. Esta informação permite o dimensionamento dos equipamentos de coleta e transporte.
- Composição gravimétrica: refere-se às porcentagens das várias frações do resíduo, tais como papel, papelão, plástico, vidro, matéria orgânica, entre outros, em relação à fração total. Esta informação é fundamental para os estudos de aproveitamento e de tratamento de resíduos.
- Peso específico aparente: Relaciona a massa e o volume de resíduo. No Brasil, são adotados os seguintes dados: na coleta – 180 a 230 Kgf/m^3, no caminhão compactador – 500 a 600 Kgf/m^3 e no aterro sanitário – 600 a 800 Kgf/m^3. Este dado determina a capacidade volumétrica dos meios de coleta e transporte.

- Umidade: Representa a quantidade de água contida na massa de lixo. Este dado é apresentado em termos percentuais. Ele influencia na escolha da tecnologia de tratamento e do equipamento de coleta. Esta informação é importante para se calcular a produção de lixiviado em aterros sanitários.
- Compressividade: Representa o grau de redução de volume que uma massa de resíduo pode sofrer, quando compactada.

As características químicas dos resíduos sólidos são consideradas na avaliação das alternativas de tratamento e destinação de resíduos sólidos. Estas características podem determinar se certa massa de resíduo é elegível ou não para incineração ou outra tecnologia de tratamento. De maneira geral, a fração total do resíduo é combinada de uma fração de material combustível e outra de não combustível (TCHOBANOGLOUS et al*.,* 1993).

As características químicas a serem ponderadas são: poder calorífico, pH, % umidade, % de matéria volátil, % de não combustível, % em peso de elementos químicos, tais como, Carbono, Hidrogênio, Oxigênio, Nitrogênio e Enxofre.

As características biológicas são determinadas em função da população microbiana presente na massa de resíduo. Estas características influenciam diretamente na escolha do método de disposição final mais adequado e permite a prevenção da produção de odores e geração de moscas (TCHOBANOGLOUS et al., 1993).

São vários os tipos de resíduos sólidos gerados pelas atividades da sociedade, com destaque para os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), classificados pela PNRS (BRASIL, 2010), segundo a sua origem conforme descrito a seguir:

a) Resíduos domiciliares: os gerados em domicílios e residências urbanas;
b) Resíduos de limpeza urbana: os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;
c) Resíduos sólidos urbanos: os englobados nos itens “a” e “b”.

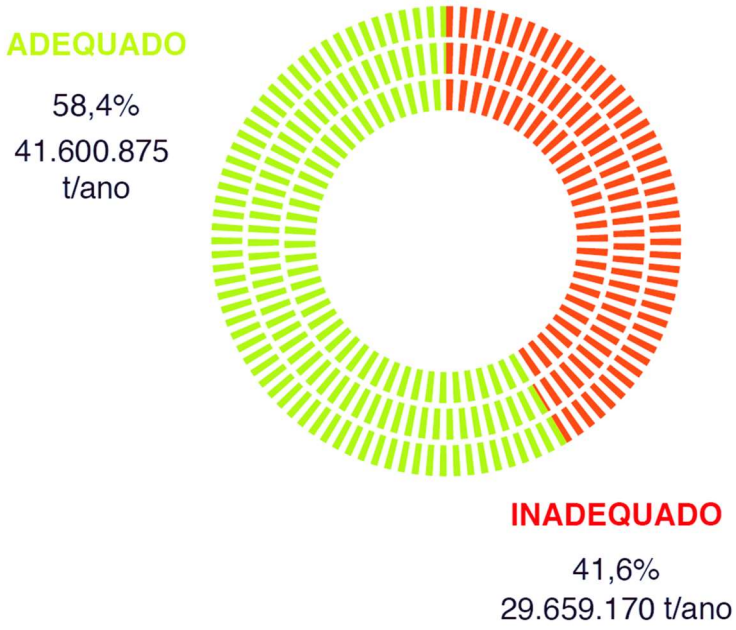
A NBR 10004 (ABNT, 2004), classifica os resíduos sólidos, de acordo com os seus riscos potenciais ao meio ambiente e a saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente. Para a norma técnica, os RSU se enquadram como resíduos não perigosos e não inertes – Classe IIA, mesmo que encontrado resíduo do tipo perigoso (Classe I) em sua composição.

2.2 Disposição final de resíduos sólidos

No Brasil são empregadas três formas principais para disposição final dos RSU gerados nos municípios, o lixão, o aterro controlado e o aterro sanitário, sendo que apenas o aterro sanitário se apresenta como uma solução técnica adequada, visto que os aterros controlados pouco se diferenciam dos lixões, uma vez que ambos não possuem um sistema de medidas adequado para garantir a proteção ao meio ambiente e contra os danos e degradações (IPT/CEMPRE, 2010; ABRELPE, 2014).

Segundo a Abrelpe (2014), o Brasil produz diariamente 209.280 t/dia de resíduos sólidos urbanos e, conforme apresentado na Figura 1, deste total, cerca de 58,4% são encaminhados para aterros sanitários, enquanto os 41,6% restantes são encaminhados para lixões ou aterros controlados.

Figura 1 – Disposição final de resíduos sólidos em 2014



Fonte: Abrelpe, 2014.

A Tabela 1 apresenta o percentual, em peso, dos resíduos sólidos encaminhados para cada uma das formas de destinação final, nos anos de 2000 e 2008 (IPEA, 2012). Neste período, houve um aumento significativo da destinação dos resíduos sólidos em aterros sanitários, indicando um avanço na gestão deste tipo de resíduo no país.

Tabela 1 – Disposição final de resíduos sólidos, por formas de destinação (2000-2008).

Destinação Final	2000		2008	
	Quantidade (t/dia)	%	Quantidade (t/dia)	%
Aterro Sanitário	49.700	35,4	110.000	58,2
Aterro Controlado	33.900	24,2	36.700	19,4
Vazadouros a céu aberto (lixão)	45.500	32,5	37.400	19,7
Outras unidades	11.200	7,9	4.700	2,7

Fonte: Adaptado de IPEA, 2012.

A Tabela 2 apresenta a situação dos municípios brasileiros, conforme a destinação final dos resíduos sólidos gerados. Segundo a Abrelpe (2014), é possível identificar que os municípios situados nas Regiões Norte e Nordeste obtiveram os maiores registros de destinação em lixões, cerca de 54,4% e 46,5% respectivamente, enquanto os municípios localizados nas Regiões Sudeste e Sul apresentaram as menores proporções – 12,2% e 10,1%, respectivamente.

Tabela 2 – Porcentagem de municípios por região e tipo de destinação adotada – 2014.

Destinação Final	2014 – Regiões e Brasil					
	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul	BRASIL
Aterro Sanitário	20,7%	25,4%	35,1%	49,2%	59,1%	40,1%
Aterro Controlado	24,9%	28,1%	31,5%	38,6%	30,8%	31,9%
Lixão	54,4%	46,5%	33,4%	12,2%	10,1%	28,0%

Fonte: Adaptado de Abrelpe, 2014.

Ao considerar a quantidade de resíduo gerado em toneladas diárias e a destinação em aterros controlados e lixões como inadequadas, que do ponto de vista ambiental, pouco se diferenciam, o cenário se apresenta de outra maneira, conforme exibido na Tabela 3.

A Região Centro-Oeste se apresenta com maior incidência de resíduos destinados de maneira inadequada, cerca de 69,7%. As Regiões Norte e Nordeste apresentam valores muito próximos e encaminham aproximadamente 64,5% e 64,4%, respectivamente, em toneladas diárias. As Regiões Sudeste e Sul mantiveram os menores registros, 27,3% e 29,3%, respectivamente.

Tabela 3 – Porcentagem de resíduos em toneladas diárias por tipo de destinação adotada – 2014.

Destinação Final	2014 – Regiões e Brasil					
	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul	BRASIL
Aterro Sanitário	35,5%	35,6%	30,3%	72,6%	70,7%	58,4%
Aterro Controlado	29,9%	33,1%	47,9%	17,3%	18,3%	24,2%
Lixão	34,6%	31,3%	21,8%	10,1%	11,1%	17,4%

Fonte: Adaptado de Abrelpe, 2014.

Pode-se notar que a Região Sudeste apresenta maior eficiência nos processos de gestão e disposição final de resíduos sólidos, do que as demais regiões do país.

De acordo com a Constituição Federal, o município tem a competência legal para administrar e prestar os serviços de limpeza urbana de interesse local e as prefeituras são responsáveis pela gestão integrada dos resíduos sólidos do município.

Segundo a PNRS (BRASIL, 2010), a gestão integrada de resíduos sólidos refere-se ao conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, tratamento e disposição final ambientalmente adequada dos resíduos, além da limpeza e varrição de vias e logradouros públicos.

Estas atividades possuem um alto custo de implantação e operação e representam cerca de 20% do orçamento das administrações municipais (PNSB, 2008). De acordo com Vargas (2013), devido a este alto custo, os municípios adotam diferentes ferramentas de gestão de resíduos, conforme o seu nível de desenvolvimento.

Além da limitação de ordem financeira, a deficiência na capacitação técnica profissional dos envolvidos no processo, a descontinuidade política e administrativa e a ausência de controle ambiental também são fatores que dificultam a gestão dos resíduos sólidos (IPT/CEMPRE, 2010).

Segundo IPT/Cempre (2010), a administração municipal deve, por meio do conhecimento das limitações do município, buscar maneiras diferentes de envolver todos os atores deste processo, a fim de desenvolver uma gestão eficiente, com a aplicação de soluções, de forma gradativa e de acordo com as possibilidades.

2.3 Concepção, projeto e operação de aterros sanitários

Os aterros sanitários representam a opção predominante para disposição final de resíduos sólidos em muitas partes do mundo (O'LEARY E TCHOBANOGLOUS, 2004). De maneira geral, a análise comparativa dos altos custos de implantação e operação de outras técnicas de tratamento e destinação de resíduos sólidos é uma das principais razões para esta dependência de aterros sanitários, principalmente para os países em desenvolvimento (LANER et al., 2012).

De acordo com a NBR 8419 (ABNT, 1992), aterro sanitário é "uma técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário".

Com a implantação da PNRS, metas de redução, reutilização, reciclagem, entre outras técnicas de tratamento, surgiram com vistas a garantir um desvio significativo de resíduos sólidos encaminhados para disposição final em aterros sanitários.

No entanto, pode-se afirmar que os aterros sanitários continuarão a ser necessários para garantir a disposição final ambientalmente responsável dos resíduos que não podem ser reaproveitados nas opções de tratamento viabilizadas e assim se tornam susceptíveis a continuar sendo um importante componente deste sistema de gestão integrada (EPA, 2014).

No Brasil, a principal alternativa de disposição final de resíduos sólidos é o aterro sanitário e a PNRS (BRASIL, 2010) exige que esta técnica seja aplicada em todo o país, substituindo os lixões e aterros controlados, tornando-se no futuro a opção responsável pela totalidade da disposição final adequada dos RSU.

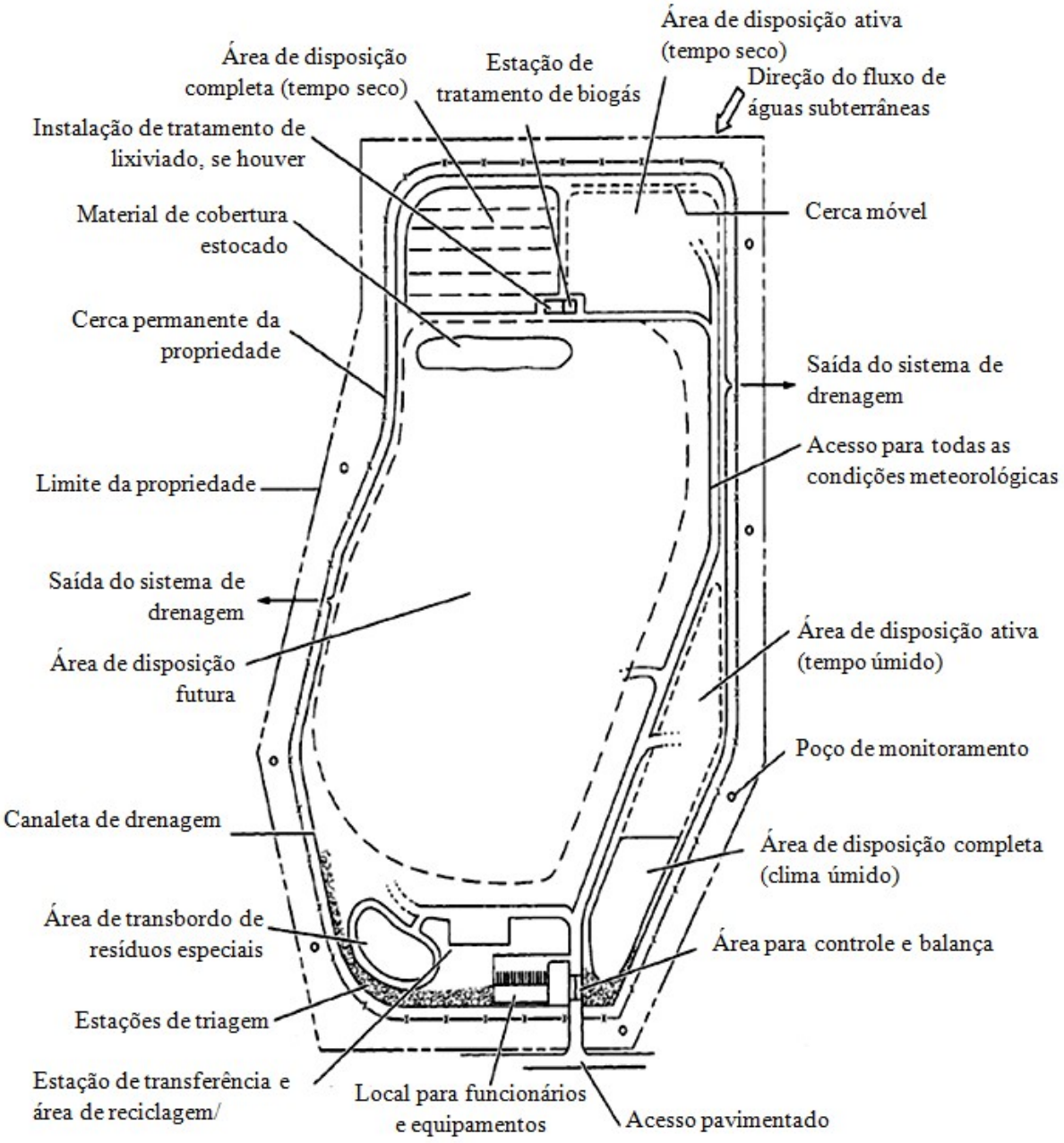
Entretanto, o aterro sanitário não elimina os impactos ambientais negativos e apenas minimiza, sendo que os resultados deste controle e mitigação dos impactos ambientais negativos estão diretamente correlacionados com a qualidade do projeto de engenharia, com a sua adequada implantação e, principalmente a sua correta operação.

De acordo com Monteiro et al. (2001), a disposição final dos resíduos sólidos em aterros sanitários é uma técnica que minimiza e controla duas fontes de

impactos ambientais: a emissão do biogás e a produção de lixiviado, gerados no processo de decomposição do resíduo.

Segundo Tchobanoglous et al. (1993), a concepção de um projeto de aterro sanitário é específica para cada caso. No entanto, os itens identificados na Figura 2, podem ser utilizados como uma lista de verificação dos componentes que devem ser considerados em um layout preliminar de um aterro sanitário.

Figura 2 – Concepção de um layout para aterro sanitário em planta baixa



Fonte: Adaptado de Tchobanoglous et al., 1993.

2.3.1 Condições gerais para apresentação de projetos

De maneira geral, o aterro sanitário é um termo utilizado para estruturas, que são especificamente construídas e operadas para receber um ou vários tipos de resíduos sólidos. Um aterro sanitário é um complexo sistema de engenharia em termos de planejamento, concepção, construção, operação e de manutenção que inclui, entre outros, sistema de impermeabilização, sistema de drenagem de lixiviado, gases e águas superficiais, sistema de cobertura dos resíduos, entre outros (AIVALIOTIS et al., 2004; JUCÁ et al., 2013).

O projeto adequado de aterro sanitário permite a prevenção, ou a redução na medida do possível, dos efeitos negativos sobre o meio ambiente, bem como os riscos à saúde humana, decorrentes da disposição de resíduos sólidos. A adoção de métodos, normas e sistemas operacionais baseados em melhores práticas atuais é essencial para o progresso em técnicas de gestão de aterros (CAREY et al., 2000).

O projeto de aterro é um processo interativo que incorpora o desenho das propostas conceituais, as conclusões da avaliação ambiental e resultados do monitoramento ambiental, avaliação de risco e as conclusões obtidas em investigações. A gestão adequada do aterro sanitário visa à sustentabilidade. É implícito que, por conseguinte, o desenvolvimento e operação adequados do aterro sanitário, que são intrinsecamente ligados, reflitam esta abordagem (CAREY et al., 2000).

A primeira etapa de um projeto de aterro sanitário é a escolha da área onde ele será implantado e operado. A escolha adequada da área de implantação está diretamente ligada ao bom desempenho do aterro sanitário, quando considerados os aspectos técnicos, econômicos, ambientais e sociais e por isso, apresenta-se como uma das principais dificuldades encontrada pelos municípios e empresas, que desejam investir neste tipo de empreendimento (ERSOY et al., 2013).

De acordo com Montaño et al. (2012), os estudos de alternativas de área para implantação de aterros sanitários implicam na integração dos requisitos ambientais aos requisitos de projetos, rompendo com as tradicionais análises custo-benefício aplicadas aos projetos de engenharia civil, que se apresentam focados apenas nos aspectos técnicos e econômicos, negligenciando outros elementos ambientais e sociais.

Segundo a NBR 13896 (ABNT, 1997), a avaliação da adequabilidade de uma área a ser utilizada para implantação de um aterro sanitário deve ser tal que os impactos ambientais gerados durante a sua operação sejam mínimos. A instalação do aterro deve ser bem aceita pela população vizinha, além de ser necessário que ele esteja de acordo com o zoneamento local e que possa ser utilizado por longo período de tempo.

As considerações técnicas a serem feitas, segundo a NBR 13896 (ABNT, 1997), para avaliação da capacidade e suporte de um local, em relação aos critérios definidos, são:

- **Topografia:** é um fator determinante na escolha do método construtivo e nas obras de terraplenagem para a implantação do aterro sanitário. É recomendável local com declividade superior a 1% e inferior a 30%;
- **Geologia e tipo de solos:** determina a capacidade de depuração do solo e da velocidade de infiltração. A existência de um depósito natural de solo com coeficiente de permeabilidade inferior a 10^{-6} cm/s é uma característica desejável no local selecionado;
- **Recursos hídricos:** é um fator que deve ser considerado devido à influência que o aterro sanitário pode causar na qualidade e no uso das águas superficiais e subterrâneas. O aterro deve ser localizado a uma distância mínima de 200 m de qualquer corpo de água;
- **Vegetação:** é uma característica que pode influenciar favoravelmente na escolha da área, pois a vegetação pode reduzir o fenômeno da erosão, a dispersão de poeira e transporte de odores;
- **Acessos:** é um fator importante, uma vez que são utilizados durante toda a sua operação;
- **Tamanho disponível e vida útil:** são fatores inter-relacionados, em um projeto e recomenda-se a construção de aterros sanitários com vida útil mínima de 10 anos;
- **Custos:** é uma característica que apresenta grande variabilidade, pois depende de seu tamanho e de seu método construtivo. Recomenda-se elaborar um cronograma físico-financeiro para analisar a viabilidade econômica do empreendimento;

- **Distância dos núcleos populacionais:** é recomendada uma distância mínima de 500 metros e máxima de 20 quilômetros.

Além destes critérios, em qualquer caso, obrigatoriamente, o aterro sanitário não pode ser implantado em área sujeita a inundação, em período de recorrência de 100 anos. Entre a superfície do aterro sanitário e o ponto mais alto do lençol freático deve haver uma camada natural de espessura mínima de 1,50 m de solo insaturado. O coeficiente de permeabilidade do solo, onde o aterro será executado, deve ser inferior a 5×10^{-5} cm/s. O aterro deve ser implantando em área, conforme a legislação local de uso do solo (ABNT, 1997).

Para Tchobanoglous et al. (1993), do ponto de vista técnico os principais fatores que devem ser considerados na escolha de área são:

a) Distância de transporte;
b) Restrições de locação;
c) Extensão da área;
d) Facilidade de acesso;
e) Condições do solo e topografia;
f) Condições climatológicas;
g) Hidrologia de águas superficiais;
h) Condições geológicas e hidrogeológicas;
i) Distância da zona urbana;
j) Potencial para reutilização da área.

De maneira geral, segundo Nucase (2008) é necessário identificar, dentre um conjunto de áreas pré-selecionadas, aquela que melhor possibilite:

a) Menor potencial para geração de impactos ambientais:
- Localização fora de áreas de restrição ambiental;
- Aquíferos com menor permeabilidade;
- Solos mais espessos, para evitar processos de erosão;
- Declividade adequada;
- Distância adequada de habitações, cursos d'água e rede de alta tensão.

b) Maior vida útil para o aterro sanitário:
- Capacidade de recebimento de resíduos.

c) Baixos custos de implantação e operação do empreendimento:
- Custos mínimos com infraestrutura;

- Menor distância do meio urbano;
- Disponibilidade de material para cobertura.

d) Aceitação social:

- Menor oposição da comunidade vizinha.

Depois de escolhida a área para implantação do aterro sanitário, a etapa seguinte é buscar os requisitos legais para se iniciar o projeto, a implantação e a operação do empreendimento (VAN ELK, 2007).

O Licenciamento Ambiental é um instrumento da Política Nacional de Meio Ambiente instituído pela Lei nº 6938, de 31 de agosto de 1981, com a finalidade de promover o controle prévio de estabelecimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais, considerados efetiva e potencialmente poluidores, bem como os capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental.

De maneira geral, o licenciamento ambiental é o procedimento administrativo pelo qual o órgão ambiental competente licencia a localização, instalação, ampliação e a operação de empreendimentos e atividades de pessoas físicas ou jurídicas de direito público ou privado, considerando as disposições gerais e regulamentares e as normas técnicas aplicáveis ao caso (CONAMA, 1997).

O processo de licenciamento ambiental é composto por três etapas principais. A primeira é a Licença Prévia (LP), que libera o empreendedor para elaborar os estudos de impacto ambiental e o projeto executivo, relacionados com a implantação do aterro sanitário. Após a análise e aprovação dos documentos, o órgão ambiental competente pode exigir ao responsável pelo empreendimento a realização de uma audiência pública, para validar o processo (MMA, 2009).

Na sequência, o empreendedor solicita a Licença de Instalação (LI). Esta licença, quando concedida, autoriza o empreendedor a iniciar a execução das obras de implantação do aterro, conforme detalhadas no projeto executivo, incluindo medidas de controle e demais condicionantes. O início das obras sem a licença de instalação é considerado crime ambiental (art. 60 da Lei nº 9.605/98), devendo o órgão ambiental aplicar as sanções e penalidades ao infrator (MMA, 2009).

A terceira fase do processo de licenciamento ocorre quando o empreendedor solicita a Licença de Operação (LO). Ao conceder a LO, o órgão ambiental autoriza a operação do aterro sanitário e estabelece as condicionantes e os programas de monitoramento que deverão ser implantados pelo empreendedor durante a vigência

da licença. Os prazos de validade da LO são de quatro ou seis anos, estando, sujeita à revalidação periódica (MMA, 2009).

Segundo Van Elk (2007), as licenças prévia, de instalação e de operação são obtidas à medida que as etapas de um aterro sanitário avançam no tempo e no espaço. Após a obtenção das licenças ambientais, as etapas seguintes são de projeto e implantação.

Para apresentação de projetos de aterros sanitários, recomenda-se o uso das normas brasileiras NBR 13896 (ABNT, 1997), que estabelece os critérios de projeto de aterros de resíduos não perigosos, e a NBR 8419 (ABNT, 1992), que determina as condições mínimas exigíveis para a apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos.

Segundo a NBR 8419 (ABNT, 1992), o aterro sanitário é uma obra de engenharia civil e o projeto executivo deve ser obrigatoriamente, constituído das seguintes partes:

a) Memorial descritivo: Informações gerais sobre o empreendedor, sobre os resíduos a serem dispostos, caracterização do local selecionado, concepção e justificativa do projeto, descrição dos elementos do projeto, da operação do aterro sanitário e do uso futuro da área.
b) Memorial técnico: Conjunto de cálculos dos elementos de projetos, vida útil do aterro sanitário, sistemas de drenagem superficial, sistemas de drenagem e remoção de lixiviado, sistema de drenagem de biogás, impermeabilização superior e/ou superior e cálculo da estabilidade dos taludes.
c) Cronograma de execução e estimativa de custos: Descrição dos equipamentos, serviços e materiais utilizados, da mão de obra empregada e das instalações e serviços de apoio.
d) Desenhos ou plantas: Informações e planta de localização, de concepção geral do aterro sanitário, planta baixa do aterro ou vista superior, com indicações das áreas operacionais, entre outras.
e) Eventuais anexos: Laudos e documentos, que o projetista julgar necessários ou importantes.

2.3.2 Características estruturais de aterros sanitários

2.3.2.1 Método Construtivo

De acordo com a Cetesb (1997), devido às variadas condições de trabalho e diferentes áreas selecionadas para implantação de aterros sanitários, ao longo da história, desenvolveram-se diferentes tipos de aterros que se diferenciam basicamente pelos seus métodos construtivos e operacionais adotados.

O método construtivo e de operação de um aterro sanitário está diretamente relacionado com o seu porte e às características topográficas e geotécnicas do terreno. Sua definição influencia diretamente nos custos de implantação e operação do empreendimento (CETESB, 1997).

O método considerado mais eficiente é aquele que considera a taxa de ocupação da área e a de escavação, visto que a escavação mais profunda é normalmente limitada pela capacidade de drenagem natural e pela altura das camadas de resíduo. As escavações muito profundas dificultam a drenagem do lixiviado, e consequentemente a operação do aterro sanitário (IWAI, 2005).

Segundo IPT/Cempre (2010), o aterro sanitário pode ser executado sob três métodos construtivos tradicionalmente empregados: método da trincheira ou vala, método da rampa e método da área, conforme detalhado a seguir:

a) Método trincheira ou vala:

De acordo com Pereira (2005), este método é aplicado em área plana ou levemente inclinada, com lençol freático profundo, quando a quantidade de resíduos a ser aterrada, não ultrapassa 10 toneladas diárias. Aterros em trincheira mostram-se adequados a pequenas comunidades, pois podem ser operados de forma manual.

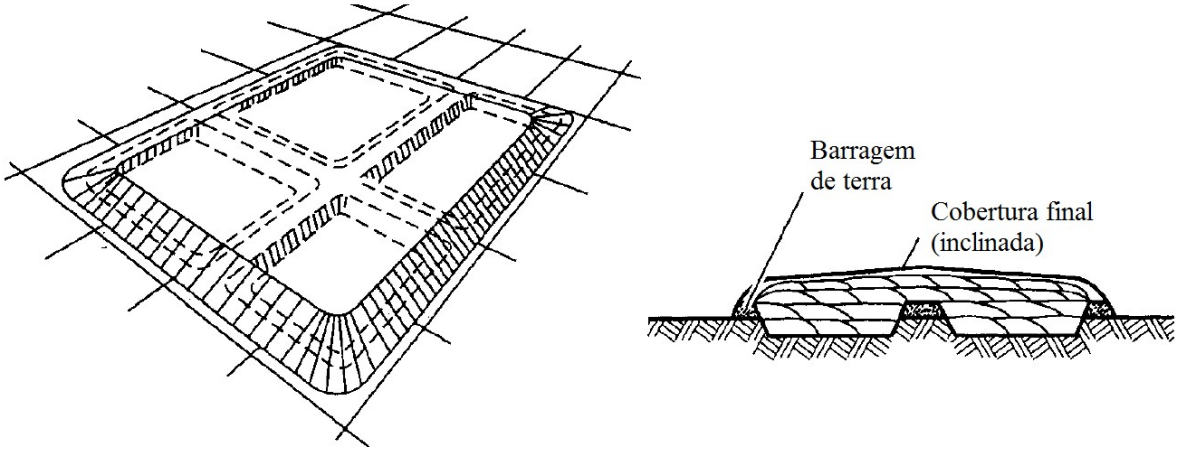
As dimensões das trincheiras ou valas definem os métodos construtivos, a forma de operação e os equipamentos a serem utilizados. As trincheiras podem ser de pequeno porte, com operação manual, ou de grandes dimensões, permitindo a entrada de equipamentos maiores para compactação (IPT/CEMPRE, 2010).

As duas opções de aplicação do método devem garantir o recobrimento do resíduo, ao final do dia de trabalho. O revestimento das células pode ser feito com solo argiloso de baixa permeabilidade ou geomembrana sintética, ou mesmo a

combinação de ambos. Este método construtivo exige uma atenção redobrada, quando considerada a drenagem do lixiviado, pois em função do próprio método de operação, é realizada em condições desfavoráveis (IWAI, 2005).

A Figura 3 apresenta o esquema do aterro sanitário aplicado no método da trincheira.

Figura 3 – Método construtivo da trincheira



Fonte: Adaptado de Tchobanoglous et al., 1993.

b) Método rampa:

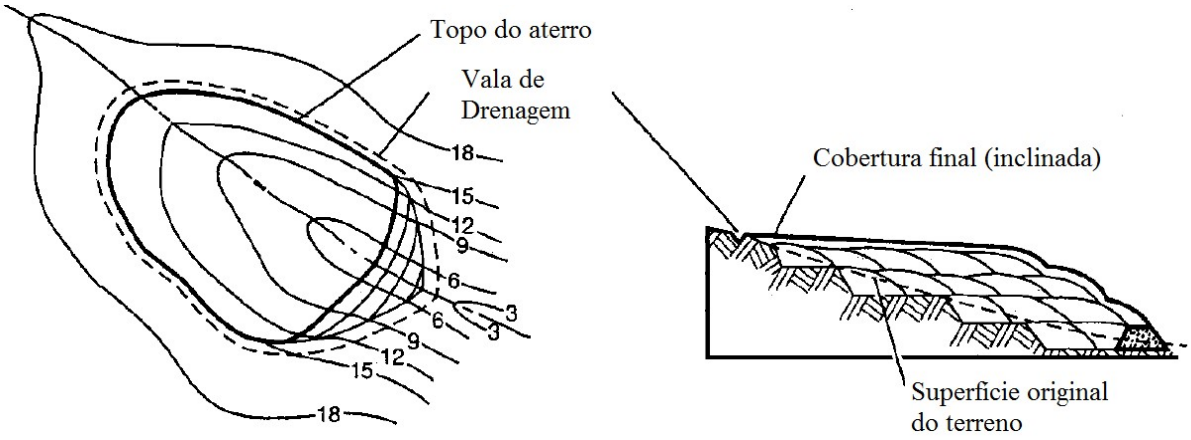
Segundo IPT/Cempre (2010), é um método construtivo também conhecido como da escavação progressiva e é fundamentado na escavação da rampa, onde o resíduo é descarregado, espalhado e compactado pelo trator de esteira, em várias camadas de até quatro metros de altura, e posteriormente coberto com solo.

Este método é utilizado em áreas de encostas e normalmente se aproveita do material escavado para a cobertura do resíduo. Este é o aspecto mais vantajoso deste método, pois a distância entre o resíduo disposto e o solo para cobertura são pequenas.

Na aplicação deste método, os resíduos são dispostos em diversas camadas e deve ser previsto em projeto um eficiente sistema de drenagem para prevenir o acúmulo de água pluvial. A viabilidade deste método está vinculada a existência de material de cobertura, principalmente para as camadas intermediárias e temporárias (IWAI, 2005).

A Figura 4 apresenta o esquema estrutural do método da rampa.

Figura 4 – Método construtivo da rampa



Fonte: Adaptado de Tchobanoglous et al., 1993.

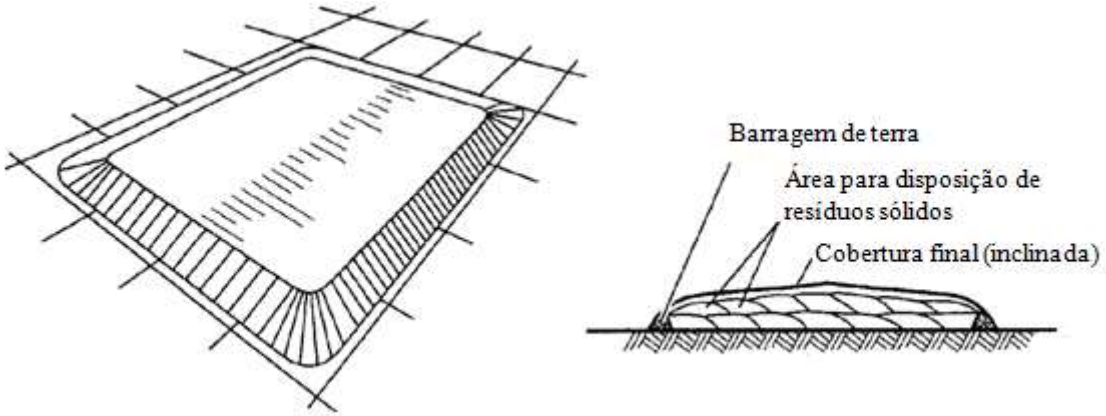
c) Método área:

Segundo Pereira (2005), este método é empregado geralmente em locais de topografia plana e lençol freático raso, no qual o resíduo é descarregado, espalhado e compactado por um trator de esteira, formando uma elevação tronco-piramidal. A preparação do local para aplicação deste método construtivo inclui a instalação de revestimentos e sistemas de controle de lixiviado (IWAI, 2005).

É uma técnica, onde dificilmente o solo local pode ser utilizado como cobertura e por isso, se torna necessário retirar o material de jazidas que, para economia de transporte, devem estar localizadas as mais próximas possíveis do local a ser aterrado. No mais, os procedimentos são idênticos ao método da rampa (IPT/CEMPRE, 2010).

A Figura 5 apresenta o método da área aplicado em aterros sanitários.

Figura 5 – Método construtivo da área



Fonte: Adaptado de Tchobanoglous et al., 1993.

2.3.2.2 Sistemas de impermeabilização de aterros sanitários

De acordo com Nucase (2008), a construção de sistemas de impermeabilização em aterros sanitários tem dois objetivos principais: a impermeabilização inferior ou de base, que busca impedir a migração de poluentes gerados pela decomposição dos resíduos confinados, com o intuito de impedir a contaminação do solo e dos aquíferos subjacentes. E a impermeabilização superior que impede a infiltração das águas de chuva após a conclusão da operação do aterro sanitário através da massa de resíduos.

As camadas de impermeabilização em aterros sanitários são divididas em três categorias principais: barreiras artificiais, barreiras geológicas e barreiras que utilizam o próprio resíduo. As barreiras artificiais são construídas para controlar a migração de lixiviado nas águas subterrâneas e para isolar os resíduos do solo, das águas superficiais e subterrâneas. Além disso, os projetos devem considerar, em termos de difusão de contaminantes e compatibilidade, os impactos que poderiam afetar o desempenho do aterro sanitário em longo prazo (ERSOY et al., 2013).

Segundo Rocca (1993), um sistema de impermeabilização deve apresentar as seguintes características:

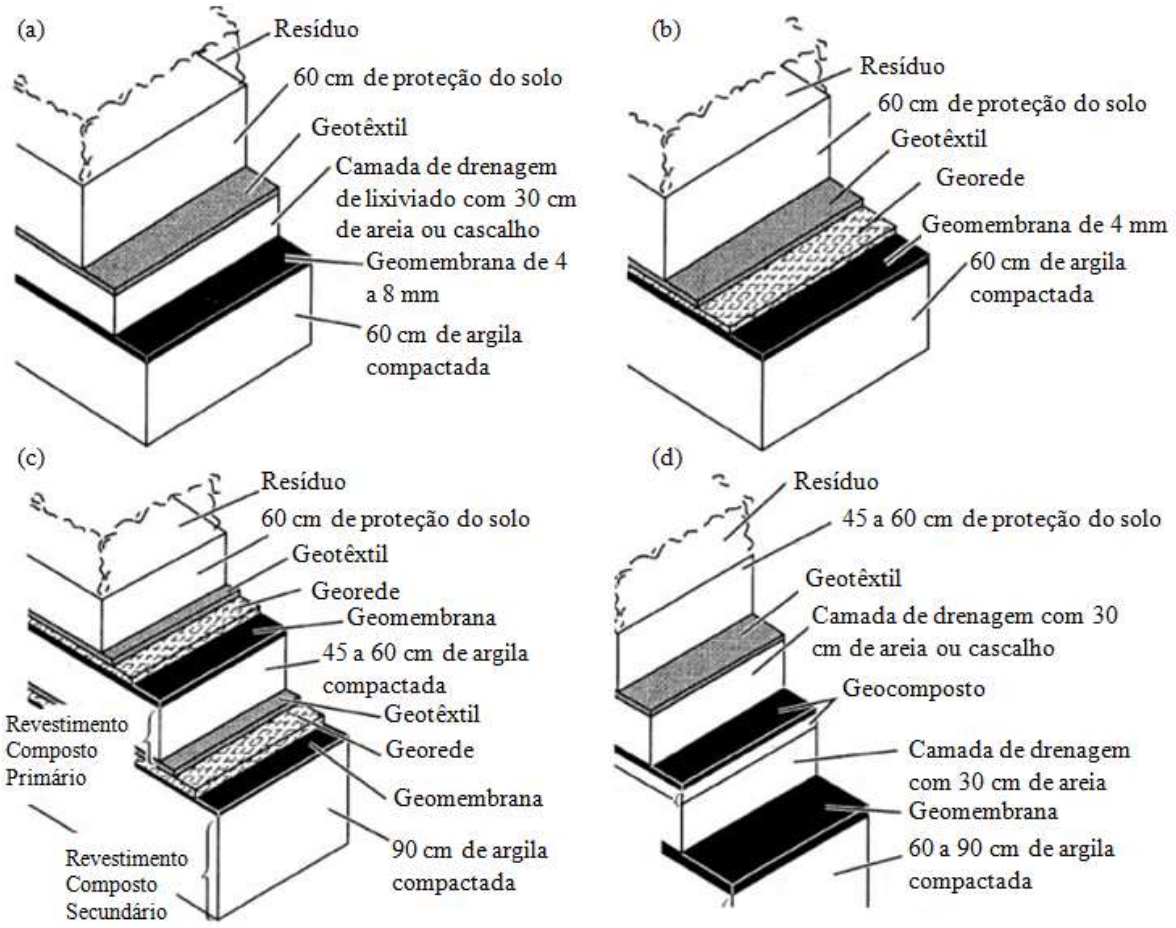
- Estanqueidade;
- Durabilidade;
- Resistência mecânica;
- Resistência a intempéries;
- Compatibilidade com o resíduo a ser aterrado.

a) Sistema de impermeabilização inferior ou de base:

Segundo Tchobanoglous et al. (1993), o sistema de impermeabilização de aterros sanitários é composto por estruturas com multicamadas, sendo que cada uma das camadas tem uma função específica. Este tipo de projeto é elaborado de acordo com as investigações hidrogeológicas e geotécnicas do local.

Conforme apresentado na Figura 6, muitos tipos de sistemas de impermeabilização de base têm sido propostos e a escolha do modelo a ser aplicado, depende das características do aterro sanitário.

Figura 6 – Sistemas de impermeabilização inferior ou de base para aterros sanitários



Fonte: Adaptado de Tchobanoglous et al., 1993.

A Figura 6*a*, apresenta uma camada composta de argila e geomembrana, que tem a função de barreira para o lixiviado e biogás, gerados no aterro sanitário. A camada de areia é composta por uma instalação de tubos para coleta de lixiviado. A camada de geotêxtil é usada para minimizar a mistura entre as camadas de solo e areia, sendo a camada final de solo utilizada para proteger a estrutura, durante a operação do aterro. Os projetos compostos por geomembrana e argila fornecem mais proteção e são hidraulicamente mais eficazes do que qualquer outro tipo de projeto, que utilize apenas uma das camadas (TCHOBANOGLOUS et al*.,* 1993).

Na Figura 6b, a geonet ou georrede (malha relativamente aberta, constituída de PEAD – polietileno de alta densidade) e o geotêxtil são alocados sobre a geomembrana, que por sua vez é colocado sobre uma camada de argila compactada. Uma camada de proteção do solo é colocada por cima do geotêxtil. O geonet e o geotêxtil têm como função atuar em conjunto como camada de drenagem de lixiviado (TCHOBANOGLOUS et al*.,* 1993).

No sistema de impermeabilização apresentado na Figura 6*c*, é utilizado um revestimento primário para coleta do lixiviado e um revestimento secundário, que serve para detecção de vazamentos e um backup para a camada primária. Este sistema de impermeabilização é composto por um sistema de drenagem de geonet. Na Figura 6*d*, é apresentado um esquema similar ao da Figura 6*c*, com exceção da camada de argila abaixo da primeira geomembrana, que é substituída por um geocomposto bentonítico (GCL), que é um produto feito a partir de argila de bentonita de alta qualidade e um material de ligação adequado. Este geocomposto tem permeabilidade tão baixa quanto 10^{-10} cm/s (TCHOBANOGLOUS et al*.,* 1993).

De acordo com a NBR 13896 (ABNT, 1997), a área escolhida para a implantação do aterro sanitário deve ser impermeabilizada conforme as indicações a seguir: ser construída com materiais de propriedades químicas compatíveis com o resíduo, com suficiente espessura e resistência, de modo a evitar rupturas originárias da operação diárias, de pressões hidrostáticas ou condições climáticas.

A área deve ser colocada sobre uma base capaz de suportá-la, para evitar sua ruptura por assentamento, compressão ou levantamento do aterro sanitário e deve ser instalada de forma a cobrir toda a sua área, para evitar que o resíduo ou o lixiviado entre em contato com o solo natural (ABNT, 1997).

De acordo com Nucase (2008), na aplicação da camada de impermeabilização de base com o emprego de solo argiloso, o fator que determinará o desempenho do sistema é a compactação realizada em campo. Por isso, é fundamental que se tenha um rigoroso controle de compactação em cada espessura de solo espalhado para verificar se o tratamento da base está de acordo com as especificações definidas no projeto técnico.

b) Sistema de impermeabilização superior:

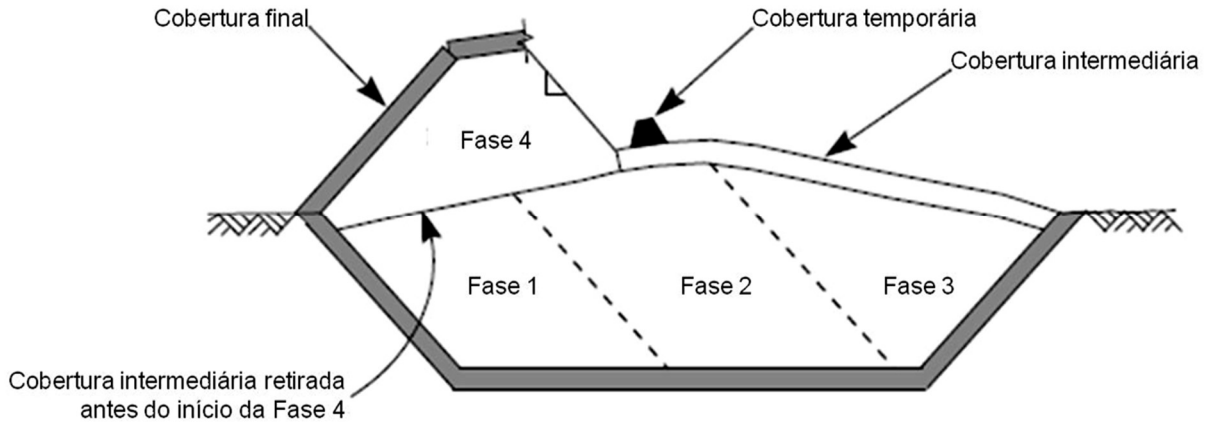
Segundo o IPT/Cempre (2010), o sistema de impermeabilização superior (ou sistema de cobertura), pode ser classificado em temporário, intermediário e final, conforme apresentado na Figura 7 e visa minimizar a infiltração de água de chuva, reduzir a taxa de produção de lixiviado, limitar as emissões fugitivas de biogás, suprimir a proliferação de vetores, reduzir a exalação de odores e proporcionar uma superfície adequada para a revegetação do local, no caso da cobertura final.

A cobertura temporária deve ser realizada diariamente após o término de cada jornada de trabalho, utilizando-se uma camada de cerca de 0,20 m de solo e a

cobertura intermediária deve ser aplicada em situações específicas, tal como, caso em que a superfície de disposição fique inativa e exposta por períodos mais prolongados (IPT/CEMPRE, 2010).

Segundo a NBR 13896 (ABNT, 1997), a cobertura final do aterro sanitário deve ser prevista em projeto para garantir as seguintes condições: exigir pouca manutenção, não estar sujeita a erosão, acomodar assentamento sem fratura e possuir um coeficiente de permeabilidade inferior ao solo natural da área do aterro.

Figura 7 – Tipos de cobertura aplicada em aterros sanitários



Fonte: Adaptado de Europeaid, 2010.

Para Tchobanoglous et al. (1993), para atender a estes propósitos, a cobertura de aterros sanitários deve seguir as seguintes exigências:

- Ser capaz de resistir a condições climáticas extremas;
- Ter estabilidade contra rachaduras, ruptura e/ou derrapagem do talude;
- Resistir aos efeitos de ajustamento do diferencial do aterro causado pela emissão de biogás, pela compressão do resíduo e pelo solo de fundação.
- Resistir à sobrecarga causada pelo deslocamento de veículos e equipamentos no transporte e armazenamento de material de cobertura, sobre porções ainda não protegidas do aterro.
- Suportar as alterações causadas pelos componentes do biogás emitido.
- Resistir às rupturas causadas por vegetação, animais e insetos.

Uma cobertura final de aterro sanitário é composta por uma série de camadas. A camada coletora é usada para abranger toda a superfície do aterro e em alguns projetos, é inserido um sistema de coleta de gás para otimizar o seu

tratamento. A camada impermeável é utilizada para limitar a circulação de líquidos e liberação de gases no aterro sanitário (IPT/CEMPRE, 2010).

A camada de drenagem é utilizada para desviar a água de chuva que pode infiltrar através das camadas superficial e de proteção. Ela também serve para reduzir a pressão da água sobre a camada impermeável. A camada de proteção é utilizada para proteger as camadas de drenagem e a camada impermeável. Por fim, a camada superficial, que também abrange toda a superfície do aterro sanitário e serve para suportar a vegetação que será utilizada na concepção de encerramento em longo prazo do aterro sanitário (TCHOBANOGLOUS et al., 1993).

De acordo com Tchobanoglous et al. (1993), a camada impermeável é a mais crítica. A argila compactada é muito utilizada nesta camada e ela apresenta uma série de problemas associados ao seu uso, como por exemplo, dificuldade em compactá-la em fundações suaves, em reparar os possíveis danos, facilidade em desenvolver rachaduras devido à dessecação e ineficiência na restrição da circulação do biogás gerado no aterro sanitário. Por isso, é recomendado o uso de geomembrana em combinação com a argila compactada.

No Brasil, a grande maioria dos aterros sanitários possui cobertura com camada homogênea de argila compactada, associada à plantação de vegetação sobre a camada de cobertura, para evitar a erosão e contração do solo (PEREIRA, 2005). Neste contexto, a Figura 8 apresenta os componentes básicos de uma camada de cobertura em aterro sanitário.

Figura 8 – Sistemas de cobertura final para aterros sanitários

Camadas	Descrição	Materiais típicos utilizados
↓ ↓ ↓ ↓	Camada superficial	Solo; camada geossintética de controle de erosão; blocos rochosos.
	Camada de proteção	Solo; material residual recuperado ou reciclado; blocos rochosos.
	Camada de drenagem	Areia ou cascalho; georrede ou geocompostos.
	Camada impermeável	Argila compactada; geomembrana; argila geossintética, rejeitos.
	Camada coletora de gás e/ou camada de fundação	Areia ou cascalho; solo natural; georrede ou geotêxtil; material residual recuperado ou reciclado.

Fonte: Adaptado de IPT/Cempre, 2010.

2.3.2.3 Sistemas de drenagem de lixiviado

O lixiviado de aterros sanitários pode ser definido como o líquido proveniente da umidade natural e da água de constituição presente na matéria orgânica dos resíduos, dos produtos da degradação biológica dos materiais orgânicos e da água de infiltração na camada de cobertura e interior das células de aterramento, somado aos materiais dissolvidos ou suspensos extraídos da massa de resíduos (LANGE E AMARAL, 2009; CATAPRETA, 2008).

As suas principais características são, segundo a NBR 8419 (ABNT, 1992), cor escura, mau cheiro e elevada carga de demanda bioquímica de oxigênio. Devido às características do lixiviado, tais como, elevada carga orgânica, fontes de nitrogênio, metais pesados e grupos microbianos específicos, ele se apresenta como um potencial poluidor das águas subterrâneas e superficiais, podendo inclusive causar impactos à saúde humana e por isso, todo o lixiviado gerado no aterro sanitário deve ser drenado e tratado adequadamente (VAN ELK, 2007).

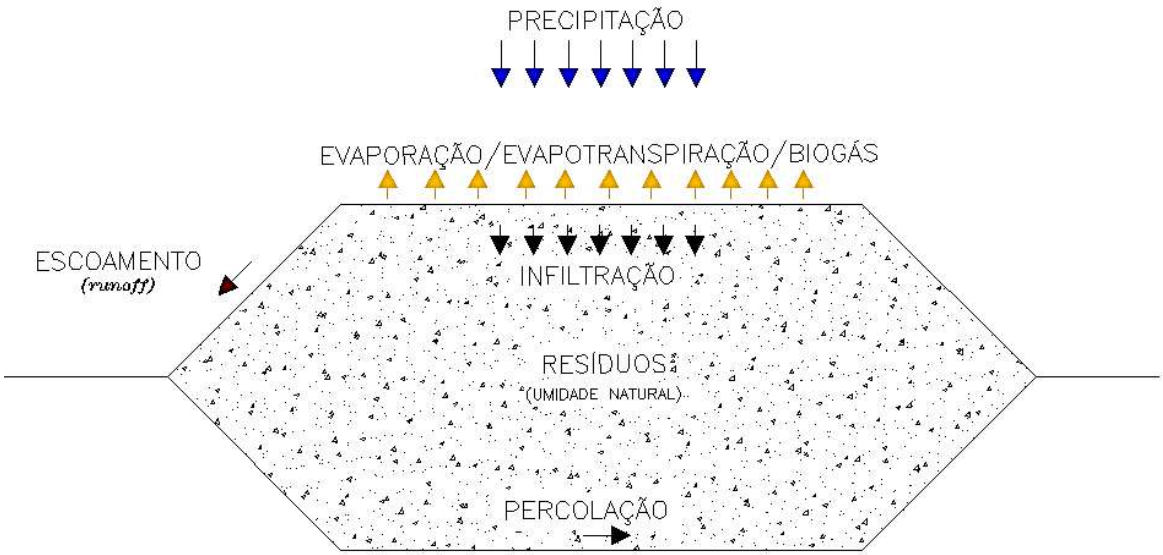
Segundo Andrade (2002), este líquido pode ser originado de diversas maneiras e sua geração é influenciada por vários aspectos, tais como:

- **Taxa de umidade inicial:** esta fonte está relacionada com a água de constituição dos resíduos sólidos e com a água absorvida durante seu processo de coleta;
- **Taxa de infiltração na impermeabilização provisória:** relacionado com a quantidade de água presente no solo ou material geossintético utilizado para cobertura provisória do aterro sanitário, tipo de material empregado e também das condições climatológicas da região;
- **Teor de umidade de topo:** associado à água que penetra através da camada de cobertura;
- **Teor de umidade de base:** associado com a água oriunda do lençol freático em aterros sanitários que não possuem sistema de impermeabilização de base adequado;
- **Taxa de recirculação de lixiviado:** relacionado com a prática de recirculação de lixiviado, visto que esta prática acelera a decomposição da matéria orgânica e promove uma geração maior de lixiviado.

De acordo com Catapreta (2008), é possível avaliar o potencial para formação de lixiviados, por meio da elaboração de um balanço hídrico. O balanço hídrico envolve a soma das quantidades de água que entram/infiltram no aterro sanitário, subtraída da quantidade de água consumida nas reações químicas, que ocorrem no aterro sanitário, conforme apresentado na Figura 9.

Este estudo aprofundado garante a elaboração de um sistema de captação e drenagem adequado, que tenha capacidade e suporte para conduzir o lixiviado. Desta maneira, pode-se afirmar que este sistema visa conduzir o lixiviado para a lagoa de acumulação e/ou estação de tratamento, evitando o acúmulo de lixiviado na massa de resíduos, a instabilidade do maciço e minimizando o potencial de migração do lixiviado para o solo (ROWE e YU, 2012; NUCASE, 2008).

Figura 9 – Esquema geral para geração de lixiviados em aterros sanitários



Fonte: Catapreta, 2008.

Segundo a NBR 13896 (ABNT, 1997), o sistema de drenagem para coleta e remoção do lixiviado gerado no aterro sanitário deve garantir o cumprimento das seguintes orientações estabelecidas:

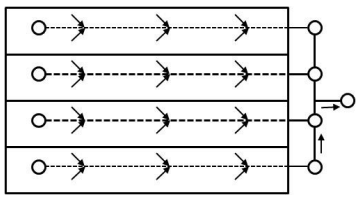
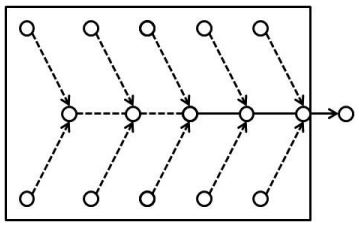
a) Ser instalado imediatamente acima da camada de impermeabilização inferior e/ou de base;
b) Ser dimensionado de forma a evitar a formação de uma lâmina de líquidos lixiviados superior a 30 cm sobre a impermeabilização;

c) Ser construído de material quimicamente resistente ao resíduo a ser disposto e ao lixiviado
d) Ser suficientemente resistente a pressões originárias da estrutura total do aterro sanitário e dos equipamentos utilizados em sua operação;
e) Ser projetado e operado de forma a não sofrer obstruções durante o período de vida útil e pós-fechamento.

O sistema de drenagem de lixiviados é constituído de uma estrutura horizontal e de uma estrutura vertical, que acompanha o sistema de drenagem de emissões gasosas. Para os sistemas tipo espinha de peixe, a rede de drenagem pode ter diversas configurações em planta e a escolha do melhor modelo aplicado, depende da topografia do local e a geometria do projeto do aterro sanitário (NUCASE, 2008).

Há duas possibilidades para esta estrutura horizontal, conforme apresentado na Tabela 4:

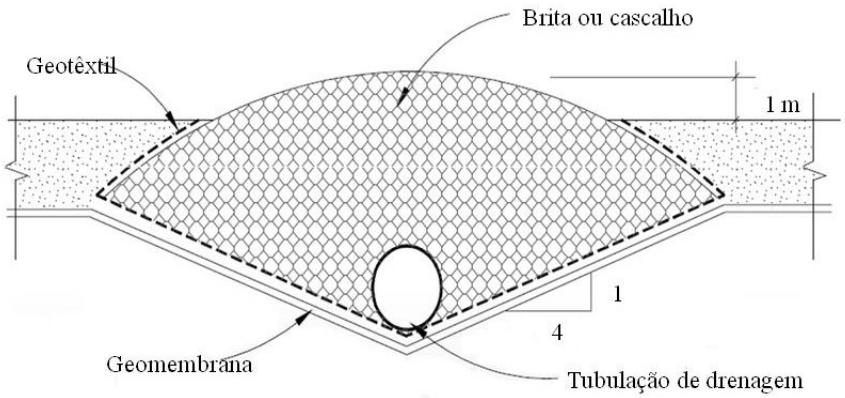
Tabela 4 – Sistemas horizontais de drenagem de lixiviado

Sistemas	Tipo	Material	Vantagens	Desvantagens
Colchão drenante		Pedras de mão ou brita	Maior eficiência	Maior custo
Espinha de peixe		Pedras de mão ou brita	Menor eficiência	Menor custo

Fonte: Adaptado de Nucase, 2008.

De acordo com Hamada et al. (2012), os drenos da estrutura horizontal são formados por tubulação perfurada, de concreto ou de PEAD, geomembrana, geotêxtil e brita ou cascalho, conforme apresentado na Figura 10. A principal dificuldade para garantir o bom funcionamento do sistema implantado é a colmatação dos drenos.

Figura 10 – Esquema de dreno de lixiviado



Fonte: Hamada et al., 2012.

2.3.2.4 Sistemas de drenagem de emissões gasosas

De acordo com Carey et al. (2010), as emissões gasosas são um subproduto gerado por meio da decomposição dos resíduos sólidos, que ocorre nos aterros sanitários. Estes gases são compostos basicamente por metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2), tipicamente em uma proporção de 3:2, além de outros gases constituintes em baixas concentrações.

A biodegradação dos resíduos e a produção do gás no interior do aterro sanitário resultam em temperaturas elevadas e por isso ele não é diluído em vapor de água, garantindo um poder calorífico de 15 a 21 MJ/m^3, metade do poder calorífico do gás natural. O metano é inflamável e pode ser um gás asfixiante e o dióxido de carbono é um gás asfixiante. Eles podem causar incêndios e explosões dentro da estrutura do aterro sanitário, são potencialmente poluidores e contribuem diretamente para o agravamento do efeito estufa (CAREY et al., 2010).

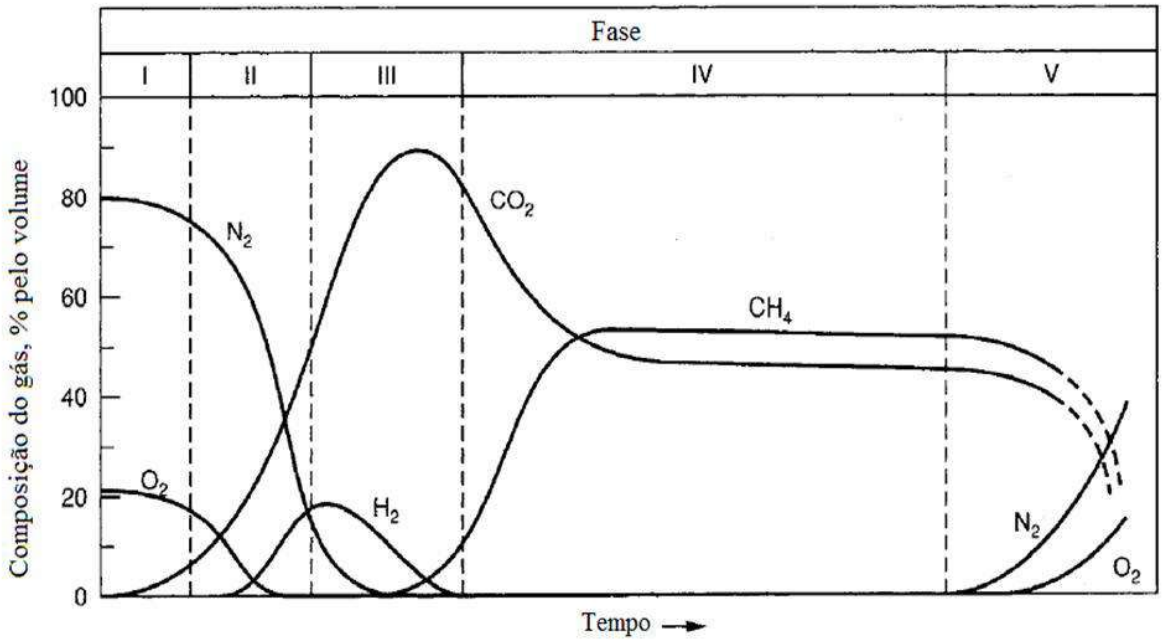
A taxa de geração destes gases varia com o tempo e ocorre em várias fases sequenciais, conforme apresentado na Figura 11, em que a fase I é a de ajustamento, no qual a matéria orgânica começa a sofrer uma decomposição bacteriana, logo após o seu aterramento e continua até que todo o oxigênio arrastado é empobrecido. A partir daí, as bactérias aeróbias iniciam a produção de gás, em temperaturas relativamente elevadas (55° a 70°C, aproximadamente). Esta fase ocorre por 6 meses ou mais dependendo da proximidade dos resíduos com a superfície do aterro (ISWA, 2010).

Na fase II, ocorre a fase de transição e condições anaeróbias começam a se desenvolver, devido ao empobrecimento do oxigênio. A fase III é conhecida como a

fase ácida. A atividade bacteriana iniciada na fase II é acelerada com a produção em maior quantidade de ácidos orgânicos e em menor de gás hidrogênio. A fase IV é a fase metanogênica e ela ocorre quando a matéria orgânica biodegradável é convertida em CO_2 e CH_4 (TCHOBANOGLOUS et al., 1993).

Por fim, a fase V, que é a fase de maturação, no qual a produção de gás no aterro sanitário diminui significativamente, devido à remoção dos nutrientes pelo lixiviado durante as fases anteriores e devido à quantidade de substrato recalcitrante que permanece no aterro, que é lentamente biodegradável (TCHOBANOGLOUS et al., 1993).

Figura 11 – Taxa de geração de gases em aterros sanitários



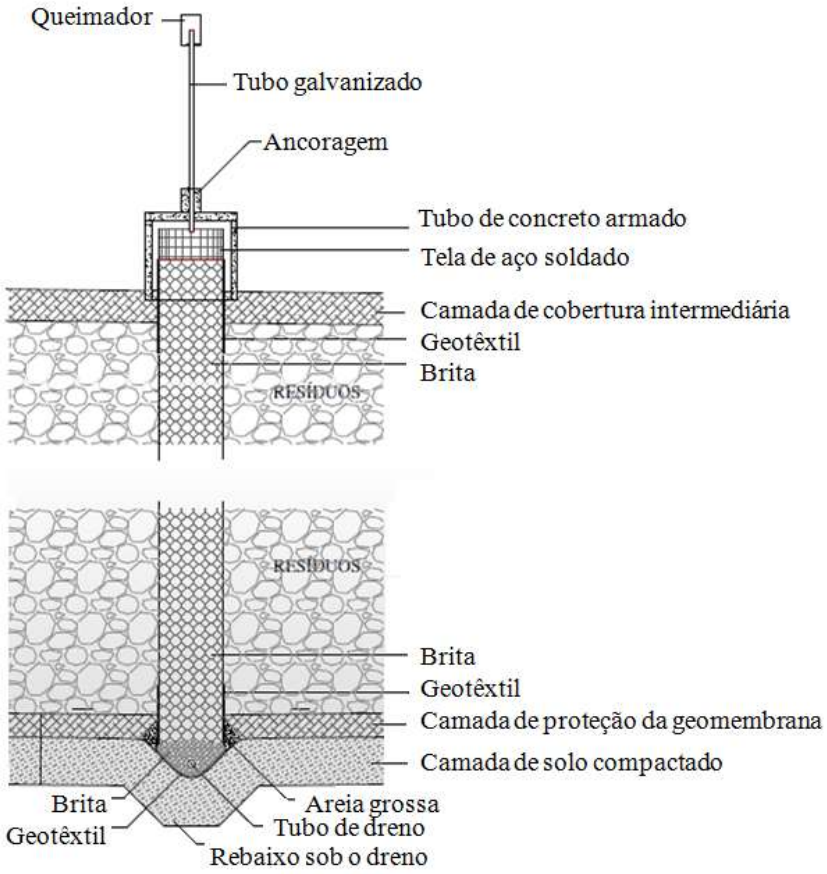
Fonte: Adaptado de O'Leary e Tchobanoglous, 2004.

Segundo o IPT/Cempre (2010), para minimizar os impactos e riscos associados à produção de biogás, é necessário que eles sejam drenados e tratados adequadamente, por meio da implantação de um sistema de drenagem de emissões gasosas. Este sistema pode ser integrado à malha de drenagem de líquido lixiviado, garantindo a utilização de drenos verticais e horizontais para a sua retirada do aterro sanitário. O biogás recuperado, depois de drenado pode ser usado para produzir energia, caso o volume gerado possibilitar, ou queimado em condições controladas para diminuir o seu efeito poluidor na atmosfera.

O sistema de drenagem de emissões gasosas é composto por drenos verticais, que atravessam todo o aterro sanitário, desde o sistema de impermeabilização até acima do topo da camada de cobertura. Para dimensionar os drenos verticais utiliza-se equações de fluxo de fluidos (neste caso um gás) em meios porosos ou em tubulações ou adota-se um dimensionamento empírico do sistema vertical de drenos (HAMADA et al., 2012).

A Figura 12 apresenta um modelo de dreno de gás utilizado em aterros sanitários.

Figura 12 – Modelo de drenos de gás utilizado em aterros sanitários



Fonte: Hamada et al., 2012.

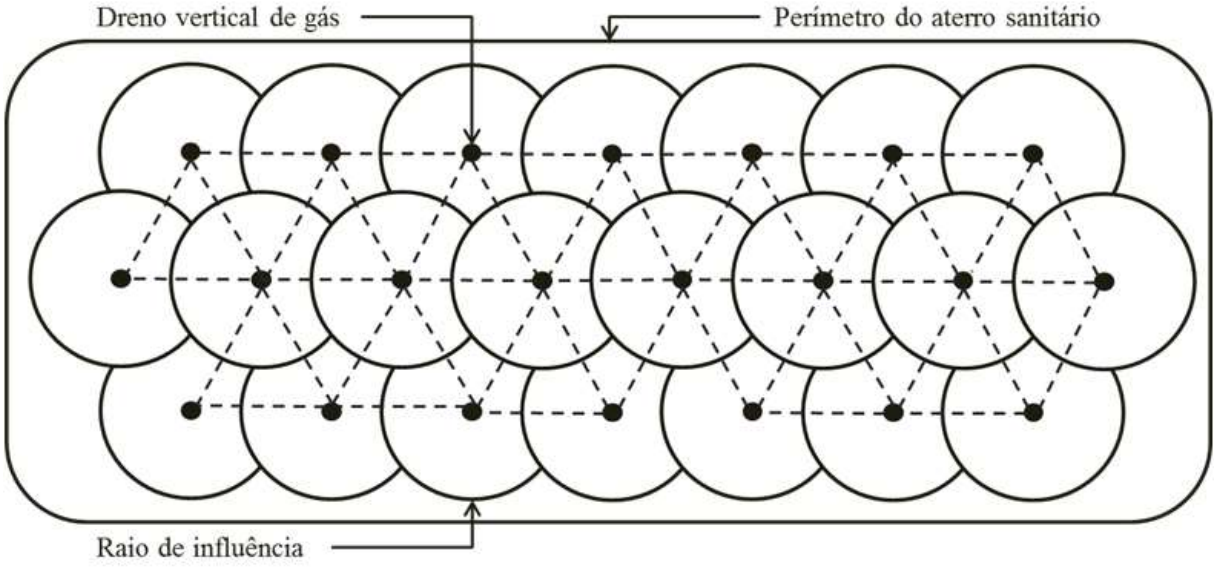
De acordo com Pereira (2005), de maneira geral, esses drenos verticais são construídos com tubos de concreto, brita n° 4 e tubos aramados de até 1,0 m de diâmetro. O diâmetro do dreno de gás varia de acordo com o porte do aterro sanitário, sua altura e a vazão de gás a ser drenada.

Em aterros sanitários de pequena altura (até 15 m) e grandes áreas superficiais são utilizados tubos de até 0,40 m, já em aterros sanitários de maior

porte são utilizados drenos de até 1,0 m de diâmetro. Os drenos de gás com tubos de diâmetro iguais ou maiores do que 0,40 m costumam ser preenchidos com pedras britadas, de forma a garantir maior resistência à estrutura. O uso do dreno de maior diâmetro para aterros de grande altura visa garantir a vazão necessária para o deslocamento adequado dos gases gerados e suportar os recalques diferenciais e a movimentação sofrida pelos resíduos aterrados (PEREIRA, 2005).

A distribuição dos drenos verticais de gases é projetada de acordo com a captação de biogás de cada dreno, conforme apresentado na Figura 13. De acordo com Hogland (1994), o raio de influencia pode variar de 15 a 30 metros e quanto maior a altura do aterro sanitário, menor é o raio de influência de cada dreno.

Figura 13 – Esquema de projeto de distribuição de drenos de gás



Fonte: Adaptado de Hogland, 1994.

Na terminação dos drenos é comum a utilização de queimadores especiais, também conhecidos como flares. Este queimador possibilita o controle da dispersão dos gases e garante a sua queima a uma altura segura.

2.3.2.5 Drenagem superficial de águas pluviais

O sistema de drenagem de águas pluviais tem a finalidade de garantir o afastamento rápido e eficiente das águas de chuva que escoam superficialmente na área do aterro sanitário, minimizando a infiltração de água de chuva na massa de

resíduos, a geração de lixiviado e a erosão nos taludes, durante e após a sua vida útil, através de declives adequados e canaletas de drenagem, referenciados na configuração do aterro sanitário (KAJINO, 2005).

Segundo Ikeguchi (1994), para garantir um bom dimensionamento do sistema de drenagem devem ser considerados as condições geológicas, hidrogeológicas e climáticas do local, o projeto geométrico do aterro sanitário e seu plano operacional. É necessário definir as inclinações/caimentos das plataformas de operação, as canaletas das bermas definitivas e os dispositivos de dissipação de energia das escadas d'água, para viabilizar a condução das águas pluviais.

Os tipos de canais utilizados são canaletas de berma, canaletas transversais, canaletas de pé do talude, escada d'água e caixa de dissipação (DER, 1991). O sistema de drenagem da célula deve ser bem dimensionado para evitar o comprometimento das camadas de cobertura e será composto por drenos permanentes e temporários (BENATTI et al., 2011). A Figura 14 mostra um sistema de drenagem de águas pluvial em construção.

Figura 14 – Construção do sistema de drenagem de águas pluviais

Fonte: Benatti et al., 2011.

O bom desempenho do sistema de drenagem de água pluvial instalado no aterro sanitário está diretamente ligado a um plano de manutenção adequado, garantindo a não obstrução das canaletas e os seus ajustes preventivos e corretivos necessários. É importante utilizar dispositivos flexíveis, devido às grandes deformações que os aterros sanitários apresentam ao longo do tempo (NUCASE, 2008).

De acordo com a NBR 13896 (ABNT, 1997), o sistema de drenagem de águas superficiais de qualquer aterro sanitário deve ser projetado, construído e operado para ter capacidade de suportar uma chuva de pico de cinco anos. A norma técnica orienta a vistoria permanente do sistema de drenagem, de forma a garantir a sua manutenção adequada e o sistema em operação.

2.3.3 Critérios de operação de aterros sanitários

2.3.3.1 Aspectos gerais de operação

A etapa de operação é o foco da atividade de um aterro sanitário em funcionamento. O plano de trabalho se inicia pelo controle de recebimento e pesagem, a inspeção, descarga, nivelamento e compactação, a construção da camada de cobertura diária dos resíduos sólidos dispostos e o desenvolvimento dos sistemas de drenagem fixo para as emissões gasosas, intermediário para o lixiviado e provisório para as águas pluviais (IKEGUCHI, 1994).

A boa operação é fundamental para alcançar um bom nível de uso da área do aterro sanitário, minimizando os impactos ambientais negativos em longo prazo. Por outro lado, a má gestão da operação resulta no maior potencial de acidentes, uso ineficiente da área, aumento irregular da quantidade de lixiviado e dos impactos ambientais negativos (ISWA, 2010).

De acordo com Roberts et al. (2013), o planejamento adequado do aterro sanitário é o desenvolvimento de um conjunto de planos otimizado. Este é um processo interativo que deve considerar, no mínimo:

- A vida útil do aterro sanitário;
- A dinâmica econômica do aterro;
- O plano de construção, operação e uso de materiais;

- O desempenho ambiental do aterro, em particular, geração e drenagem de lixiviado, biogás e gestão de águas superficiais;
- A gestão do tráfego de veículos e equipamentos no aterro;
- O procedimento eficaz no recebimento, compactação e disposição de resíduos;
- A localização de outras operações do aterro;
- O monitoramento regular e adequado;
- As atividades de encerramento e pós-encerramento.

De acordo com Nucase (2008), é importante estabelecer o horário de funcionamento do aterro sanitário de acordo com o sistema de coleta de resíduos do município. É desejável que o inicio do expediente diário seja antes da chegada dos veículos compactadores, para garantir a preparação do local de disposição (frente de trabalho) e dos equipamentos necessários. Da mesma maneira, o horário de encerramento de recebimento de resíduos deve ser inferior ao horário de funcionamento do aterro sanitário, para garantir a compactação e o recobrimento adequado dos resíduos.

O controle de recebimento de resíduos contempla a sua identificação e pesagem. Este controle visa garantir a verificação do tipo de resíduo sólido a ser disposto, localizar irregularidades nos veículos transportadores, direcionar os veículos para a área de descarga e registrar a entrada de veículos e pessoas no aterro sanitário (IKEGUCHI, 1994).

Segundo a NBR 13896 (ABNT, 1997), o aterro sanitário deve possuir a cerca que circunde toda a área do aterro sanitário, o portão que garanta o controle de acesso ao local, a sinalização adequada nos acessos, a cerca viva arbustiva, conforme sua localização e condições especificas, e a faixa de proteção sanitária de no mínimo 10 metros de largura.

De acordo com Tchobanoglous et al. (1993), o aterro sanitário deve ter instalações apropriadas para descanso, refeitório, vestiários e banheiros para seus funcionários. O projeto dessas instalações deve seguir obrigatoriamente as recomendações do Ministério do Trabalho e do Órgão Ambiental.

Segundo Nucase (2008), os materiais de consumo do aterro sanitário devem ser armazenados adequadamente em áreas reservadas, para evitar danos a estes

materiais. Os materiais que normalmente são estocados são: pedra, tubos, canos, material de cobertura, entre outros.

Os acessos internos e externos, permanentes ou temporários devem ser protegidos, executados e mantidos de forma a permitir seu uso em quaisquer condições climáticas. Para construir os acessos internos, que visam permitir a interligação entre os diversos pontos do aterro sanitário, é necessário prever um equilíbrio entre os materiais utilizados, como brita e/ou resíduos da construção civil como base e até geossintéticos podem ser usados como reforço para acessos menos resistentes. Estes acessos devem ser construídos com largura de até 6 metros e devem ter inclinação longitudinal máxima de até 10% (CAREY et al., 2000).

Além disso, estes acessos devem ter iluminação adequada, principalmente em aterros sanitários operados em tempo integral. Esta iluminação é indispensável na portaria, nos acessos e, principalmente, na frente de operação, garantindo as condições de operacionalidade e segurança aos funcionários, equipamentos e responsáveis pelo transporte de resíduos (CAREY et. al., 2000).

2.3.3.2 Características operacionais do local de disposição

Em seguida ao estabelecimento das principais diretrizes operacionais, é iniciada a execução das células de resíduos sólidos. O método específico de operação é definido conforme as características locais, tais como quantidade de material disponível para cobrimento, topografia, hidrologia e geologia. Ele é o responsável por projetar o plano detalhado do layout das células de resíduos sólidos individuais. As células iniciais devem ser rigorosamente operadas para garantir o controle ambiental, a otimização da qualidade do maciço de resíduos e a eficiência das várias atividades dessa operação (O'LEARY e TCHOBANOGLOUS, 2004).

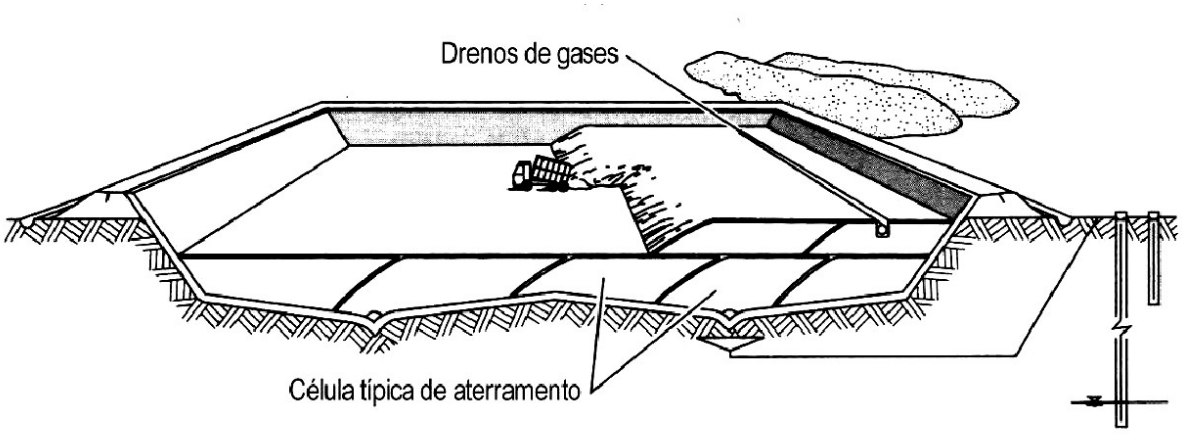
De acordo com ISWA (2010), para garantir o procedimento operacional adequado, de forma resumida, destaca-se os seguintes elementos essenciais:

- Utilizar a menor área permissível;
- Garantir o movimento ordenado dos caminhões para descarga na superfície em qualquer tempo e/ou condição climática;
- Trabalhar com todo o resíduo ao mesmo tempo;
- Promover a descarga e a compactação de forma eficaz;

- Trabalhar mantendo a inclinação adequada;
- Manter a área com drenagem em funcionamento;
- Aplicar a cobertura dos resíduos com solo.

Segundo a NBR 15849 (ABNT, 2010) a operação de uma célula de resíduos sólidos consiste no descarregamento e espalhamento dos resíduos na frente de operação, sendo estes compactados quando for o caso, garantindo as condições físicas e de segurança das vias internas, de forma a permitir o acesso dos veículos coletores sob qualquer condição climática, conforme apresentado na Figura 15.

Figura 15 – Desenvolvimento de um aterro sanitário



Fonte: Iwai, 2005.

Para que o descarregamento ocorra, deve ser previsto em projeto, pátios de manobra com pavimentação e acesso adequados e compatíveis com as solicitações decorrentes da movimentação dos veículos coletores. Este descarregamento ocorre durante toda a operação do aterro sanitário, demonstrando a necessidade de garantir um plano de manutenção adequado dessas áreas, visto que, podem trazer contratempos operacionais, principalmente em período chuvoso (ISWA, 2010).

De acordo com Catapreta (2008), após duas ou três viagens descarregadas, os resíduos são espalhados na frente de trabalho e o processo de compactação se inicia. Dentre os aspectos operacionais que envolvem a operação de aterros sanitários, a compactação dos resíduos sólidos é o principal parâmetro a ser controlado, devido a sua importância na otimização da disposição e na melhoria das propriedades geomecânicas dos resíduos.

A etapa da compactação dos resíduos sólidos visa garantir a sua redução volumétrica, fornecendo a estes uma maior estabilidade. De maneira geral, esta redução ocorre de duas formas, por meio do emprego de equipamentos mecânicos, como tratores de esteira, e pelo processo de decomposição da matéria orgânica presente na massa de resíduos (CATAPRETA, 2008).

De acordo com Tchobanoglous et al. (1993), o peso específico inicial do resíduo sólido varia de acordo com o plano de operação, a facilidade de se compactar cada componente e a composição gravimétrica da massa de resíduos aterrada.

Segundo Gomes et al. (1997), o peso especifico médio dos resíduos sólidos soltos varia entre 1,0 e 3,0 kN/m^3. O resíduo compactado possui um peso especifico que pode variar de 7,0 a 9,0 kN/m^3. Em função dos processos físicos e biológicos que ocorrem em um aterro sanitário, estes valores podem chegar, com o tempo, a valores de 10,0 a 13,0 kN/m^3.

Já para Caterpillar (2001), o peso específico dos resíduos sólidos em um aterro sanitário, varia entre 2,75 e 7,0 kN/m^3, sendo que na etapa de descarregamento e espalhamento tem-se peso específico da ordem de 3,5 kN/m^3 e na etapa de compactação moderada os valores esperados são de 3,6 a 4,5 kN/m^3.

De acordo com Fasset et al. (1994), o peso específico varia de acordo com a energia de compactação empregada. A Tabela 5 apresenta esta variação de acordo com os níveis de compactação definidos (má compactação, compactação moderada e boa compactação).

Tabela 5 – Pesos específicos em função do grau de compactação (KN/m^3)

	Peso específico	Baixa compactação	Compactação Moderada	Boa compactação
Total	Faixa de variação (valor médio)	3,0 – 9,4 (5,4)	5,2 – 7,8 (7,0)	8,9 – 10,7 (9,7)
Seca	Faixa de variação (valor médio)	1,9 – 3,5 (2,7)	3,5 – 5,4 (4,6)	-

Fonte: Adaptado de Fasset et al., 1994.

Outros aspectos também influenciam diretamente na compactação dos resíduos sólidos em aterros sanitários, tais como o tipo e o peso dos equipamentos utilizados nesta operação. No Brasil, o trator de esteiras com lâmina é o

equipamento mais empregado e que tem se apresentado como mais adequado para operação de aterros sanitários (CATAPRETA, 2008).

Quando considerado o sentido da compactação dos resíduos, para garantir que a compactação seja boa, o trator de esteiras deve trabalhar no sentido ascendente, ou seja, de baixo para cima. Esta forma de compactação proporciona uma concentração de peso do equipamento na parte traseira do sistema de esteiras, reduzindo o volume dos resíduos de forma mais eficiente (LUZ, 1976).

De acordo com Caterpillar (2001), o número de passadas é um fator que afeta diretamente o peso especifico dos resíduos. O número de passadas refere-se à quantidade de vezes que o equipamento passa sobre os resíduos, garantindo a compactação. Qualquer que seja o equipamento utilizado na compactação devem ser realizadas de três a cinco passadas para obter melhores resultados. Um menor número de passadas resulta na densidade mais baixa dos resíduos compactados e um número maior de passadas garante uma compactação adicional pouco representativa e um consumo de combustível e um desgaste de equipamento adicional significativo (ISWA, 2010).

A inclinação adequada das rampas de compactação de resíduo sólido é um aspecto operacional importante, que influencia na eficiência da redução volumétrica do RSU. De maneira geral, conforme apresentado na Figura 16, pode-se considerar como adequada a inclinação que seja na ordem de 1V:3H (CATAPRETA, 2008).

Figura 16 – Declive de compactação da área do aterro (1V:3H)

Fonte: ISWA, 2010.

A altura da célula também é um fator importante, que deve ser previsto em projeto. A camada executada com uma altura que varia de 2 a 3 metros tem como principal benefício o melhor aproveitamento do equipamento compactador. Em projetos que empregam células de até 5 metros de altura, é necessário utilizar mais equipamentos para garantir a boa compactação, porém tem a vantagem de reduzir o volume da camada de material de cobertura (NUCASE, 2008).

A NBR 15849 (ABNT, 2010), estabelece que ao final de um dia de trabalho, os resíduos compactados sejam recobertos com uma camada de solo, conforme especificação do projeto. Esta cobertura provisória é muito importante, visto que ela é responsável por evitar a proliferação de vetores e a presença de animais, odores e outros malefícios. Pode ser utilizado como alternativa ao solo, camada fina de resíduos da construção civil, material de capina ou manta de sacrifício (lonas automotivas).

2.3.3.3 Descrição do plano de monitoramento ambiental e geotécnico

Segundo IPT/Cempre (2010), o plano de monitoramento é o acompanhamento da evolução de um determinado projeto, permitindo a detecção, em estágio inicial, dos impactos ambientais negativos causados pelo empreendimento, garantindo a implantação de medidas mitigadoras antes que estes assumam grandes proporções.

De maneira geral, os aterros sanitários se configuram como um tipo de empreendimento com grandes impactos ambientais potenciais, assim sendo, é indispensável a existência de programa de monitoramento permanente, sistemático e que envolva os aspectos ambientais e geotécnicos desta obra de engenharia civil (PEREIRA, 2005).

O plano de monitoramento ambiental refere-se ao acompanhamento dos líquidos lixiviados, das emissões gasosas, das águas superficiais, das águas subterrâneas, do controle da qualidade do ar e do solo, controle de ruído e da verificação do cumprimento dos procedimentos de controle operacional e de manutenção (ABNT, 2010).

O monitoramento do lixiviado e das emissões gasosas, gerados no aterro sanitário, é realizado por meio do controle quantitativo e qualitativo. De acordo com a NBR 15849 (ABNT, 2010), devem ser previstos procedimentos de controle de

vazão, definição de parâmetros físicos, químicos e biológicos, de pontos de coleta, de frequência de amostragem e de periodicidade de análise para monitoramento especifico do lixiviado e para as emissões gasosas devem ser analisadas as fases de degradação dos resíduos sólidos aterrados, o grau de estabilização e o potencial energético.

O monitoramento das águas superficiais e subterrâneas visa avaliar sua qualidade, detectar alterações e/ou contaminações nos corpos de água localizados na região do aterro sanitário. A avaliação da qualidade da água superficial ocorre por meio de estudos comparativos entre as amostras coletadas nos corpos d'agua a montante e a jusante do aterro sanitário (ABNT, 2010).

Segundo o IPT/Cempre (2010), para o monitoramento das águas subterrâneas é instalado um sistema de poços de monitoramento. Este sistema deve conter no mínimo quatro poços, que devem obrigatoriamente interceptar o lençol freático, sendo um a montante e três a jusante no sentido do fluxo de escoamento preferencial do lençol freático.

A qualidade do ar e do solo é monitorada por meio de equipamentos específicos, de modo a garantir a identificação de possíveis impactos ambientais negativos, de forma preventiva. O monitoramento dos níveis de ruídos é realizado, considerando os abatimentos dos ruídos, provocados durante a operação do aterro sanitário. Este controle é realizado de modo a evitar que os ruídos não excedam os limites fixados pela norma técnica correspondente (MONTEIRO et al., 2001).

O monitoramento para verificação do cumprimento dos procedimentos operacionais e de manutenção é realizado por meio de vistorias na área do aterro sanitário, de forma a garantir a execução correta dos serviços de terraplenagem da camada impermeabilizante, dos sistemas de drenagem de lixiviados, gases e águas pluviais, do tratamento do lixiviado, da dispersão do material particulado, das condições de segurança para as suas instalações e de operação do aterro sanitário (ABNT, 2010).

O plano de monitoramento geotécnico consiste na verificação do controle de deslocamentos horizontais e verticais, da pressão do biogás na estrutura do aterro sanitário, da descarga de lixiviado através dos drenos e vistorias periódicas, buscando indícios de erosão, trincas, entre outros. Este tipo de monitoramento pode ser dispensado para aterros em valas ou de pequeno porte (IPT/CEMPRE, 2010).

De acordo com Van Elk (2007), o monitoramento dos deslocamentos horizontais e verticais do aterro sanitário é realizado por meio do registro topográfico das posições de medidores de marcos superficiais e inclinômetro. Este controle garante a avaliação da estabilidade dos taludes do aterro sanitário, evitando acidentes e desmoronamentos.

Os marcos superficiais são instrumentos de medição geralmente instalados nas superfícies dos taludes, nas bermas e no topo do aterro. Eles são distribuídos de forma a caracterizar linhas de estudo, com direções de deslocamento esperadas, para possibilitar um monitoramento da evolução do aterro e, portanto, nortear as ações preventivas que se façam necessárias para se mantiver o controle do maciço (PEREIRA, 2005).

As inspeções de campo são realizadas para assegurar o funcionamento adequado dos elementos de projeto implantados. Nesta vistoria são observadas trincas, focos de erosão, vazamentos de lixiviados, as condições do sistema de drenagem de águas pluviais, entre outros aspectos relacionados com a estrutura do aterro sanitário (PEREIRA, 2005).

Segundo Carey et al. (2000), deve ser realizado o controle tecnológico dos materiais geotécnicos utilizados na implantação do aterro sanitário. Este controle garante que os elementos do projeto tenham sido implantados, conforme as especificações previstas.

O monitoramento ambiental e geotécnico é realizado durante a operação do aterro sanitário e após o encerramento das suas atividades, devido à possibilidade de novos deslocamentos horizontais e verticais, a geração continuada de lixiviados e emissões gasosas e as reações bioquímicas que ocorrem no resíduo orgânico presente no maciço do aterro. Esse monitoramento garante a conservação e manutenção adequada do aterro sanitário, evitando a formação e o desenvolvimento de impactos negativos (ISWA, 2010).

3 METODOLOGIA

3.1 Planejamento e levantamento dos aspectos estruturais e operacionais

A pesquisa realizada teve como base o estudo e monitoramento de cinco aterros sanitários, localizados nos estados de Rio de Janeiro e São Paulo. A execução desta pesquisa demandou o desenvolvimento de um formulário base (APÊNDICE A).

A premissa básica para a concepção deste formulário base foi o desenvolvimento de uma ferramenta, aplicável aos aterros sanitários indicados, de maneira a garantir a padronização na obtenção dos dados e informações sobre os aspectos estruturais e os critérios operacionais implantados nas unidades, conforme a proposta da pesquisa acadêmica.

Para levantamento e determinação dos aspectos estruturais e critérios operacionais foram utilizadas as normas brasileiras: *NBR 8.419* – Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos, *NBR 13.896* – Aterros de Resíduos Não Perigosos – Critérios para Projeto, Implantação e Operação e *NBR 15.849* – Resíduos Sólidos Urbanos – Aterros sanitários de pequeno porte – Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento, bem como as referências que se encontram no levantamento bibliográfico.

O formulário base foi desenvolvido e desmembrado em três áreas de concentração principais: Descrição do Empreendimento, Aspectos Estruturais e Critérios Operacionais.

A *Descrição do Empreendimento* abrange as informações cadastrais da unidade, os componentes da sua estrutura administrativa, as características do resíduo disposto, a abrangência e o porte do aterro sanitário, além da caracterização local do empreendimento.

Para levantamento dos *Aspectos Estruturais* foram definidos quatro itens de projeto, que se apresentam como fundamentais para construção de aterros sanitários: projeto de impermeabilização de base e superior, sistemas de drenagem de lixiviados e tipos de tratamento, sistema de drenagem de emissões gasosas e sistema de drenagem de água pluvial.

No que se refere aos *Critérios Operacionais* foram abordados os aspectos gerais, que impactam diretamente na qualidade operacional do aterro sanitário,

dentre eles, a infraestrutura, a descrição do procedimento operacional, a tipologia de material utilizado para cobertura intermediária e temporária, o projeto de sistema de drenagem de lixiviado intermediário e de drenagem de água pluvial temporário e o plano de monitoramento ambiental e geotécnico.

Para aplicação do formulário base e registros fotográficos dos aterros sanitários foi definida a realização de uma visita técnica por aterro sanitário indicado. O preenchimento do formulário foi realizado pela autora, durante a visita, de acordo com os dados e informações obtidas. As visitas técnicas foram acompanhadas pelo engenheiro responsável e o encarregado de operação de cada unidade.

3.2 Caracterização dos aterros sanitários indicados

A Tabela 6 apresenta os critérios de engenharia determinados para definição dos aterros sanitários a serem estudados. Estes critérios foram propostos visando permitir correlações entre os dados obtidos nos aterros sanitários estudados.

Tabela 6 – Critérios determinados para definição dos aterros sanitários.

CRITÉRIOS	DESCRIÇÃO
Localização	Prioridade para aterros sanitários localizados nos estados do Rio de Janeiro e São Paulo.
Informações socioeconômicas	Prioridade para aterros sanitários que atendam municípios com mais de 100.000 habitantes até regiões metropolitanas.
Quantidade e tipologia dos resíduos a serem dispostos	Prioridade para aterros sanitários com estimativa de recebimento entre um dos três níveis: 250 toneladas diárias (pequeno porte), 500 toneladas diárias (médio porte) e até 10.000 toneladas diárias (grande porte). Prioridade para aterros sanitários que recebam RSU.
Método construtivo	Prioridade para aterros sanitários que operem no método de rampa ou de área, devido a similaridade dos procedimentos operacionais.
Responsável pela operação	Prioridade para aterros sanitários particulares ou de prefeituras, operados por empresas privadas.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

Dentro dos critérios da Tabela 6, foram realizados contatos iniciais com diferentes aterros sanitários e assim, criou-se um grupo de cinco aterros sanitários a

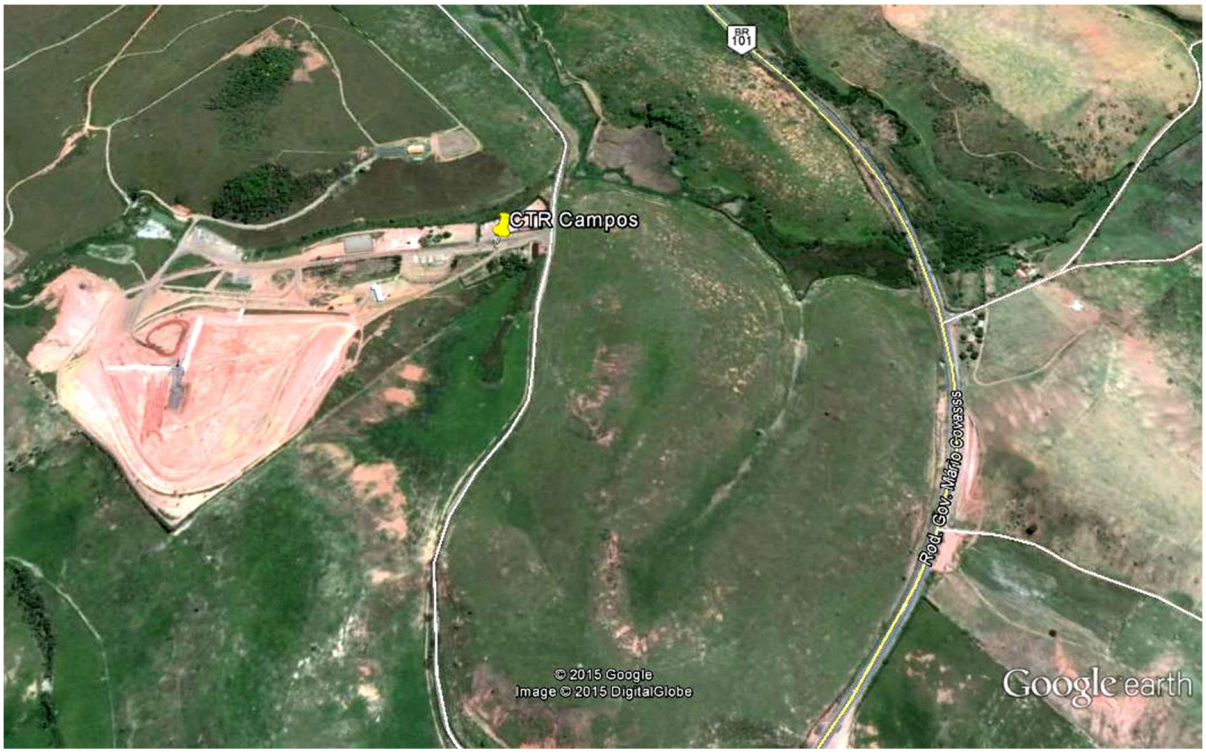
ser estudado, conforme interesse e disponibilidade das unidades em participar do projeto de pesquisa acadêmica e permitir uma visita técnica para aplicação do formulário, respectivamente.

Os aterros sanitários indicados para o desenvolvimento da pesquisa acadêmica foram a Central de Tratamento de Resíduos de Campos dos Goytacazes (CTR Campos), a Central de Tratamento de Resíduos de Macaé (CTR Macaé), a Central de Tratamento de Resíduos do Rio de Janeiro (CTR Rio), localizados no estado do Rio de Janeiro, o Aterro Municipal de Itu e o Aterro Sanitário localizado no município de Caieiras, ambos localizados no estado de São Paulo.

3.2.1 CTR Campos

A CTR Campos localiza-se no município de Campos dos Goytacazes, na região Norte Fluminense do Estado do Rio de Janeiro, a uma latitude de 21°28'14.51"S e longitude de 41°20'30.81"O. O acesso da unidade é realizado pela Rodovia Governador Mário Covas, conforme apresentado na Figura 17.

Figura 17 – Localização CTR Campos



Fonte: Google Earth, 2015.

Os resíduos dispostos na CTR Campos são provenientes dos municípios de Campos dos Goytacazes, Laje do Muriaé, Miracema, São Francisco do Itabapoana e São João da Barra. A CTR recebe aproximadamente 550 toneladas diárias, sendo prioritariamente resíduos sólidos urbanos (RSU) e foi classificada como de médio porte para aplicação da metodologia deste projeto de pesquisa.

3.2.2 CTR Macaé

A CTR Macaé está localizada no município de Macaé, na região Norte Fluminense do Estado do Rio de Janeiro, a uma latitude de 22°13'36.39"S e longitude de 41°47'06.22"O. A Figura 18 apresenta a localização da CTR Macaé.

Figura 18 – Localização CTR Macaé

Fonte: Google Earth, 2015.

A CTR Macaé possui licenciamento ambiental para receber RSU. Os municípios de Macaé, Quissamã e Rio das Ostras e também clientes particulares encaminham cerca de 500 toneladas diárias de resíduos sólidos para serem dispostos adequadamente no aterro sanitário. Sua classificação para o projeto de pesquisa é aterro sanitário de médio porte.

3.2.3 CTR Rio

A CTR Rio situa-se no município de Seropédica, no Estado do Rio de Janeiro, conforme apresentado na Figura 19. As coordenadas geográficas são latitude de 22°48'00.67"S e longitude 43°45'12.62"O.

Figura 19 – Localização CTR Rio

Fonte: Google Earth, 2015.

A CTR Rio recebe prioritariamente resíduos sólidos urbanos (RSU) dos seguintes municípios: Itaguaí, Mangaratiba, Rio de Janeiro e Seropédica, além de clientes particulares. A estimativa de recebimento diário é de 10.000 toneladas e devido a esta quantidade, sua classificação para o projeto de pesquisa é aterro sanitário de grande porte. A CTR funciona 24 horas por dia, diariamente, para atender todas as demandas necessárias para prestação de um serviço adequado.

3.2.4 Aterro Municipal de Itu

O Aterro Municipal de Itu localiza-se no município de Itu, no Estado de São Paulo a uma latitude de 23°19'31.73"S e longitude de 47°15'40.53"O. A localização do Aterro Municipal de Itu é apresentada na Figura 20.

Figura 20 – Localização Aterro Municipal de Itu

Fonte: Google Earth, 2015.

O Aterro Municipal de Itu, classificado como de pequeno porte, recebe os resíduos sólidos urbanos (RSU) gerados no município. Segundo a empresa responsável pela sua operação, são dispostos no aterro sanitário diariamente cerca de 250 toneladas de resíduos sólidos.

De acordo com a Cetesb (2015), o aterro sanitário possui licença de operação e seu Índice de Qualidade de Resíduos (IQR), no ano de 2014, foi de 9,1, em uma escala de 0 a 10, apresentando condições adequadas de operação.

3.2.5 Aterro Sanitário localizado no município de Caieiras

O aterro sanitário de grande porte está situado na região metropolitana do Estado de São Paulo, a uma latitude de 23°20'43.56"S e longitude de 46°46'18.63"O. A localização deste aterro sanitário é apresentada na Figura 21.

Segundo a Cetesb (2015), o aterro sanitário possui licença de operação e seu Índice de Qualidade de Resíduos (IQR), no ano de 2014, foi de 8,4, ou seja, possui condições adequadas de operação e para recebimento dos resíduos sólidos urbanos

gerados e coletados em cerca de 16 municípios, incluindo o município de São Paulo. A estimativa de recebimento diário é de 9.000 toneladas.

Figura 21 – Localização do aterro sanitário localizado no município de Caieiras

Fonte: Google Earth, 2015.

3.3 Metodologia aplicada para análise dos dados e construção de projetos

As análises dos dados obtidos foram realizadas por meio de um estudo comparativo entre os diferentes métodos de desenvolvimento de projetos, as ferramentas para implantação dos procedimentos operacionais e as inovações tecnológicas novas ou adaptadas, identificadas em cada aterro sanitário.

As informações obtidas no levantamento da *Descrição do Empreendimento* não foram utilizadas no estudo comparativo. Estas informações foram verificadas para correlação com entendimento teórico, haja vista que existem considerações técnicas e critérios definidos para avaliação da adequabilidade e da capacidade e suporte da área a ser utilizada para implantação de um aterro sanitário.

Os itens avaliados na área de concentração *Aspectos Estruturais* foram comparados, principalmente de acordo com porte da unidade, uma vez que quanto maior o aterro sanitário, maior sua infraestrutura, com exceção dos sistemas de

drenagem de lixiviados, que foram avaliados de acordo com a tipologia do projeto implantado na construção do aterro sanitário.

Os projetos identificados para os sistemas de impermeabilização e de drenagem de emissões gasosas foram analisados, considerando o porte da unidade, sendo divididos em aterros sanitários de pequeno/médio porte e aterros sanitários de grande porte. Já os sistemas de drenagem de água pluvial foram avaliados e desmembrados em aterros sanitários de pequeno, de médio e de grande porte.

Os dados obtidos, que se referem aos *Critérios Operacionais* aplicados nos aterros sanitários, foram analisados no estudo comparativo, de forma a proporcionar a identificação das boas práticas e inovações implantadas nos empreendimentos, que proporcionam a melhoria contínua da condição operacional de um aterro sanitário.

Para a avaliação destes critérios, pode-se destacar que boa prática é o procedimento ou atividade desenvolvida pelo aterro sanitário, já previstos em normas e manuais técnicos. O conceito de inovação para o projeto de pesquisa abrange as adaptações ou novas maneiras de garantir o avanço no modo de operação de aterros sanitários.

Os dados obtidos foram compilados e estruturados por meio das ferramentas de projeto do software AutoCAD, para garantir melhor visualização e compreensão da informação coletada. Todos os projetos elaborados podem ser visualizados de acordo com seu esquema de implantação e especificações sobre os materiais utilizados.

De maneira geral, o estudo comparativo foi qualitativo e cada área de concentração do formulário base utilizou um método específico. Este estudo aprofundado proporcionou a identificação de mecanismos que assegurem a qualidade deste tipo de projeto de engenharia e a criação de um certo grau de padronização para os aspectos estruturais e critérios operacionais estudados.

A dissertação apresentou em seu escopo dois artigos técnicos científicos, que foram elaborados como produtos da dissertação.

4 RESULTADO E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados, em formato de artigos técnicos, os *Resultados e Discussão* da dissertação. Os artigos técnicos foram elaborados pela autora para submissão posterior em periódicos e/ou revistas técnicas e científicas.

4.1 Artigo Técnico – Aspectos estruturais

Artigo Técnico

Avaliação dos aspectos estruturais em cinco aterros sanitários, localizados nos estados do Rio de Janeiro e São Paulo

Evaluation of the structural aspects in five landfills, located in the states of Rio de Janeiro and São Paulo

RESUMO

A disposição final dos resíduos sólidos, gerados diariamente pelas populações, em aterros sanitários é a etapa da gestão integrada, que exige a implantação de mecanismos adequados, devido aos seus significativos impactos ao meio ambiente e à saúde. Os tipos de projeto estrutural existentes para sua concepção, construção e implantação são variados e por isso, pesquisas e estudos relacionados a este tema são de grande importância. Os critérios estruturais de engenharia abordados no presente trabalho foram caracterização local, projeto de impermeabilização inferior e superior de aterro sanitário, sistema de drenagem de lixiviado, sistema de drenagem de emissões gasosas e de drenagem de água pluvial. As pesquisas realizadas mostram que existe grande variabilidade nos projetos implantados, entretanto, é possível afirmar que estas variações não comprometem o desempenho estrutural e a qualidade dos projetos de engenharia.

Palavras-chave: Resíduos Sólidos. Aterro Sanitário. Critérios Estruturais de Engenharia.

ABSTRACT

The final disposal of solid waste, generated daily by the populations, in sanitary landfills is the stage of integrated management system, requires the implementation of suitable mechanisms, due to its significant environmental and health impacts. The types of structural projects existing for yours conception, construction and implementation are varied and therefore, research and studies related to this issue are of great significance. The structural engineering criteria included in this academic work were site characterization, underside waterproofing system and of the top of the landfill, leachate drainage system, biogas drainage system and rainwater drainage system. The research conducted demonstrated that there is high variability in the projects implemented, however, it possible to assert that these variations don't implicate on the high structural performance and the quality of this type of engineering projects

Keywords: Solid Waste. Landfill. Structural Engineering Criteria.

INTRODUÇÃO

A Política Nacional de Resíduos Sólidos tem como objetivo direcionar as atividades envolvidas na gestão integrada de resíduos sólidos, contemplando o conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, tratamento e disposição final dos resíduos. No Brasil, o aterro sanitário é a opção mais viável, quando considerada a questão técnica e econômica, para disposição final de resíduos sólidos (LANER et al., 2012).

O aterro sanitário é um complexo sistema de engenharia em termos de planejamento, concepção, construção, operação e de manutenção, que deve garantir a prevenção dos efeitos causados ao meio ambiente e à saúde, por meio da adoção de critérios estruturais para sua construção e implantação, baseados nas tecnologias existentes e normas técnicas previstas (JUCÁ et al., 2013).

Dentre estes critérios estruturais podem-se destacar a caracterização e infraestrutura local, os projetos dos sistemas de impermeabilização de base e superior, as configurações dos sistemas de drenagem de lixiviado, de emissões gasosas e de águas superficiais.

De acordo com o IPT/Cempre (2010), a escolha da área e do método construtivo são as etapas iniciais de um projeto de aterro sanitário e a adequabilidade do local indicado, está atrelada diretamente ao bom desempenho técnico, econômico, ambiental e social do empreendimento.

Os projetos dos sistemas de impermeabilização inferior e superior de aterros sanitários são sistemas compostos por estruturas com multicamadas, sendo que, cada uma das várias camadas apresenta uma função especifica. Estes projetos devem apresentar algumas características básicas, tais como, estanqueidade, durabilidade, resistência mecânica, resistência a intempéries e compatibilidade com os resíduos a serem aterrados (TCHOBANOGLOUS et al., 1993; ROCCA, 1993).

O processo de decomposição dos resíduos sólidos, que ocorre nos aterros sanitários, gera dois subprodutos principais: o lixiviado e as emissões gasosas. Para minimizar os impactos e riscos associados à esta produção é necessário implantar um sistema adequado de drenagem, constituído de uma estrutura horizontal e de uma estrutura vertical, para garantir a retirada e envio para tratamento posterior (CAREY et al., 2010; CRISTENSEN et al., 1998; ABNT, 1997).

O sistema de drenagem é constituído de drenos, que são formados por tubulação perfurada, de concreto ou de PEAD, geomembrana, geotêxtil e brita, para garantir maior resistência a estrutura. As especificações técnicas dos materiais utilizados variam de acordo com o porte do aterro sanitário, sua altura e a vazão de lixiviado e de biogás a serem drenadas (HAMADA et al., 2012; PEREIRA, 2005).

As águas de chuva que escoam superficialmente na área do aterro sanitário, quando infiltradas na massa de resíduos, aumentam a geração de lixiviado e potencializam a erosão nos taludes, durante e após a sua vida útil (KAJINO, 2005). Desta forma, a NBR 13896 (ABNT, 1997) indica a instalação de um sistema de drenagem de águas pluviais, que deve ser projetado e construído para garantir o afastamento rápido e a eficiente destas águas.

De acordo com Ikeguchi (1994), o bom dimensionamento dos sistemas de drenagem ocorre a partir o levantamento das condições hidrogeológicas, geológicas e climáticas do local, somados ao projeto geométrico e ao plano operacional do aterro sanitário. Estes projetos, hoje adotados nos aterros sanitários, apresentam elevados custos e carência na padronização dos mecanismos indicados em normas e manuais técnicos.

Logo, esta circunstância torna fundamental a análise de novas alternativas e/ou aprimoramento das técnicas e projetos desenvolvidos para os critérios estruturais de engenharia. A abordagem metodológica da presente pesquisa acadêmica busca a análise de cinco aterros sanitários, localizados nos estados de Rio de Janeiro e São Paulo, de forma a contribuir com a identificação de mecanismos aplicados nas fases de construção e implantação, assegurando um melhor desempenho estrutural de aterros sanitários.

METODOLOGIA

Para condução da pesquisa acadêmica estabeleceu-se três etapas: levantamento de aspectos estruturais presentes em um projeto de aterro sanitário e elaboração de um formulário base, aplicação de critérios para determinação dos aterros sanitários e visita técnica, e análise dos dados para construção de parâmetros e projetos.

Para levantamento e determinação destes aspectos estruturais foram utilizadas as normas brasileiras: NBR 8.419 – Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos, NBR 13.896 – Aterros de Resíduos Não Perigosos – Critérios para Projeto, Implantação e Operação e NBR 15.849 – Resíduos Sólidos Urbanos – Aterros sanitários de pequeno porte – Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento.

Os aspectos estruturais abordados foram a caracterização local, o projeto de impermeabilização inferior (de base) e superior do aterro sanitário, sistemas de drenagem de lixiviados e os tratamentos empregados, sistema de drenagem de emissões gasosas e sistema de drenagem de água pluvial.

A abordagem metodológica utilizada na pesquisa acadêmica foi baseada no estudo e monitoramento de cinco aterros sanitários, localizados nos estados de Rio de Janeiro e São Paulo. Para garantir a execução desta pesquisa, a premissa básica foi a obtenção de uma ferramenta (formulário base), aplicável aos aterros sanitários indicados, de maneira a garantir a padronização na obtenção dos dados e informações.

A Tabela 1 sintetiza o conjunto de critérios empregados na escolha dos aterros sanitários. Estes critérios foram propostos visando permitir correlações entre os dados obtidos nos aterros sanitários estudados.

Tabela 1 – Critérios determinados para definição dos aterros sanitários.

CRITÉRIOS	DESCRIÇÃO
Localização	Prioridade para aterros sanitários localizados nos estados do Rio de Janeiro e São Paulo.
Informações socioeconômicas	Prioridade para aterros sanitários que atendam municípios com mais de 100.000 habitantes até regiões metropolitanas.
Quantidade e tipologia dos resíduos a serem dispostos	Prioridade para aterros sanitários com estimativa de recebimento entre um dos três níveis: 250 toneladas diárias (pequeno porte), 500 toneladas diárias (médio porte) e até 10.000 toneladas diárias (grande porte). Prioridade para aterros que recebam RSU.
Método construtivo	Prioridade para aterros sanitários que operem no método de rampa ou de área, devido à similaridade dos procedimentos operacionais.
Responsável pela operação	Prioridade para aterros sanitários particulares ou de prefeituras, operados por empresas privadas.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2016.

Com a aplicação dos critérios, formou-se um grupo de aterros sanitários constituído pelas seguintes unidades operacionais: Central de Tratamento de Resíduos de Campos dos Goytacazes (CTR Campos), Central de Tratamento de Resíduos de Macaé (CTR Macaé), Central de Tratamento de Resíduos do Rio de Janeiro (CTR Rio), localizados no estado do Rio de Janeiro, o Aterro Municipal de Itu e o Aterro Sanitário localizado no município de Caieiras, ambos localizados no estado de São Paulo, conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Localização dos aterros sanitários estudados

Fonte: Google Earth, 2015.

A Tabela 2 apresenta uma caracterização preliminar de cada aterro sanitário. As informações foram obtidas durante as visitas técnicas, que ocorreram para aplicação do formulário base e identificação da estrutura do aterro sanitário. As visitas técnicas foram acompanhadas pelo engenheiro responsável e o encarregado de operação da unidade.

Tabela 2 – Caracterização dos Aterros Sanitários Pesquisados.

CRITÉRIOS	CTR CAMPOS	CTR MACAÉ	CTR RIO	ATERRO MUNICIPAL DE ITU	ATERRO SANITÁRIO DE CAIEIRAS
Localização	Campos dos Goytacazes/RJ	Macaé/RJ	Seropédica/RJ	Itu/SP	Caieiras/SP
Abrangência do aterro sanitário (municípios atendidos)	Campos dos Goytacazes, Laje do Muriaé, Miracema, São Francisco do Itabapoana e São João da Barra.	Macaé e Quissamã.	Itaguaí, Mangaratiba, Rio de Janeiro e Seropédica.	Apenas do município de Itu.	Cerca de 16 municípios, incluindo o município de São Paulo.
Quantidade de resíduo disposto	550 t/dia (RSU)	500 t/dia (RSU)	10.000 t/dia (RSU)	250 t/dia (RSU)	9.000 t/dia (RSU)
Porte	Médio	Médio	Grande	Pequeno	Grande
Método construtivo	Rampa	Rampa	Área	Rampa	Rampa
Responsável pela operação	Empresa privada	Empresa privada	Empresa privada	Empresa privada	Empresa privada
Informações adicionais	Possui licença de operação	Possui licença de operação	Possui licença de operação	Possui licença de operação	Possui licença de operação

Fonte: Elaborado pelo autor, 2016.

As análises dos dados obtidos foram realizadas por meio de um estudo comparativo entre os diferentes métodos de desenvolvimento de projetos e as inovações tecnológicas, identificadas em cada unidade. As informações referentes à caracterização local, obtidas por meio do levantamento descritivo dos aterros sanitários, não foram utilizadas no escopo do estudo comparativo.

Estas informações foram verificadas para correlação com entendimento teórico, haja vista que existem considerações técnicas e critérios definidos para avaliação da adequabilidade e da capacidade e suporte da área a ser utilizada para implantação de um aterro sanitário.

Os Aspectos Estruturais avaliados foram comparados, principalmente, de acordo com porte da unidade, uma vez que quanto maior o aterro sanitário, maior sua infraestrutura, com exceção dos sistemas de drenagem de lixiviados, que foram avaliados considerando a tipologia do projeto implantado no aterro sanitário.

Os projetos identificados para os sistemas de impermeabilização e de drenagem de emissões gasosas foram analisados, considerando o porte da unidade, sendo dividido em aterros sanitários de pequeno/médio porte e aterros sanitários de grande porte. Já os sistemas de drenagem de água pluvial foram avaliados e desmembrados em aterros sanitários de pequeno, de médio e de grande porte.

Os dados obtidos foram compilados e estruturados por meio das ferramentas de projeto do software AutoCAD, para garantir melhor compreensão da informação coletada. Todos os projetos elaborados podem ser visualizados de acordo com seu esquema de implantação e suas especificações de materiais utilizados.

De maneira geral, o estudo comparativo foi qualitativo e cada área de concentração do formulário base utilizou um método específico. Este estudo aprofundado proporcionou a identificação de mecanismos que assegurem a qualidade deste tipo de projeto de engenharia e a criação de um certo grau de padronização para os aspectos estruturais estudados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização local

A caracterização local e a área escolhida para a implantação e a operação de um aterro sanitário, impactam diretamente no desempenho do empreendimento e esta escolha deve estar atrelada a minimização dos impactos ambientais gerados durante sua operação.

Os critérios técnicos que foram ponderados para correlação com as informações obtidas nas visitas técnicas, estão de acordo com as exigências da NBR 13896 (ABNT, 1997) para avaliação da capacidade e suporte de um local. São eles:

- **Geologia e tipo de solos:** a existência de um depósito natural de solo com coeficiente de permeabilidade inferior a 10^{-6} cm/s;

– **Acessos:** o tipo de acesso pavimentado ou não pavimentado é um fator importante, haja vista que são utilizados durante toda a sua operação;

– **Vida útil:** recomenda-se a construção de aterros sanitários com vida útil mínima de 10 anos;

– **Distância dos núcleos populacionais:** é recomendada uma distância mínima de 500 metros e máxima de 20 quilômetros.

A Tabela 3 apresenta os aspectos de *Caracterização Local* dos aterros sanitários monitorados, conforme proposta da pesquisa acadêmica:

Tabela 3 – Apresentação dos critérios de caracterização local.

CRITÉRIOS	GEOLOGIA E TIPO DE SOLOS	ACESSO	VIDA ÚTIL	DISTÂNCIAS
CTR CAMPOS	Jazida própria de argila, de baixa permeabilidade.	BR 101 (acesso principal) – Acesso em estrada não pavimentada	30 anos	3,5 km (mínimo) 30 km (máximo)
CTR MACAÉ	Jazida própria de argila, de baixa permeabilidade.	BR 101 (acesso principal) – Acesso por via não pavimentada	16 anos	4,5 km (mínimo) 17 km (máximo)
CTR RIO	Solo arenoso.	Estrada João Ferreira (acesso principal) – Acesso em estrada pavimentada	25 anos	1,2 km (mínimo) 30 km (máximo)
ATERRO MUNICIPAL DE ITU	Jazida própria de argila, de baixa permeabilidade.	Av. José Carlos Massoco (acesso principal) – Acesso por via não pavimentada	16 anos	1,5 km (mínimo) 5 km (máximo)
ATERRO SANITÁRIO DE CAIEIRAS	Jazida própria de argila, de baixa permeabilidade.	Estrada dos Bandeirantes (acesso principal) – Acesso em estrada pavimentada	30 anos	0,3 km (mínimo) 27 km (máximo)

Fonte: Elaborado pelo autor, 2016.

A avaliação da adequabilidade das áreas dos aterros sanitários estudados, quanto ao critério de geologia e tipos de solo, apresenta-se como enquadrado nas limitações definidas no referencial teórico, ou seja, todos os aterros sanitários possuem jazida própria, com argila de baixa permeabilidade, exceto a CTR Rio cujo solo é arenoso. Este aspecto garante a viabilidade econômica do projeto, haja vista que economiza custos de transporte.

Quanto ao critério acesso, pode-se destacar que os aterros sanitários de pequeno e médio porte, analisados no presente projeto, possuem acessos via estrada não pavimentada, já os aterros sanitários de maior porte, ocorrem por

estrada pavimentada, com melhor infraestrutura, devido a maior quantidade e porte dos equipamentos que transitam pela unidade.

Outro aspecto, que influencia diretamente na viabilidade econômica deste tipo de projeto de engenharia é a vida útil do aterro sanitário. Os projetos de aterros sanitários estudados foram implantados com vida útil estimada de mais de 15 anos, garantindo a sustentabilidade econômica da obra.

O critério de distâncias mínimas e máximas é um requisito de localidade, que deve ser cumprido para evitar custos maiores com programas de monitoramento ambiental e programas de educação ambiental com a comunidade do entorno, para as distancias mínimas, e também de transporte do resíduo sólido coletado, para o aspecto de distância máxima.

As distâncias mínimas dos núcleos populacionais não são cumpridas em todos os aterros sanitários analisados. As instalações do aterro sanitário localizado no município de Caieiras são próximas de centros urbanos e isto exige, do responsável pelo empreendimento, maior investimento em monitoramento sob os impactos negativos ao meio ambiente e à saúde, conjuntamente com a implantação de um programa de educação ambiental para comunidade do entorno.

Quando consideradas as distâncias máximas, indicadas nas normas e manuais técnicos, o Aterro Municipal de Itu, se apresenta com distância inferior ao que se estabelece e isto se justifica, devido ao porte do município e da unidade operacional. Os aterros sanitários localizados no estado do Rio de Janeiro estão de acordo com as recomendações técnicas e com o zoneamento local.

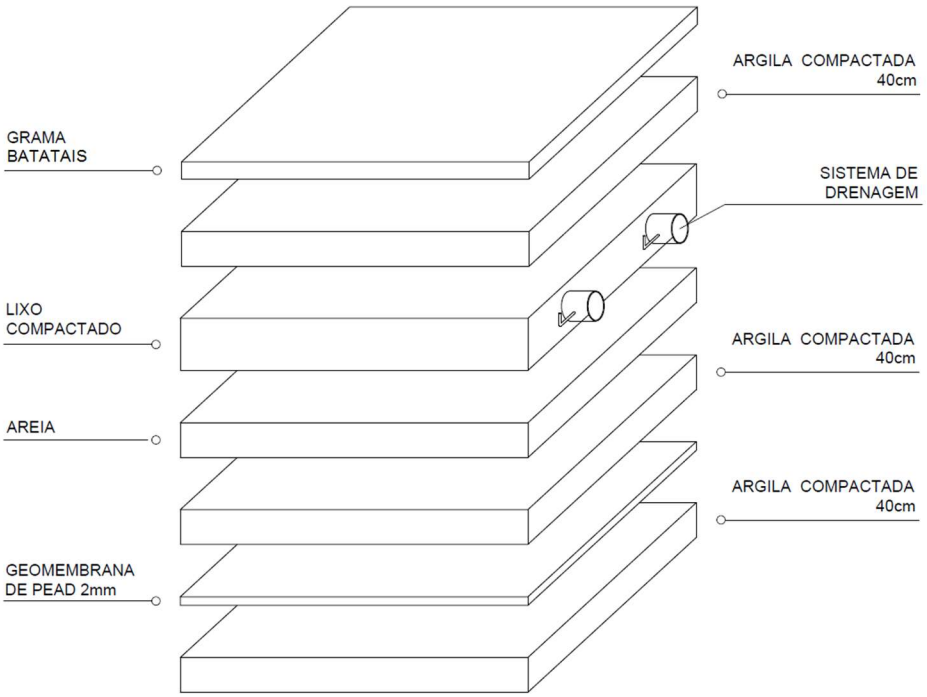
Projeto de impermeabilização inferior e superior

Os projetos dos sistemas de impermeabilização inferior e superior dos aterros sanitários estudados no presente trabalho se apresentam como similares. Foi identificada uma estrutura para aterros sanitários de pequeno e médio porte e uma estrutura mais complexa para as unidades de maior porte.

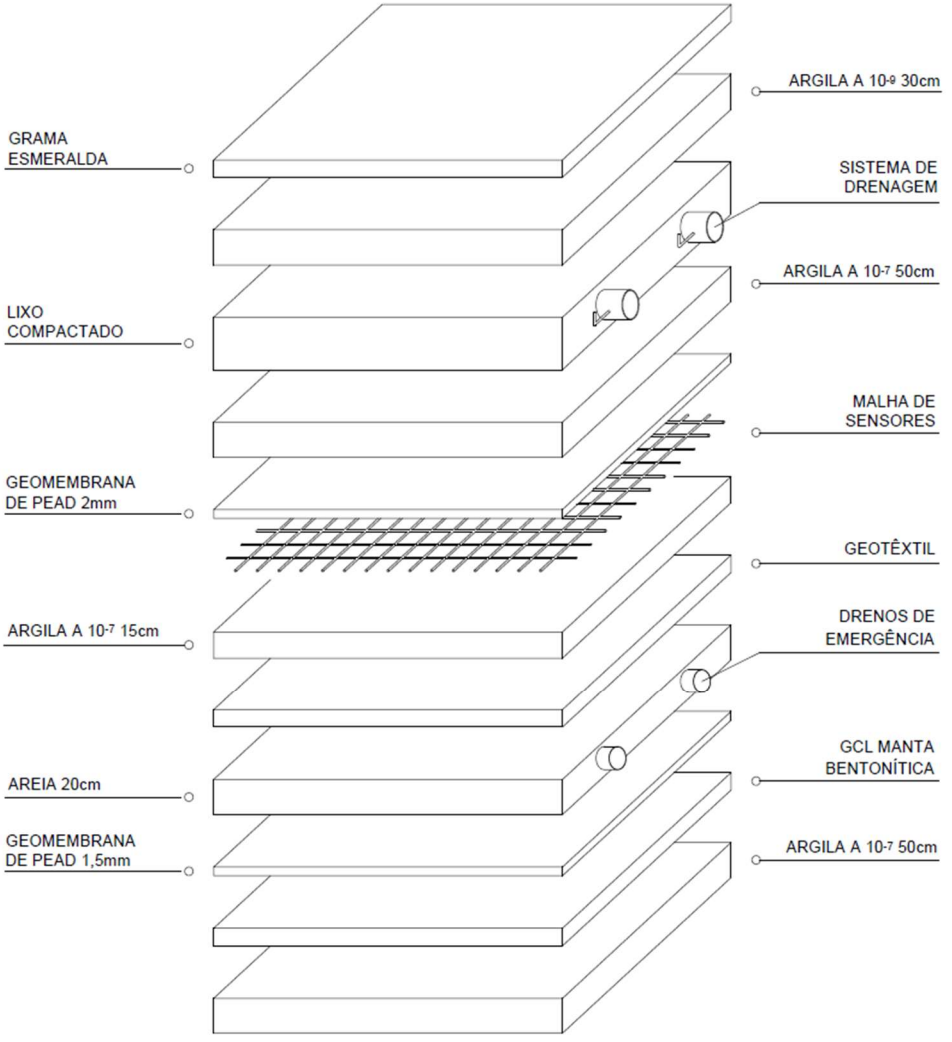
Neste contexto, a Figura 2 apresenta dois modelos de projetos de sistemas de impermeabilização, que foram constatados nos aterros sanitários analisados, indicando os seus componentes empregados.

Figura 2 – Esquema geral de projeto de sistema de impermeabilização: (a) aterros sanitários de pequeno e médio porte; (b) aterros sanitários de grande porte

(a)



(b)



Fonte: Elaborado pelo autor, 2016.

Conforme verificado na Figura 2*a*, os aterros sanitários de pequeno e médio porte apresentam um sistema de impermeabilização de base simplificado, no qual é utilizado uma camada barreira composta por argila e geomembrana. Para proteger a geomembrana, durante a operação do aterro sanitário, pode ser empregada uma outra camada de argila compactada acima dela, sendo instalado, logo acima, uma camada de areia e o sistema de drenagem de lixiviado. A técnica identificada para minimizar a mistura entre as camadas de solo e areia é a implantação de uma camada de geotêxtil.

Nos aterros sanitários de grande porte, conforme apresentado na Figura 2*b*, foi identificado o uso de um sistema de impermeabilização inferior composto por mais camadas, devido a maior quantidade de resíduos sólidos aterrados e também a maior altura do aterro sanitário. Dentre as camadas identificadas, pode-se destacar o revestimento primário para coleta do lixiviado e o revestimento secundário para detecção de possíveis vazamentos.

Na CTR Rio, foi possível observar o uso de um geocomposto bentonítico (GCL), em substituição da argila compactada, abaixo da primeira geomembrana. Este é um produto feito a partir da argila de bentonite de alta qualidade, com permeabilidade tão baixa quanto 10^{-10} cm/s.

Para o sistema de impermeabilização superior, foram verificadas, que independente do porte, todos os aterros sanitários avaliados utilizam duas camadas principais, a camada barreira que visa limitar a infiltração de águas superficiais e a liberação de gases e a camada de proteção, que abrange toda a superfície do aterro e suporta a vegetação, que reduz a pressão da água sobre a camada barreira e controla os efeitos da erosão.

A camada barreira é a mais crítica, pois o material utilizado para sua construção é a argila compactada e ela pode apresentar problemas relacionados ao seu uso. Desta maneira, para evitar estes problemas, as normas e manuais técnicos recomendam o uso de geomembrana em combinação com a argila compactada para esta função.

O plantio de vegetação na cobertura final do aterro sanitário é indicado pelas normas e manuais técnicos. Assim, foi possível identificar o uso de duas espécies de grama nesta etapa da operação: a Paspalum Notatum (Batatais) e a Zoysia Japonica (Esmeralda). As duas opções de grama são comercializadas em formato de placas e têm indicação para cultivo a pleno sol, em solos pobres e com regas

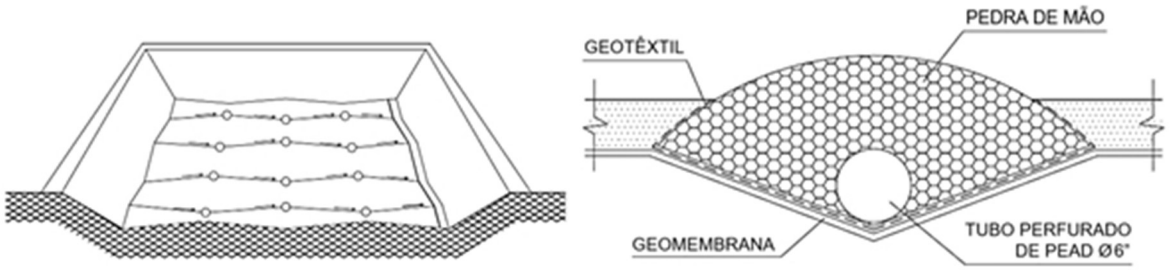
regulares, facilitando a sua manutenção e cultivo, porém a espécie mais indicada e utilizada é a grama Esmeralda.

Sistemas de drenagem de lixiviado

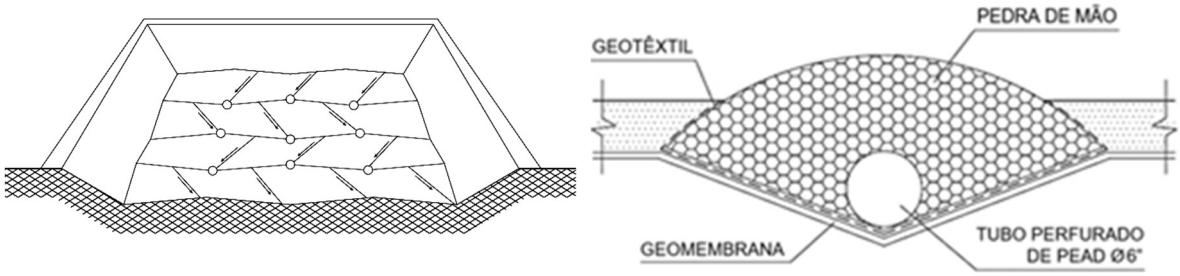
O lixiviado gerado nos aterros sanitários estudados é coletado e removido, por meio de sistemas de drenagem projetados, de forma a ponderar suas limitações topográficas e geométricas. Desta maneira, foram encontrados, projetos com configurações em planta e estrutura variadas, conforme apresentado na Figura 3.

Figura 3 – Sistemas de drenagem de lixiviado: (a) malha paralela; (b) espinha de peixe; (c) colchão drenante.

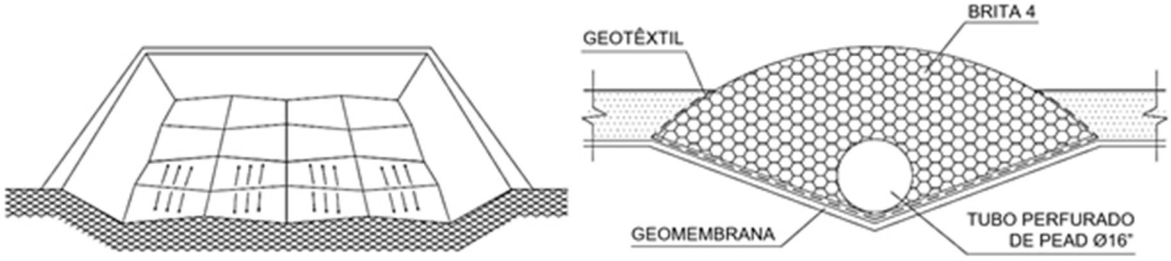
(a)



(b)



(c)



Fonte: Elaborado pelo autor, 2016.

Os modelos de configuração em planta identificados, no presente trabalho, foram: malha paralela (3*a*), espinha de peixe (3*b*) e colchão drenante (3*c*). Os sistemas implantados com estrutura de malha paralela e espinha de peixe apresentam rede de drenagem e concepção técnica similar. A diferença entre os dois sistemas é a configuração em planta. Eles são compostos por estruturas interligadas em um dreno principal feito de pedra (material drenante), geotubo perfurado e geotêxtil.

Já o sistema implantado em estrutura colchão drenante é composto por materiais similares, porém é disposto em toda a superfície da área impermeabilizada, aumentando a área de captação e drenagem do lixiviado. Devido a menor quantidade de insumos necessários para construção do projeto da estrutura espinha de peixe/malha paralela, ela se apresenta como a opção de menor custo de implantação e eficiência, quando comparado à eficiência e aos custos da estrutura colchão drenante.

Os aterros sanitários localizados no estado de São Paulo foram projetados com a estrutura colchão drenante, independente do porte da unidade operacional, demonstrando uma capacidade de maior investimento inicial para sua implantação. As demais unidades, localizadas no estado do Rio de Janeiro, utilizam os projetos de malha paralela e espinha de peixe.

Os materiais utilizados para implantação destes sistemas possuem especificações técnicas variadas. Nos aterros sanitários de pequeno e grande porte, são utilizadas Brita 4 como material drenante, nos aterros sanitário de médio porte, é utilizado Pedra de Mão.

Nos aterros de pequeno/médio porte foi identificado o uso de tubo perfurado de polietileno (PEAD) de 15 cm e nos aterros de grande porte, o diâmetro do mesmo tubo utilizado é de 40 cm. Esta variação ocorre devido à vazão de lixiviado, visto que quanto maior o aterro sanitário, maior a geração de lixiviado.

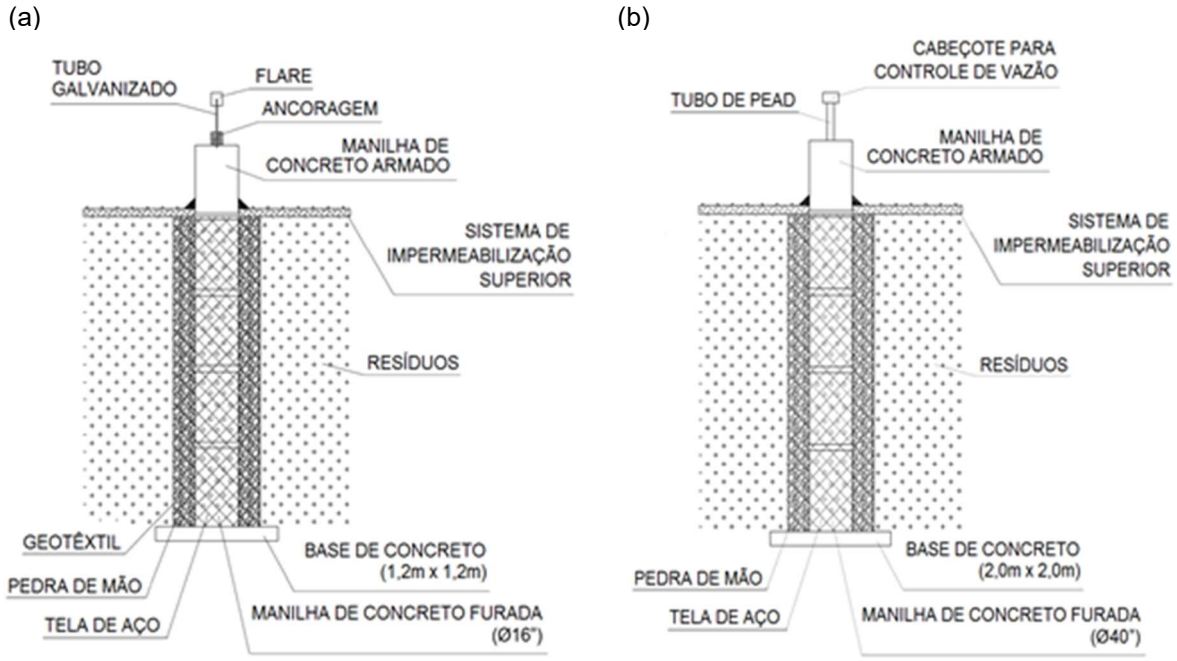
O lixiviado, após drenado, pode ser encaminhado para lagoas de acumulação para tratamento posterior ou ser enviado diretamente para tratamento em Estação de Tratamento de Chorume (ETC). Todos os aterros sanitários possuem lagoas de acumulação para envio para tratamento posteriormente.

A maioria dos aterros analisados realiza tratamento combinado em estação de tratamento de esgotos sanitários (ETE), com exceção da CTR Macaé, que possui uma ETC em fase de projeto e a CTR Rio que possui uma ETC em funcionamento.

Sistemas de drenagem de emissões gasosas

Os sistemas de drenagem de emissões gasosas, também conhecido como biogás, constatado nos aterros sanitários possuem estruturas similares, o que permitiu o estudo comparativo por porte da unidade, assim como no sistema de impermeabilização. Observou-se uma estrutura vertical de drenagem para aterros de pequeno/médio porte e outra para aterros de grande porte, conforme apresentado na Figura 4.

Figura 4 – Sistemas de drenagem de emissões gasosas: (a) projeto para aterros sanitários de pequeno/médio porte; (b) projeto para aterros sanitários de grande porte.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2016.

Os projetos de sistemas de drenagem de biogás se apresentam com os aspectos estruturais similares e as especificações técnicas de materiais utilizados variados. O sistema é construído de forma interligada à malha de drenagem de líquido lixiviado, garantindo a utilização de drenos verticais e horizontais para a sua retirada do aterro sanitário.

Durante as visitas técnicas, foi identificado o uso de base de concreto para garantir a estabilidade inicial da estrutura. Esta base de concreto é um aspecto inovador, identificado em todos os aterros sanitários visitados. A referência deste tipo de base não foi encontrada como sugestão de projeto nos manuais técnicos. O

tamanho da base de concreto variou entre 1,2 x 1,2 m a 2,0 x 2,0 m, de acordo com o projetista e de acordo com o porte do aterro sanitário.

Em todos os aterros sanitários são utilizados para a construção dos drenos os seguintes materiais: base de concreto, tela de aço, pedra de mão, manilha de concreto perfurada ou tubulação de PEAD e o geotêxtil. A manilha de concreto perfurada apresentou uma variação entre 40 a 60 cm de diâmetro, conforme já identificado em normas e manuais técnicos.

Esta variação ocorre devido à vazão das emissões gasosas produzidas no aterro sanitário. A produção do biogás aumenta em função da quantidade de matéria orgânica presente na massa de resíduo sólido, em consequência do processo de decomposição e também em função da quantidade de resíduo aterrada.

São indicados em normas e manuais técnicos, drenos verticais de até 1,0 m de diâmetro, haja vista que o dreno de maior diâmetro garante maior resistência à estrutura e suporta os recalques e deslocamentos sofridos pela massa de resíduos, porém foi verificado que devido aos projetos de aproveitamento de biogás, as unidades de grande porte utilizam drenos de diâmetro menor (60 cm) para garantir maior eficiência na captação.

Também para promover maior taxa de captação de biogás, nos aterros de grande porte, a manilha de concreto perfurada pode ser substituída por tubo perfurado do PEAD, porém devido ao alto custo desta matéria prima, os projetistas preferem incorporar este tipo de tubulação já na extremidade final do dreno, mesclando o material utilizado para esta estrutura.

Na terminação dos drenos é comum a utilização de queimadores especiais, também conhecidos como flares, nos aterros de pequeno/médio porte. Este queimador possibilita o controle da dispersão do gás, garante a queima espontânea dos gases a uma altura segura, diminuindo também o seu efeito poluidor na atmosfera.

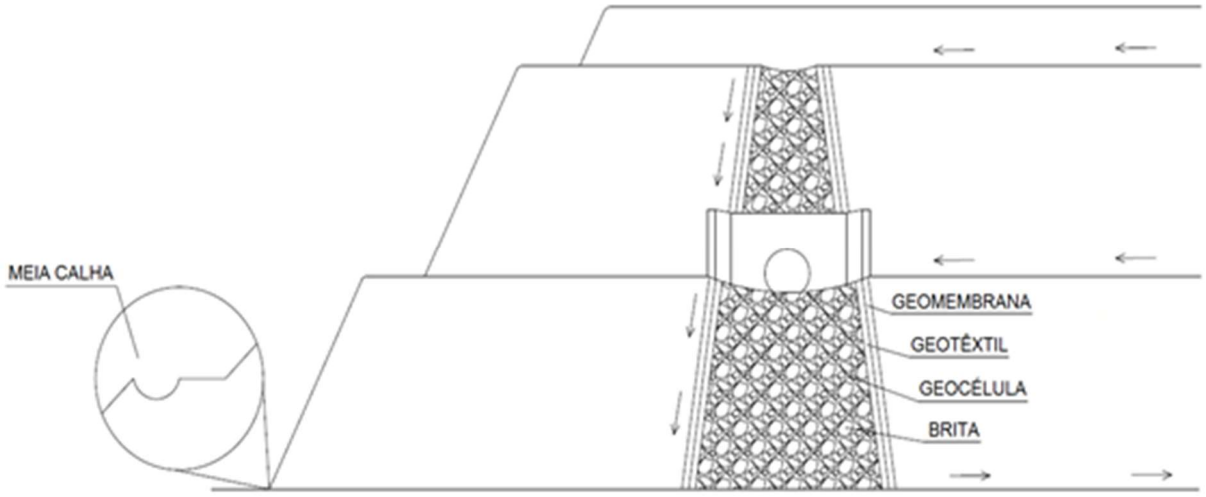
Os aterros sanitários de grande porte possuem projetos de recuperação e tratamento do biogás, para geração de energia ou projetos de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL), com flare central para queima dos gases em excesso. Nestes drenos, a terminação é projetada com cabeçotes para controle de vazão e sopradores para gestão mais eficiente e eficaz do biogás.

Sistema de drenagem de água pluvial

O sistema de drenagem de águas pluviais tem a finalidade de garantir o afastamento rápido e eficiente das águas que escoam superficialmente na área do aterro sanitário. Os projetos identificados utilizam calhas de concreto e escadas d'água para estruturas de base do empreendimento e calhas de metal corrugado, tubulações de concreto, colchão Reno, geomembrana, geotêxtil e brita para os projetos instalados no maciço de resíduo sólido.

O aterro sanitário de pequeno porte, localizado no estado de São Paulo, apresentou um sistema de drenagem de águas pluviais, que se mostra como uma solução adequada para aterros de pequeno/médio porte, devido ao menor custo de implantação, operação e manutenção. Os materiais utilizados para sua construção são geotêxtil, geomembrana, brita e geocélula, conforme mostra a Figura 5.

Figura 5 – Sistema de drenagem de águas pluviais em aterro de pequeno porte - Geocélula



Fonte: Elaborado pelo autor, 2016.

O projeto mais visualizado, nas visitas técnicas, foi o sistema de drenagem com o gabião, que tem como base estrutural o colchão Reno. Este sistema já é muito utilizado em obras de engenharia civil e nos aterros sanitários, de maneira geral.

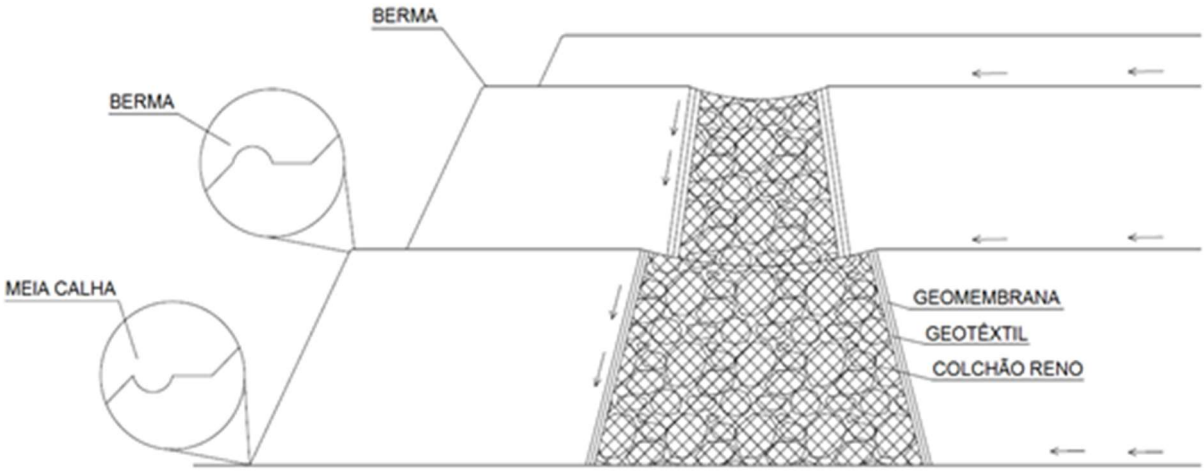
A diferença entre os projetos implantados nos aterros de médio e de grande porte é o uso da escada hidráulica na base da estrutura do sistema de drenagem. O aterro sanitário de grande porte utiliza esta infraestrutura, devido a altura do

empreendimento, haja vista que quanto maior a altura, maior a quantidade de água pluvial que escoa superficialmente.

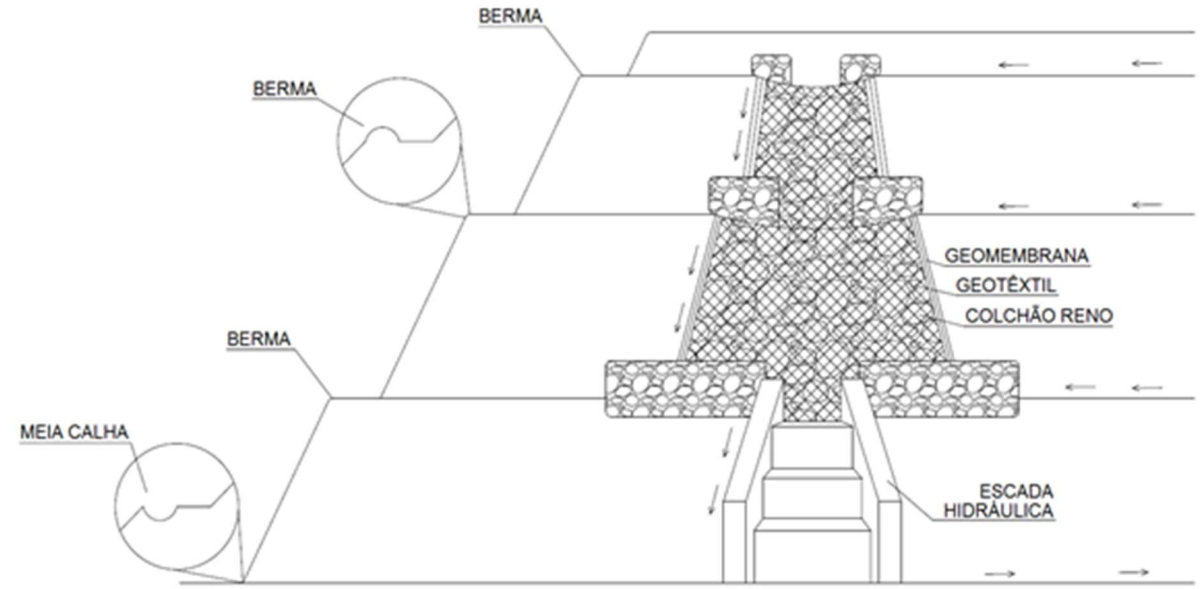
A Figura 6 apresenta os sistemas de drenagem de águas pluviais identificados nos aterros sanitários, de acordo com o porte da unidade.

Figura 6 – Sistemas de drenagem de águas pluviais: (a) aterros de médio porte; (b) aterros de grande porte.

(a)



(b)



Fonte: Elaborado pelo autor, 2016.

Os aterros sanitários analisados apresentaram plano de manutenção do sistema de drenagem de água pluvial, de forma a prevenir a obstrução das canaletas e a garantir os ajustes necessários.

CONCLUSÕES

De acordo com as informações obtidas durante a execução do projeto de pesquisa, os cinco aterros sanitários avaliados foram projetados e construídos, considerando os aspectos técnicos estabelecidos nas normas e manuais técnicos.

Quanto à caracterização local, todos os aterros sanitários possuem jazida própria com argila de baixa permeabilidade, garantindo a viabilidade econômica desta obra de engenharia. Os acessos principais dos aterros são pavimentados, nas unidades de grande porte e não pavimentados nas unidades menores.

Em relação à vida útil dos aterros sanitários, todas as unidades foram projetadas com vida útil superior a 15 anos. Outro fator importante para viabilidade econômica do projeto é a distância mínima e máxima dos centros urbanos, no qual apenas os aterros localizados no Estado de São Paulo apresentaram localização distinta, do que se encontra sugerido na bibliografia.

Os sistemas de impermeabilização de base identificados nos aterros sanitários de pequeno e médio porte são simplificados e nos aterros de maior porte são sistemas com camadas de controle para detecção de vazamentos. Na CTR Rio foi verificado o uso de um geocomposto bentonítico (GCL), substituindo uma das camadas de argila do projeto.

Para o sistema de impermeabilização superior, na etapa de plantio de vegetação, usa-se grama de duas espécies: Paspalum Notatum (Batatais) e Zoysia Japonica (Esmeralda). As duas espécies são adequadas, pois têm manutenção e cultivo simplificados.

A configuração em planta dos sistemas de drenagem de lixiviado é o aspecto que mais se diferenciou. Foram identificados os modelos de projeto espinha de peixe e malha paralela, nos aterros localizados no Rio de Janeiro e colchão drenante, nos aterros localizados no Estado de São Paulo.

No sistema de drenagem de biogás, foi identificado o uso de uma base de concreto para garantir a estabilidade da estrutura vertical. Este é um aspecto inovador, que não está descrito nas normas e manuais técnicos. Para os aterros de pequeno e médio porte, a estrutura vertical é composta por manilha de concreto armado e flare nas terminações, já nos aterros de grande porte, foram encontrados tubulações de PEAD, com cabeçote para controle de vazão e tratamento posterior para geração de energia.

A geocélula, estrutura identificada como sistema de drenagem de águas pluviais no aterro sanitário de Itu é outro aspecto inovador, não previsto em normas e manuais aplicáveis, complementado por estruturas de berma e meia calha nos limites do talude para garantir a condução das águas superficiais.

Neste contexto, este levantamento demonstra que os aterros sanitários estudados, possuem uma certa padronização, com alguns ganhos ambientais identificados na estrutura do sistema de drenagem de emissões gasosas e de drenagem de aguas pluviais. Estes ganhos são capazes de garantir a estabilidade estrutural, na etapa de construção de aterros, e a disposição final de RSU adequada.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 8419/1992:* Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro, 1992.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15849/2010:* Resíduos sólidos urbanos – Aterros sanitários de pequeno porte – Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento. Rio de Janeiro, 2010.

BRASIL. Lei n° 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, e dá outras providências. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, DF, 2 ago. 2010.

CAREY, P.; CARTY, G.; DOLON, B.; HOWLEY, D.; NEALON, T. *Landfill manuals:* Landfill site design. Ireland: Environmental Protection Agency, 2010. 154 p.

CETESB – COMPANHIADE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. *Aterros Sanitários em Valas:* Apostilas Ambientais. São Paulo: Secretaria do Estado do Meio Ambiente, 1997. 34 p.

CHRISTENSEN, T.H., COSSU, R., STEGMAN, R. *Problems and Strategies in Leachate Management.* In: Management and Treatment of MSW Landfill Leachate – International Treaning Seminar, 1998. Italy.

GOOGLE EARTH. Disponível em: <http://earth.google.com/intl/pt/>. Acesso em 20 de novembro de 2015.

HAMADA, J.; MANCINI, S. *Disciplina da graduação em engenharia ambiental:* Chorume e biogás de aterros sanitários. Sorocaba: UNESP, 2012. Disponível em: <http://www.sorocaba.unesp.br/Home/Graduacao/EngenhariaAmbiental/SandroD.Mancini/chorume-biogas.pdf>. Acesso em: 15 out. 2015.

IKEGUCHI, T. *Progress in sanitary landfill technology and regulations in Japan:* A review. *Waste Management & Research*, v. 12, p. 109-127, 1994.

IPT/CEMPRE – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS E COMPROMISSO EMPRESARIAL COM A RECICLAGEM. *Lixo Municipal*: Manual de Gerenciamento Integrado. 3 ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2010. 350 p.

JUCÁ, J. F. T. et al. Análise das diversas tecnologias de tratamento e disposição final de resíduos sólidos urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão. Pernambuco: FADE/UFPE, Grupo de Resíduos Sólidos, 2013. 186 p. Relatório técnico.

KAJINO, L. *Estudo de viabilidade de implantação, operação e monitoramento de aterros sanitários:* uma abordagem econômica. 2005. 140 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial. Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2005.

LANER, D.; CREST, M.; SCHARFF, H.; MORRIS, J.; BARLAZ, M. A review of approaches for the long-term management of municipal solid. *Elsevier Ltd*, v. 32, p. 498-512, December, 2011.

PEREIRA, A. Desenvolvimento de um indicador para avalição de desempenho de aterros de resíduos sólidos urbanos. 2005. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

ROCCA, A. C. et al. Resíduos Sólidos Industriais. 2 ed. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. São Paulo, 1993. 233 p.

TCHOBANOGLOUS, G., THEISEN, H., VIGIL, S. *Integrated Solid Waste Management:* Engineering Principles and Management Issues. McGrall-Hill, inc. 1993. 978 p.

4.2 Artigo Técnico – Critérios operacionais

Artigo Técnico

Avaliação dos aspectos operacionais em cinco aterros sanitários, localizados nos estados do Rio de Janeiro e São Paulo

Evaluation of the operational aspects in five landfills, located in the states of Rio de Janeiro and São Paulo

RESUMO

A etapa de operação do aterro sanitário, técnica de disposição final de resíduos sólidos, é a principal atividade, quando a unidade está em funcionamento, haja vista que seus procedimentos operacionais têm papel fundamental para garantir gestão adequada e a otimização desta obra de engenharia. Nesta perspectiva, o presente trabalho apresenta os resultados do estudo dos critérios operacionais de engenharia de aterros sanitários, sendo que os critérios abordados foram os aspectos gerais de infraestrutura, a descrição do procedimento operacional, a tipologia de material utilizado para cobertura intermediária e temporária, o projeto de sistema de drenagem de lixiviado intermediário e de drenagem de água pluvial temporário e o plano de monitoramento ambiental e geotécnico. Os resultados deste estudo mostraram que, apesar da similaridade dos procedimentos operacionais identificados, existem ganhos econômicos e ambientais nesta etapa, por meio da substituição de matéria prima utilizada e aprimoramento dos projetos e mecanismos aplicados nos aterros sanitários.

Palavras-chave: Resíduos Sólidos. Aterro Sanitário. Critérios Operacionais de Engenharia.

ABSTRACT

The sanitary landfill operation, technique for final disposal of solid waste, is the principal activity, when the landfill is in operation, considering that the operational proceedings have an important function, ensuring a suitable management and optimization of this engineering job. In this perspective, this academic work presents

the results of the study of some operational criteria of engineering of landfills and the criteria included were general aspects of infrastructure, the description of the operating proceeding, the type of material used for intermediate and temporary cover, the intermediate leachate drainage system, the temporary rainwater drainage and the environmental and geotechnical monitoring plan. The results of this study showed that, despite the similarity of the identified operational proceedings, there are economic and environmental profits at this phase, through the substitution of elements utilized and improvement of the projects applied in landfills.

Keywords: Solid Waste. Landfill. Operational Engineering Criteria.

INTRODUÇÃO

Com o crescimento da quantidade de aterros sanitários no país, como resultado das determinações estabelecidas na Política Nacional de Resíduos Sólidos, as demandas associadas à sua adequada operação ganharam relevância, visto que os impactos negativos ao meio ambiente e os efeitos negativos à saúde estão diretamente relacionados à qualidade de sua operação.

O aterro sanitário é um complexo sistema de engenharia em termos de planejamento, operação e de manutenção, em razão dos processos físicos, químicos e biológicos envolvidos, que influenciam diretamente seu comportamento e por isso devem ser operados dentro de padrões ambientais e critérios técnicos compatíveis.

A etapa de operação é o foco da atividade de um aterro sanitário em funcionamento, uma vez que sua rotina operacional tem papel fundamental para garantir a gestão adequada desta obra de engenharia. O padrão de operação de aterros sanitários não é previsto na legislação aplicável e/ou normas técnicas. Na bibliografia, há alguns manuais com rotinas operacionais estabelecidas, porém estes se apresentam como insuficientes, haja vista que não esclarecem aspectos básicos e pontos fundamentais de operação.

No que se refere aos critérios operacionais, o plano de trabalho se inicia pelo controle de recebimento e pesagem, em seguida ocorre a descarga, o espalhamento e a compactação, assim realiza-se a construção da camada de cobertura diária dos resíduos sólidos dispostos e o desenvolvimento dos sistemas de drenagem fixo para

as emissões gasosas, intermediário para o lixiviado e provisório para as águas pluviais, além do plano de monitoramento ambiental e geotécnico.

Para garantir a operação adequada de um aterro sanitário, existem aspectos gerais de infraestrutura, que influenciam diretamente neste desempenho otimizado, além disso é fundamental desenvolver um plano de trabalho, abrangendo vida útil, dinâmica de uso de área, procedimento operacional eficaz, desempenho ambiental, monitoramento regular e as atividades de encerramento do empreendimento (ROBERTS et al., 2013; ISWA, 2010).

O método específico de execução das células de resíduos sólidos é definido conforme as características locais, tais como quantidade de material disponível para cobrimento, topografia, hidrologia e geologia. As células devem ser rigorosamente operadas para garantir o controle ambiental, a otimização da qualidade do maciço de resíduos e a eficiência das várias atividades dessa operação (O'LEARY e TCHOBANOGLOUS, 2004).

O processo de decomposição dos resíduos sólidos presentes nas células do aterro sanitário produz dois subprodutos principais: o lixiviado e as emissões gasosas, também conhecida como biogás. Durante a operação do aterro sanitário, é necessário implantar sistemas de drenagem intermediário para estes subprodutos, de modo a garantir a sua condução, entre as camadas de resíduos sólidos aterradas (CAREY et al., 2010; CRISTENSEN et al., 1998; ABNT, 1997).

Outro aspecto que deve ser considerado, durante a operação de um aterro sanitário, é o escoamento das águas superficiais. Para evitar a infiltração das águas pluviais na massa de resíduos e o aumento de geração de lixiviado, durante a operação podem ser implantados sistemas de drenagem provisórios. Esta é uma medida pouco difundida nas normas e manuais técnicos, porém de grande importância para o bom desempenho operacional dos aterros sanitários (KAJINO, 2005; ABNT, 1997).

A implantação de medidas mitigadoras, de forma a evitar a formação e o desenvolvimento de impactos negativos, é possível por meio da elaboração de um plano de monitoramento ambiental e geotécnico, que deve ser realizado durante a operação e após o encerramento dos aterros sanitários. As obras de engenharia deste tipo estão sujeitas a este monitoramento devido às reações bioquímicas que ocorrem no resíduo orgânico presente no maciço do aterro e suas consequências (IPT/CEMPRE, 2010; ISWA, 2010).

Nesta perspectiva, considerando a necessidade de pesquisas cientificas a cerca deste tema, o presente trabalho apresenta os resultados do estudo dos critérios operacionais de engenharia de cinco aterros sanitários, localizados nos estados do Rio de Janeiro e São Paulo, de forma a contribuir com a identificação de mecanismos que garantam a maximização da eficiência da operação, com menor custo, mantendo, portanto, a sua viabilidade técnica, econômica e ambiental.

METODOLOGIA

Para condução da pesquisa acadêmica estabeleceu-se três etapas: levantamento dos critérios operacionais em um projeto de aterro sanitário e elaboração de um formulário base, aplicação de critérios para determinação dos aterros sanitários e visita técnica, e análise dos dados obtidos para construção de parâmetros e projetos.

Para levantamento e determinação destes aspectos operacionais foram utilizadas as normas brasileiras: NBR 8.419 – Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos, NBR 13.896 – Aterros de Resíduos Não Perigosos – Critérios para Projeto, Implantação e Operação e NBR 15.849 – Resíduos Sólidos Urbanos – Aterros sanitários de pequeno porte – Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento.

No que se refere aos *critérios operacionais* foram abordados os aspectos gerais de infraestrutura dos aterros sanitários, a descrição do procedimento operacional, a tipologia de material utilizado para cobertura intermediária e temporária, o projeto de sistema de drenagem de lixiviado intermediário e de água pluvial temporário e o plano de monitoramento ambiental e geotécnico.

A abordagem metodológica utilizada na pesquisa acadêmica foi baseada no estudo e monitoramento de cinco aterros sanitários, localizados nos estados de Rio de Janeiro e São Paulo. Para garantir a execução desta pesquisa, a premissa básica foi a obtenção de uma ferramenta (formulário base), aplicável aos aterros sanitários indicados, de maneira a garantir a padronização na obtenção dos dados e informações.

A Tabela 1 sintetiza o conjunto de critérios empregados na escolha dos aterros sanitários. Estes critérios foram propostos visando permitir correlações entre os dados obtidos nos aterros sanitários estudados.

Tabela 1 – Critérios determinados para definição dos aterros sanitários.

CRITÉRIOS	DESCRIÇÃO
Localização	Prioridade para aterros sanitários localizados nos estados do Rio de Janeiro e São Paulo.
Informações socioeconômicas	Prioridade para aterros sanitários que atendam municípios com mais de 100.000 habitantes até regiões metropolitanas.
Quantidade e tipologia dos resíduos a serem dispostos	Prioridade para aterros sanitários com estimativa de recebimento entre um dos três níveis: 250 toneladas diárias (pequeno porte), 500 toneladas diárias (médio porte) e até 10.000 toneladas diárias (grande porte). Prioridade para aterros que recebam RSU.
Método construtivo	Prioridade para aterros sanitários que operem no método de rampa ou de área, devido à similaridade dos procedimentos operacionais.
Responsável pela operação	Prioridade para aterros sanitários particulares ou de prefeituras, operados por empresas privadas.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2016.

Com a aplicação dos critérios, formou-se um grupo de aterros sanitários constituído pelas seguintes unidades operacionais: Central de Tratamento de Resíduos de Campos dos Goytacazes (CTR Campos), Central de Tratamento de Resíduos de Macaé (CTR Macaé), Central de Tratamento de Resíduos do Rio de Janeiro (CTR Rio), localizados no estado do Rio de Janeiro e o Aterro Municipal de Itu e o aterro sanitário localizado no município de Caieiras, ambos localizados no estado de São Paulo, conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Localização dos aterros sanitários estudados

Fonte: Google Earth, 2015.

A Tabela 2 apresenta uma caracterização preliminar de cada aterro sanitário. As informações foram obtidas durante a visita técnica, que ocorreu para aplicação do formulário base e registros fotográficos da operação do aterro sanitário. As visitas técnicas foram acompanhadas pelo engenheiro responsável e o encarregado de operação da unidade e o preenchimento do formulário base foi realizado pela autora.

Tabela 2 – Grupo de aterros sanitários indicados.

CRITÉRIOS	CTR CAMPOS	CTR MACAÉ	CTR RIO	ATERRO MUNICIPAL DE ITU	ATERRO SANITÁRIO DE CAIEIRAS
Localização	Campos dos Goytacazes/RJ	Macaé/RJ	Seropédica/RJ	Itu/SP	Caieiras/SP
Abrangência do aterro sanitário (municípios atendidos)	Campos dos Goytacazes, Laje do Muriaé, Miracema, São Francisco do Itabapoana e São João da Barra.	Macaé e Quissamã.	Itaguaí, Mangaratiba, Rio de Janeiro e Seropédica.	Apenas do município de Itu.	Cerca de 16 municípios, incluindo o município de São Paulo.
Quantidade de resíduo disposto	550 t/dia (RSU)	500 t/dia (RSU)	10.000 t/dia (RSU)	250 t/dia (RSU)	9.000 t/dia (RSU)
Porte	Médio	Médio	Grande	Pequeno	Grande
Método construtivo	Rampa	Rampa	Área	Rampa	Rampa
Responsável pela operação	Empresa privada	Empresa privada	Empresa privada	Empresa privada	Empresa privada
Informações adicionais	Possui licença de operação	Possui licença de operação	Possui licença de operação	Possui licença de operação	Possui licença de operação

Fonte: Elaborado pelo autor, 2016.

As análises dos dados obtidos foram realizadas por meio de um estudo comparativo entre as diferentes ferramentas para implantação dos procedimentos operacionais e as inovações tecnológicas identificadas em cada aterro sanitário. As informações referentes à caracterização local, obtidas por meio do levantamento descritivo dos aterros sanitários, não foram utilizadas no escopo do estudo comparativo.

Estas informações foram verificadas para correlação com entendimento teórico, haja vista que existem considerações técnicas e critérios definidos para

avaliação da adequabilidade e da capacidade e suporte da área a ser utilizada para implantação de um aterro sanitário.

Os dados obtidos, que se referem aos Critérios Operacionais aplicados nos aterros sanitários, foram analisados no estudo comparativo, de forma a possibilitar a identificação das boas práticas e inovações implantadas nos empreendimentos, que proporcionam a melhoria contínua da condição operacional de um aterro sanitário.

Para a avaliação destes critérios, pode-se destacar que boa prática é o procedimento ou atividade desenvolvida pelo aterro sanitário, já prevista em normas e manuais técnicos. O conceito de inovação para o projeto de pesquisa abrange as adaptações ou novas maneiras de garantir o avanço no modo de operação de aterros sanitários.

Os dados obtidos foram compilados e estruturados por meio das ferramentas de projeto do software AutoCAD, para garantir melhor visualização e compreensão da informação coletada. Todos os projetos elaborados podem ser visualizados de acordo com seu esquema de implantação e especificações sobre os materiais utilizados.

De maneira geral, o estudo comparativo foi qualitativo e cada área de concentração do formulário base utilizou um método específico. Este estudo aprofundado proporcionou a identificação de mecanismos que assegurem a qualidade deste tipo de projeto de engenharia e a criação de um certo grau de padronização para os critérios operacionais estudados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aspectos gerais de infraestrutura dos aterros sanitários

A operação de um aterro sanitário é diretamente influenciada pela sua infraestrutura e alguns aspectos garantem a minimização dos impactos ambientais e o aumento da sua vida útil. Foram escolhidos alguns aspectos gerais de infraestrutura que foram ponderados para caracterização e avaliação dos aterros sanitários analisados. São eles:

- **Horário de funcionamento:** este deve ser estabelecido de acordo com o sistema de coleta de resíduos do município (NUCASE, 2008).

– **Controle de acesso e recebimento:** este procedimento contempla a identificação de visitantes e a identificação, a classificação e a pesagem do resíduo recebido (IKEGUCHI, 1994).

– **Cercamento da área:** a unidade deve possuir a cerca que circunde toda a área do aterro sanitário, o portão que garanta o controle de acesso ao local, a sinalização adequada nos acessos e a faixa de proteção sanitária de no mínimo 10 metros de largura (ABNT, 1997).

– **Instalações básicas:** o aterro sanitário deve ter instalações apropriadas para descanso, refeitório, vestiários e banheiros para seus funcionários, em consonância com as recomendações do Ministério do Trabalho e do Órgão Ambiental. Os materiais de consumo do aterro sanitário devem ser armazenados adequadamente em áreas reservadas, para evitar danos a estes materiais (TCHOBANOGLOUS et al., 1993).

– **Acessos e iluminação:** Os acessos devem ser protegidos, executados e mantidos de forma a permitir seu uso em quaisquer condições climáticas, com iluminação adequada (CAREY et al., 1993).

A Tabela 3 apresenta os aspectos gerais de infraestrutura dos aterros sanitários monitorados, conforme proposta da pesquisa acadêmica:

Tabela 3 – Aspectos gerais de infraestrutura de aterros sanitários.

CRITÉRIOS	CTR CAMPOS	CTR MACAÉ	CTR RIO	ATERRO MUNICIPAL DE ITU	ATERRO SANITÁRIO DE CAIEIRAS
Horário de funcionamento	2ª a Sábado, das 8 às 18h	2ª a Sábado 24h	Diariamente 24h	2ª a Sábado, das 6 às 19h	Diariamente 24h
Controle de acesso e recebimento	Os aterros sanitários analisados possuem controle de acesso de visitantes e recebimento de resíduos e são equipados com portaria e balança rodoviária.				
Cercamento de área	Todos os aterros sanitários possuem cercamento de área adequado.				
Instalações básicas	Portaria, salas, refeitório, vestiário, almoxarifado e centro de educação ambiental	Portaria, salas, refeitório, vestiário, almoxarifado e sala de treinamento	Portaria, salas, refeitório, vestiário, almoxarifado e centro de educação ambiental	Portaria, salas, refeitório, vestiário e almoxarifado	Portaria, salas, refeitório, vestiário, almoxarifado e centro de educação ambiental
Acessos internos e iluminação	Todos os aterros sanitários possuem acesso interno por estrada não pavimentada e torre de iluminação para operação em período noturno.				

Fonte: Elaborado pelo autor, 2016.

Os aterros sanitários de grande porte e a CTR Macaé possuem horário de funcionamento estendido, devido ao plano de coleta dos municípios e clientes particulares. Já os aterros sanitários de pequeno e médio porte possuem horário de funcionamento normal, com expediente diário iniciado antes da chegada dos veículos e encerramento de forma a garantir a compactação e o recobrimento adequado dos resíduos recebidos.

Para controle de acesso e recebimento de resíduo, todas as unidades operacionais possuem infraestrutura e procedimento semelhantes. O controle de acesso de visitantes é realizado por um funcionário, responsável pela portaria da unidade. Este funcionário autoriza, ou não, a entrada de clientes, prestadores de serviços ou funcionários da unidade.

Além disso, na portaria ou próxima a ela, as unidades têm uma balança rodoviária com funcionários responsáveis pela verificação do tipo de resíduo a ser disposto e registro de suas informações. Para garantir este controle, é importante cercar a área de forma adequada. Os aterros sanitários visitados demonstraram que estão de acordo com as exigências descritas nas normas e manuais técnicos.

Em relação às instalações básicas, os aterros sanitários de grande porte apresentaram em sua infraestrutura, centros de educação ambiental para recepção de visitantes e para realização de treinamentos com funcionários e/ou prestadores de serviço. Esta é uma iniciativa muito interessante para obras civis desta categoria, uma vez que a população de maneira geral não tem conhecimento sobre sua operação e não apoia sua instalação.

Os acessos internos possuem as especificações técnicas de largura média de 4 a 6 metros e 10% de inclinação longitudinal máxima, com estrutura reforçada pelo uso de brita 4, cascalho, rachão e/ou resíduos da construção civil e até geossintéticos nos aterros sanitários de maior porte.

A iluminação é feita por meio de torres de iluminação, que garantem as condições de operacionalidade e segurança aos funcionários, equipamentos e responsáveis pelo transporte de resíduos. Todas as unidades mantêm geradores de energia para situações de emergência.

Descrição do procedimento operacional

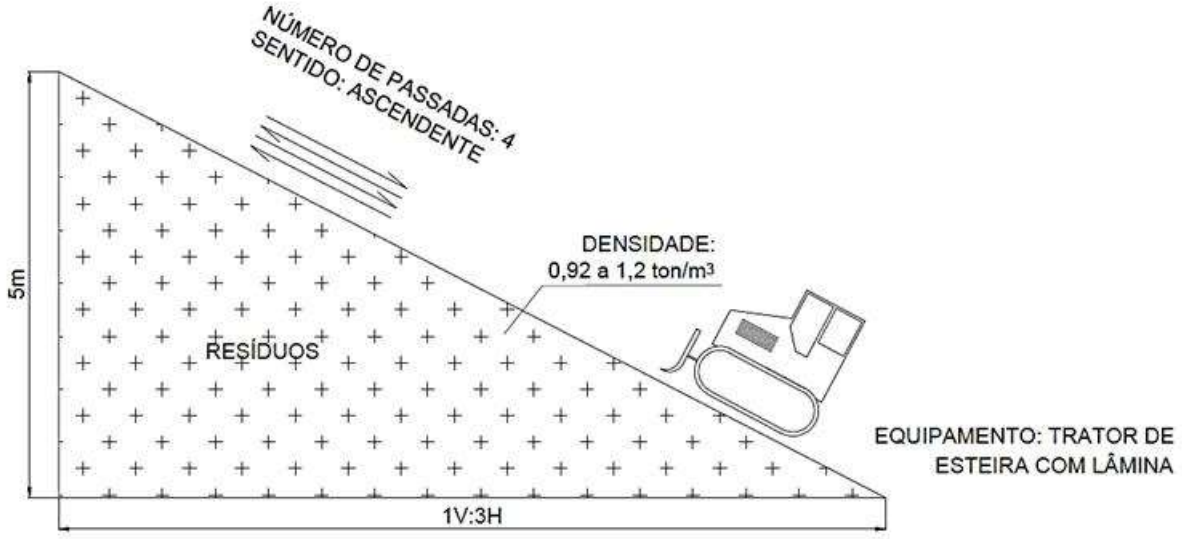
A execução das células de aterramento dos resíduos está fundamentada nas diretrizes operacionais básicas previamente estabelecidas. O método de operação identificado nos aterros sanitários estudados consiste nas etapas de descarregamento, espalhamento e compactação dos resíduos.

Para a etapa de descarregamento, foi verificada a necessidade de manter um funcionário para garantir a orientação dos motoristas dos veículos transportadores, indicando o local de descarga, abertura de caixa compactadora, entre outros. Este funcionário tem função de manobrista em todos os aterros sanitários.

Após algumas viagens descarregadas, os resíduos são espalhados na frente de trabalho e o processo de compactação se inicia. Esta etapa é muito importante, haja vista que ela garante a otimização da disposição e a melhoria das propriedades geomecânicas dos resíduos.

Foram identificados e escolhidos seis aspectos básicos de operação de aterros: altura da célula, inclinação adequada, equipamento utilizado, sentido da compactação, número de passadas e densidade do resíduo, conforme apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Esquema geral de operação identificado nos aterros sanitários



Fonte: Elaborado pelo autor, 2016.

Dos aspectos citados, a altura da célula e a inclinação adequada, quando aplicados na frente de trabalho, garantem eficiência na redução volumétrica do RSU.

A altura das células dos aterros sanitários estudados é de 5 m e a taxa de inclinação é da ordem de 1V:3H, conforme sugerido nas normas e manuais técnicos.

Quanto ao tipo e peso do equipamento utilizado no processo de compactação, foi identificado que o trator de esteira com lâmina é o equipamento empregado nos aterros sanitários e ele tem se apresentado como tipo de equipamento mais adequado para esta operação.

A forma de compactação observada nos aterros sanitários foi o sentido ascendente, ou seja, de baixo para cima. Este método de trabalho, quando realizado corretamente, garante uma concentração de peso do equipamento na parte traseira do sistema de esteiras e reduz o volume dos resíduos de forma mais eficiente.

O aspecto número de passadas, refere-se à quantidade de vezes que o equipamento passa sobre os resíduos, garantindo a compactação. O número de passadas indicada nos manuais técnicos é de 3 a 5 passadas, sendo que um menor número de passadas resulta na densidade mais baixa dos resíduos e um número maior garante uma compactação adicional pouco representativa. O número encontrado nas unidades operacionais estudadas varia de 4 a 6 passadas.

A densidade do resíduo compactado varia de acordo com o plano de operação, a facilidade de se compactar cada componente e a composição gravimétrica da massa de resíduos aterrada. O peso específico encontrado nos aterros sanitários varia de 0,9 a 1,2 t/m^3.

As principais vantagens da boa operação são: o aumento da vida útil, a redução da migração descontrolada do biogás e da vazão de lixiviado, o aumento da estabilidade do aterro, a possibilidade de tráfego imediato de veículos sobre o maciço e melhorias no aspecto estético da massa de resíduos aterrada.

De acordo com os funcionários responsáveis pela operação dos aterros sanitários, as principais dificuldades encontradas para a operação adequada são: operação em período chuvoso, taxa de compactação irregular, quebra de equipamento, ausência de mão de obra especializada e tratamento do lixiviado, devido ao alto custo.

Nos aterros sanitários estudados, foi possível observar que apenas o aterro sanitário de pequeno porte possui frente de trabalho alternativa para os dias de chuva, as demais unidades preparam a área para garantir que a sua operação se mantenha em funcionamento nestes dias. Este é um aspecto que aumenta muito a

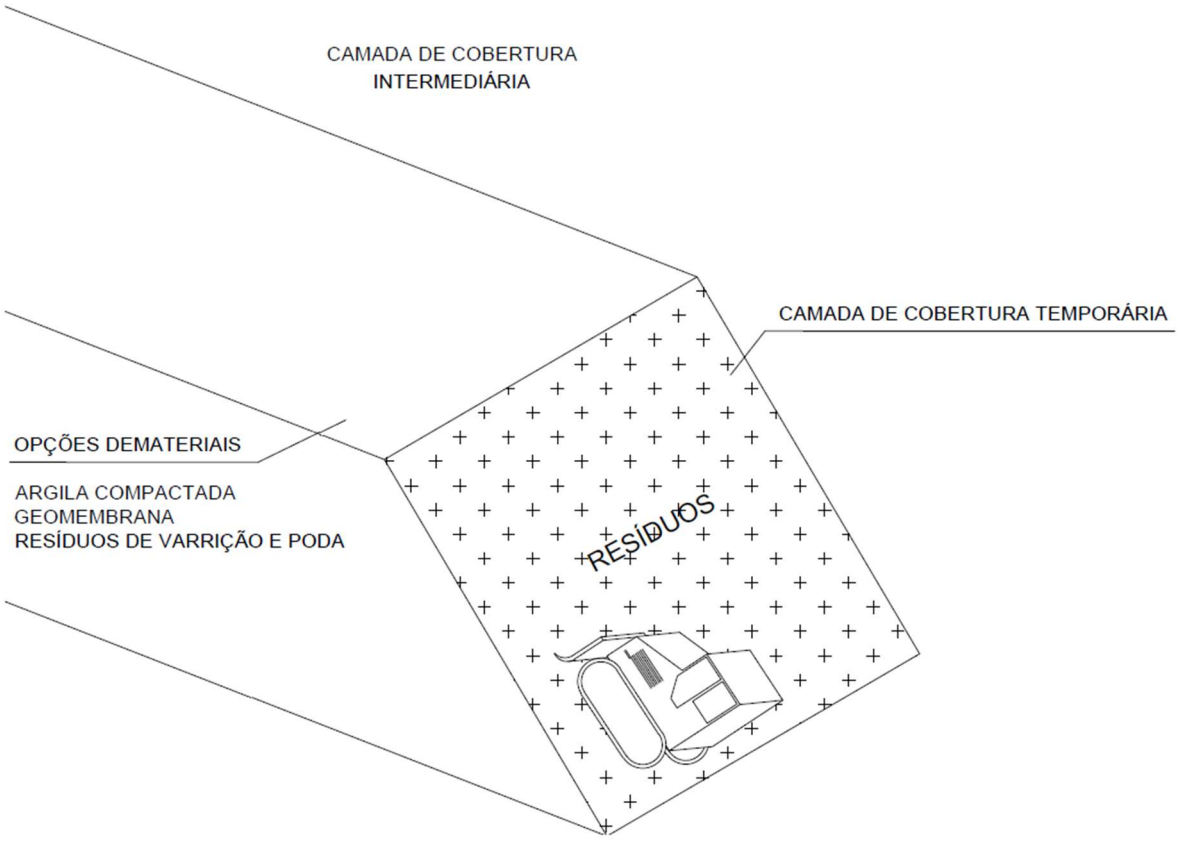
produtividade e a economia de matéria prima e recursos financeiros, quando previsto área alternativa para uso nestes períodos.

Devido à atividade mais intensa, a necessidade de frente de trabalho maior e o uso de equipamentos e recursos sempre de forma otimizada, os aterros sanitários de médio e grande porte justificam a ausência deste tipo de frente de trabalho alternativa para os dias de chuva.

Tipologia de material para cobertura intermediária e temporária

Existem dois tipos de coberturas aplicadas durante a operação de um aterro sanitário: a intermediária e a temporária, conforme indicado na Figura 3. Este tipo de cobertura é responsável por evitar a proliferação de vetores e a presença de animais, odores e outros malefícios.

Figura 3 – Tipos de coberturas e materiais utilizados, conforme monitoramento de aterros sanitários



Fonte: Elaborado pelo autor, 2016.

A cobertura temporária é exigida pelas normas e manuais técnicos, e deve ocorrer ao final de um dia de trabalho, garantindo que os resíduos compactados

sejam recobertos com uma camada de solo, conforme especificação do projeto. Para garantir o bom nível operacional, esta camada de solo deve ser retirada, antes do início da próxima jornada de trabalho, garantindo o contato entre os resíduos dispostos.

O Aterro Municipal de Itu garante a aplicação desta medida com argila compactada, sem monitoramento da espessura da camada, devido a seu porte e a quantidade de resíduos recebida diariamente. A CTR Macaé e os aterros sanitários de grande porte têm dificuldades de cumprir esta determinação, devido a grande rotatividade de veículos transportadores, que descarregam os resíduos sólidos na frente de trabalho.

Para garantir a cobertura diária dos resíduos sólidos, com a retirada posterior, a CTR Campos utiliza uma manta termoplástica. Esta técnica garante a viabilidade econômica desta medida.

A cobertura intermediária é pouco difundida nas normas e manuais técnicos e deve ser aplicada em situações especificas, tais como, em que a superfície exposta, fique inativa por períodos mais prolongados, de pelo menos um mês. Todos os aterros sanitários estudados~~,~~ cumprem esta medida.

No aterro de pequeno porte e na CTR Macaé o material utilizado para esta cobertura é argila compactada ou resíduos de varrição e poda. Na CTR Campos e nos aterros sanitários de grande porte foi identificado o uso de geomembrana, devido a sua resistência, pouca exigência de manutenção, diminuição da erosão e da geração de lixiviado.

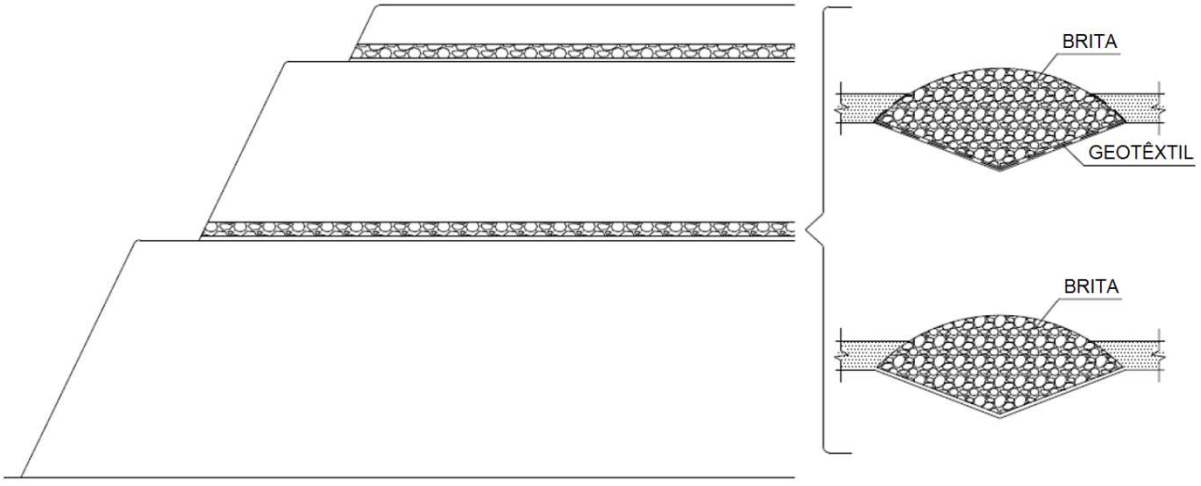
Sistemas de drenagem de lixiviado intermediário

Durante a operação do aterro sanitário, o processo de decomposição dos resíduos sólidos presentes nas células produz o lixiviado e ele deve ser drenado e tratado adequadamente, devido as suas características singulares. Para garantir a condução do lixiviado é previsto e implantado, nos projetos de aterros sanitários, um sistema de drenagem no início da obra (acima da camada de impermeabilização inferior).

Para otimizar essa coleta foi verificado nos aterros sanitários estudados, a implantação de um sistema de drenagem de lixiviados intermediário, projetado e construído entre as camadas de resíduos sólidos. Esta é uma medida, pouco

difundida nas normas e manuais técnicos e por isso as matérias primas utilizadas para construção desta estrutura variam de acordo com o projetista, conforme apresentado na Figura 4.

Figura 4 – Sistemas de drenagem de lixiviado intermediário, com duas opções de estrutura drenantes identificadas nos aterros sanitários



Fonte: Elaborado pelo autor, 2016.

O sistema de drenagem de lixiviado intermediário é implantado com estrutura simplificada e foram identificadas duas estruturas básicas para este tipo de componente de projeto. A estrutura projetada com uso de geotêxtil e brita (utilizado como material drenante) e a estrutura composta apenas de brita, para aterros de pequeno porte. O uso do geotêxtil é utilizado para evitar a colmatação dos drenos, de forma a garantir o bom funcionamento do sistema implantado.

Sistema de drenagem de água pluvial temporário

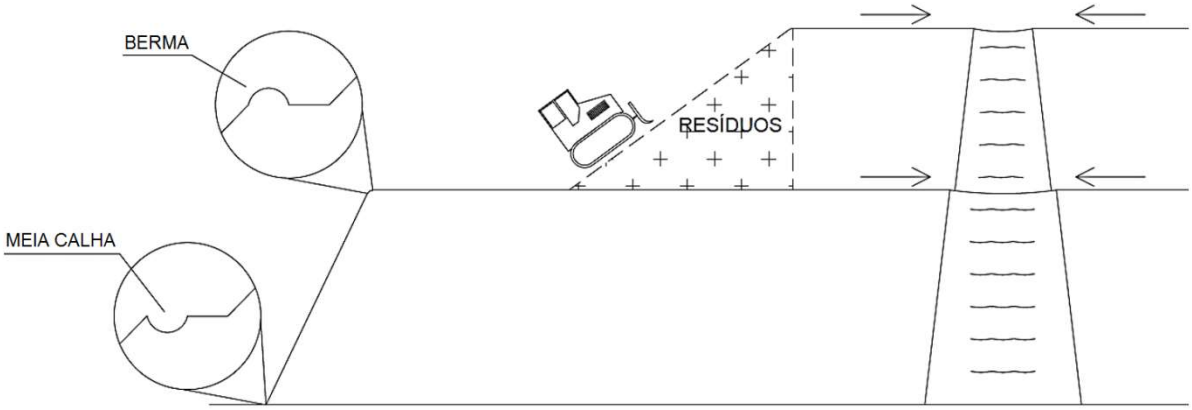
As águas superficiais, quando não conduzidas de maneira eficaz para os pontos de deságue previamente escolhidos, podem resultar no aumento da geração do lixiviado e da erosão dos taludes, além de comprometer as camadas de coberturas já implantadas.

Durante a operação, é necessário definir um sistema de drenagem de água pluvial, com a localização dos dispositivos temporários e permanentes para a

condução das águas superficiais. Existem os dispositivos permanentes, tais como a meia calha, inserida na base do aterro sanitário e os dispositivos temporários, que não podem ter a mesma configuração do dispositivo permanente, pois eles são implantados em áreas do aterro sanitário, que possuem uma previsão de ocupação com resíduo sólido, de acordo com o plano operacional.

Os dispositivos temporários, identificados nos aterros sanitários analisados, para drenagem foram: canaletas longitudinais e escadas d'água, conforme apresentado na Figura 5.

Figura 5 – Tipos de dispositivos temporários para drenagem de águas pluviais



Fonte: Elaborado pelo autor, 2016.

As canaletas longitudinais, também conhecidas como bermas, têm por finalidade coletar as águas pluviais que escoam nas superfícies dos taludes, já as escadas d'água são canais construídos, em forma de degraus nos taludes, com o objetivo de coletar e conduzir as águas superficiais, captadas pelas canaletas longitudinais, evitando que elas atinjam uma velocidade elevada de escoamento.

Para construção das bermas, em todos os aterros sanitários, usa-se a argila compactada e para implantação das escadas d'água, os aterros sanitários de médio e grande porte utilizam a geomembrana. Os aterros sanitários, de maneira geral, estão começando a priorizar o uso de matéria prima flexível para este tipo de projeto, devido ao menor custo e as grandes deformações que os aterros sanitários apresentam ao longo do tempo.

Plano de monitoramento ambiental e geotécnico

O plano de monitoramento ambiental e geotécnico tem como objetivo detectar potenciais impactos ambientais negativos, garantindo a implantação de medidas mitigadoras antes que estes assumam grandes proporções.

Para requisitos do plano de monitoramento ambiental, baseou-se nos seguintes itens: monitoramento do lixiviado, das emissões gasosas, das águas superficiais, das águas subterrâneas, controle da qualidade do ar e do solo, controle de ruído e verificação do cumprimento dos procedimentos de controle operacional e de manutenção (ABNT, 2010).

Nos aterros sanitários de pequeno e médio porte estudados, o monitoramento é realizado por consultoria especializada nos seguintes aspectos: monitoramento do lixiviado, do biogás, das águas subterrâneas, da qualidade do ar, do solo e controle de ruído. Os demais itens contemplados no plano de monitoramento ambiental são realizados por funcionários dos aterros sanitários, com exceção dos empreendimentos de grande porte que possuem parceria com consultoria para monitoramento de todos os itens listados.

O plano de monitoramento geotécnico consiste na verificação do controle de deslocamentos horizontais e verticais, da pressão do biogás na estrutura do aterro, do nível e da pressão do lixiviado e biogás no maciço, de vistorias periódicas, com o intuito de obter indícios de erosão e trincas, além do controle tecnológico dos materiais de construção empregados no aterro. Este tipo de monitoramento pode ser dispensado para aterros em valas ou de pequeno porte (IPT/CEMPRE, 2010).

Foi verificado, que a realização do monitoramento geotécnico é realizada por funcionários do aterro, no caso da CTR Campos e CTR Macaé. O monitoramento geotécnico nestas unidades é realizado apenas com a inspeção visual dos deslocamentos verticais e horizontais, buscando indícios de erosão e trincas.

Já o Aterro Municipal de Itu e os aterros sanitário de grande porte, garantem, em periodicidade definida, a realização deste monitoramento por meio de consultorias especializadas, que realizam visitas técnicas e elaboram relatórios mensais ou trimestrais, dependo da unidade operacional.

Pode-se afirmar, que a substituição de consultoria especializada pela mão de obra própria do aterro sanitário, para realização de monitoramentos simplificados, é

uma medida que garante a economia de recursos financeiros e que atualmente é aplicada apenas nos aterros sanitários de médio porte.

CONCLUSÕES

A análise desenvolvida nos aterros sanitários, fundamentada nos critérios operacionais, permitiu a identificação da perspectiva de padronização das etapas estudadas. Com relação à infraestrutura, todos os aterros sanitários apresentaram controle de acesso e de recebimento de resíduos. Os acessos internos são realizados em estrada não pavimentada e o aspecto diferenciado são os Centros de Educação Ambiental, identificados nos aterros sanitários de grande porte.

O procedimento operacional identificado nos aterros sanitários estudados está de acordo com as diretrizes de normas e manuais técnicos, respeitando as orientações no processo de descarga, espalhamento e compactação. O equipamento utilizado na etapa de compactação é o trator de esteira, o número de passadas oscila entre 4 a 6 passadas e a densidade dos resíduos confinados varia de 0,9 a 1,2 t/m^3.

Quanto à cobertura temporária e provisória e o escoamento das águas superficiais, foi detectado o uso de geomembrana, como alternativa ao uso de solo, melhorando a viabilidade econômica desta fase. Para drenagem de lixiviado, foi identificada, como aspecto pouco difundido nas normas e manuais técnicos, a implantação de sistema de drenagem intermediário, para garantir a condução do lixiviado gerado entre as camadas de resíduo compactado.

O monitoramento ambiental e geotécnico dos aterros sanitários de grande porte e do Aterro Municipal de Itu é realizado por meio da contratação de consultoria especializada. Nos aterros de médio porte, parte deste monitoramento é realizado por funcionários da unidade, de modo a garantir a economia de recursos financeiros, sendo contratada consultoria especializada, apenas em itens específicos.

As principais dificuldades identificadas para operação de aterros sanitários são: operação em períodos chuvosos, garantia da boa compactação para evitar problemas com acesso, paragem de equipamento por motivo de quebra, ausência de mão de obra especializada e o tratamento de lixiviado, devido ao alto custo.

Neste contexto, foi verificado que a operação de um aterro sanitário depende muito da experiência dos encarregados e operadores. O presente trabalho indicou

ganhos na operação, com a identificação de novas alternativas, soluções e aprimoramentos das técnicas já aplicadas, de modo a garantir a viabilidade econômica e a eficiência operacional dos aterros sanitários durante sua vida útil.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 8419/1992:* Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro, 1992.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15849/2010:* Resíduos sólidos urbanos – Aterros sanitários de pequeno porte – Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento. Rio de Janeiro, 2010.

CATAPRETA, C. *Comportamento de um aterro sanitário experimental:* avaliação da influência do projeto, construção e operação. 2008. 316 f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais, 2008.

CAREY, P.; CARTY, G.; DOLON, B.; HOWLEY, D.; NEALON, T. *Landfill manuals:* Landfill site design. Ireland: Environmental Protection Agency, 2010. 154 p.

CHRISTENSEN, T.H., COSSU, R., STEGMAN, R. *Problems and Strategies in Leachate Management.* In: Management and Treatment of MSW Landfill Leachate – International Treaning Seminar, 1998. Italy.

GOOGLE EARTH. Disponível em: <http://earth.google.com/intl/pt/>. Acesso em: 20 nov. 2015.

IKEGUCHI, T. *Progress in sanitary landfill technology and regulations in Japan:* A review. *Waste Management & Research*, v. 12, p. 109-127, 1994.

ISWA – INTERNATIONAL SOLID WASTE ASSOCIATION. *Landfill Operational Guidelines.* January, 2010.

IPT/CEMPRE – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS E COMPROMISSO EMPRESARIALCOM A RECICLAGEM. *Lixo Municipal*: Manual de Gerenciamento Integrado. 3 ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2010. 350 p.

KAJINO, L. *Estudo de viabilidade de implantação, operação e monitoramento de aterros sanitários:* uma abordagem econômica. 2005. 140 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial. Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2005.
LUZ, F. X. R. Aterro Sanitário. São Paulo: CETESB, 1976.

NUCASE – Núcleo Sudeste de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental. Resíduos sólidos: projeto, operação e monitoramento de aterros sanitários. Ministério das Cidades – Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Belo Horizonte: ReCESA, 2008. 120 p.

O'LEARY, P.R., TCHOBANOGLOUS, G. Landfilling – Chapter 14. Handbook of Solid Waste Management. Digital Engineering Library @ McGraw-Hill (www.digitalengineeringlibrary.com), USA, 2004.

ROBERTS, A.; HORLYCK, C.; DEVER, S. The importance and value of good landfill planning. In: FOURTEENTH INTERNATIONAL WASTE MANAGEMENT AND LANDFILL SYMPOSIUM, Proceedings Sardinia, 2013, Italy: 30 September – 4 October, 2013.

TCHOBANOGLOUS, G., THEISEN, H., VIGIL, S. *Integrated Solid Waste Management:* Engineering Principles and Management Issues. McGrall-Hill, inc. 1993. 978 p.

5. CONCLUSÃO

A análise desenvolvida nos cinco aterros sanitários, fundamentada nos aspectos estruturais e critérios operacionais, permitiu a identificação da perspectiva de padronização das etapas estudadas. Com isso, obteve-se uma compreensão mais satisfatória sobre as questões contempladas nas etapas de construção e operação de aterros sanitários.

A avaliação executada em aterros sanitários selecionados, de acordo com a correlação dos critérios de localização, abrangência, quantidade de resíduo disposto, porte, método construtivo e responsabilidade de operação, permitiu a coleta, identificação e análise de informações, de forma mais assertiva.

Os aterros sanitários são operados no método área ou rampa, que pouco se diferenciam, quando considerado os procedimentos operacionais, e todas as unidades são operadas por empresas terceirizadas, evidenciando a tendência de terceirização do setor. De acordo com as informações obtidas durante a execução do projeto de pesquisa, os cinco aterros sanitários avaliados foram projetados e construídos, considerando os aspectos técnicos estabelecidos nas normas e nos manuais técnicos.

Quando considerada a caracterização local e a infraestrutura básica dos aterros sanitários, todas as unidades apresentaram o controle de acessos e do recebimento de resíduos, o aspecto diferenciado é a implantação de centros de educação ambiental, identificados nos aterros de grande porte e por fim, todos os aterros sanitários possuem uma jazida própria com argila de baixa permeabilidade, garantindo a viabilidade econômica desta obra de engenharia.

Foi verificado que, nos aterros sanitários de grande porte, os acessos principais são pavimentados e nos aterros sanitários de pequeno e médio porte não são pavimentados. Além disso, independente do porte da unidade operacional, nos aterros sanitários de pequeno e médio porte os acessos internos são feitos em estrada não pavimentada.

Em relação à vida útil dos aterros sanitários, todas as unidades analisadas foram projetadas com vida útil superior a 15 anos, conforme indicado nas normas e manuais técnicos. Outro fator importante para viabilidade econômica do projeto é a distância mínima e máxima dos centros urbanos e apenas os aterros localizados no

Estado de São Paulo apresentaram localização distinta, do que se encontra sugerido na bibliografia.

Nos aterros sanitários de pequeno e médio porte, os sistemas de impermeabilização de base identificados são simplificados e nos aterros de grande porte são sistemas compostos, com camadas de controle e monitoramento para detecção de vazamentos. Na CTR Rio foi verificado o uso de um geocomposto bentonítico (GCL), substituindo a camada de argila do projeto.

Para o sistema de impermeabilização superior, na etapa de plantio de vegetação, usa-se grama de duas espécies: Paspalum Notatum (Batatais) e Zoysia Japonica (Esmeralda), cujas características de comercialização em formato de placas, de cultivo a pleno sol, mesmo que em solos pobres, com regas regulares, facilitam sua manutenção e cultivo.

A configuração em planta dos sistemas de drenagem de lixiviado foi o aspecto que mais se diferenciou. Foram identificados os modelos de projeto espinha de peixe e malha paralela nos aterros localizados no estado do Rio de Janeiro, já o sistema colchão drenante, foi localizado nos aterros localizados no Estado de São Paulo. Isto se dá, devido a menor quantidade de insumos necessários para construção do projeto da estrutura espinha de peixe/malha paralela, pois ela se apresenta como a opção de menor custo de implantação e eficiência, quando comparado ao colchão drenante.

Foi encontrada nos aterros sanitários, a implantação de um sistema de drenagem de lixiviado intermediário. Esta é uma etapa não prevista em manuais e normas técnicas e é importante para a boa operação, devido à otimização da condução do lixiviado gerados entre as camadas de resíduo compactado. O lixiviado drenado é encaminhado para lagoas de acumulação e tratamento posterior em Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário (tratamento combinado) ou em Estação de Tratamento de Chorume, no caso da CTR Rio.

No sistema de drenagem de emissões gasosas, a base de concreto utilizada em todos os aterros sanitários, para garantir a estabilidade da estrutura vertical é um aspecto inovador e que não está descrito nas normas e manuais técnicos. A estrutura vertical é elaborada de acordo com o tipo de tratamento dado ao biogás gerado. Nos aterros de grande porte a estrutura é formada por drenos de PEAD, com cabeçote para controle de vazão e tratamento para geração de energia. Nos

demais aterros, a sua estrutura é composta por manilha de concreto armado perfurado, com flare na sua terminação, para garantir a queima espontânea.

A geocélula, estrutura identificada como sistema de drenagem de águas pluviais no aterro sanitário de Itu, é outro aspecto inovador, não previsto em normas e manuais aplicáveis, complementado por estruturas de berma e meia calha nos limites do talude. Para garantir o escoamento das águas superficiais durante a operação do aterro sanitário, foi identificado o uso de geomembrana, substituindo o solo compactado com caimento preferencial como sistema de drenagem provisório.

O procedimento operacional identificado nos aterros sanitários está de acordo com as diretrizes de normas e manuais técnicos, respeitando as orientações nos processos de descarga, espalhamento e compactação. O equipamento utilizado na etapa de compactação é o trator de esteira, o número de passadas oscila entre 4 a 6 passadas e a densidade dos resíduos confinados varia de 0,9 a 1,2 t/m^3. Quanto à cobertura temporária foi detectado o uso de geomembrana, como alternativa ao uso de solo, melhorando a viabilidade econômica desta etapa.

As principais dificuldades identificadas para operação de aterros sanitários são: operação em períodos chuvosos, garantia da boa compactação para evitar problemas com acesso, paragem de equipamento por motivo de quebra, ausência de mão de obra especializada e o tratamento de lixiviado, devido ao alto custo.

O monitoramento ambiental e geotécnico dos aterros sanitários de grande porte e do Aterro Municipal de Itu é realizado por meio da contratação de consultoria especializada. Já nos aterros sanitários de médio porte, parte deste monitoramento é realizado por funcionários da unidade, de modo a garantir a economia de recursos financeiros, sendo contratada consultoria especializada, apenas em itens específicos.

Neste contexto, os resultados obtidos no presente trabalho proporcionaram a identificação de alternativas para a construção e operação de aterros sanitários, de modo a garantir que as técnicas já adequadas, implantadas e aprovadas sejam propagadas, a fim de assegurar a otimização, a viabilidade econômica, a estabilidade estrutural, a segurança e a eficiência operacional dos aterros sanitários durante sua vida útil e, sobretudo, a mitigação dos impactos ambientais.

REFERÊNCIAS

AIVALIOTIS, V.; DOKAS, I.; HATZIGIANNAKOU, M.; PANAGIOTAKOPOULOS, D. Functional relationships of landfill and landraise capacity with design and operation parameters. *Waste Management & Research*, United Kingdom, v. 22, p. 283-290, April, 2004.

ANDRADE, S. M. A. Caracterização físico-química e tratabilidade por coagulação/floculação dos líquidos percolados gerados no aterro sanitário de Uberlândia-MG. 2002. 182 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2002.

ABRELPE – ASSOCIAÇÃOBRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil.* São Paulo: ABRELPE, 2014. 112 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 8419/1992:* Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10004/2004:* Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10006/2004:* Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10007/2004:* Amostragem de Resíduos. Rio de Janeiro, 2004.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15849/2010:* Resíduos sólidos urbanos – Aterros sanitários de pequeno porte – Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento. Rio de Janeiro, 2010.

BENATTI, J.; LEME, M.; MIGUEL, M. Concepção, projeto e construção de célula experimental de grandes dimensões para estudo de recalques em aterros sanitários. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 17., 2014, Goiânia. Artigo... Campinas: UNICAMP, 2014. Disponível em: <http://www.cobramseg2014.com.br/anais/2012/arquivos/2012.101.pdf>. Acesso em: 16 fev. 2016.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, DF, 5 out. 1988.

BRASIL. Lei n° 6.938, de 31 de agosto de 1981. Institui a Política Nacional do Meio Ambiente. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, DF, 31 ago. 1981.

BRASIL. Lei n°9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, DF, 12 set. 1998.

BRASIL. Lei n° 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, e dá outras providências. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, DF, 2 ago. 2010.

BRASIL. Resolução CONAMA n°237, de 19 de dezembro de 1997. Dispõe sobre a revisão e complementação dos procedimentos e critérios utilizados para o licenciamento ambiental. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, DF, 19 dez. 1997.

CATAPRETA, C. *Comportamento de um aterro sanitário experimental:* avaliação da influência do projeto, construção e operação. 2008. 316 f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais, 2008.

CATTERPILAR. *Manual de gerenciamento de resíduos*. Washington, 2001.

CAREY, P.; CARTY, G.; DOLON, B.; HOWLEY, D.; NEALON, T. *Landfill manuals:* Landfill site design. Ireland: Environmental Protection Agency, 2010. 154 p.

CETESB – COMPANHIADE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. *Aterros Sanitários em Valas:* Apostilas Ambientais. São Paulo: Secretaria do Estado do Meio Ambiente, 1997. 34 p.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Inventário estadual de resíduos sólidos urbanos 2014. São Paulo: Secretaria do Estado do Meio Ambiente, 2015. 126 p.

CHRISTENSEN, T.H., COSSU, R., STEGMAN, R. Problems and Strategies in Leachate Management. In: MANAGEMENT AND TREATMENT OF MSW LANDFILL LEACHATE – INTERNATIONAL TREANING SEMINAR, Italy, 1998.

DER – DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÂO PAULO. *Manual de Geotecnia – Talude para Rodovias:* Orientação para Diagnóstico e Soluções de seus Problemas. São Paulo. 1991. 390 p.

EPA. Variation to the Best Practice Environmental Management: Siting, Design, Operation and Rehabilitation of Landfills. *Victorian Government Gazette.* v. 788, October, 2014.

ERSOY, H., BULUT, B. *Landfill site requirements on the rock environment:* A case study. Engineering Geology, Turkey, v. 154, p. 20-35, 2013.

EUROPEAID. Waste Governance – ENPI East: Landfill Operations Guidance Manual. Bruxelas, 2010.

FAKHER, A. Experimental study on the compaction of waste. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON ENVIRONMENTAL GEOTECHNICS, 5., 2006, Cardiff. *Proceedings*… Cardiff, 2006.

FASSET, J. B.; LEONARDS, G. A.; Y REPETTO, P. C. Geotechnical properties of municipal solid wastes and their use in landfill design. In: LANDFILL TECHNOLOGY CONFERENCE – WASTETECH '94, 1994, Charleston. *Proceedings*... Charleston: National Solid Waste Management Association, 1994.

GOMES, L. P.; CONCEIÇÃO, D. C.; FLECK, A. Avaliação dos recalques em sistemas piloto de aterramento de resíduos sólidos urbanos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIASANITÁRIA E AMBIENTAL, 19., 1997, Foz do Iguaçu. *Anais*... Rio de Janeiro: ABES, 1997.

GOOGLE EARTH. Disponível em: <http://earth.google.com/intl/pt/>. Acesso em: 20 nov. 2015.

HAMADA, J.; MANCINI, S. *Disciplina da graduação em engenharia ambiental:* Chorume e biogás de aterros sanitários. Sorocaba: UNESP, 2012. Disponível em: <http://www.sorocaba.unesp.br/Home/Graduacao/EngenhariaAmbiental/SandroD.Mancini/chorume-biogas.pdf>. Acesso em: 15 out. 2015.

HOGLAND, W. Landfilling: First preliminary version. Waste Management and Recovery. Sweden: Lund Institute of Technology, 1994.133 p.

IWAI, K. Tratamento de chorume através de percolação em solos empregados como material de cobertura de aterros para resíduos sólidos urbanos. 2005. 205 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia da UNESP, Bauru, 2005.

IKEGUCHI, T. *Progress in sanitary landfill technology and regulations in Japan:* A review. *Waste Management & Research*, v. 12, p. 109-127, 1994.

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. *Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos.* Brasília, 2012.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA. *Pesquisa Nacional do Saneamento Básico – PNSB – 2008*. Brasília, 2010.

IPT/CEMPRE – INSTITUTODE PESQUISAS TECNOLÓGICAS E COMPROMISSO EMPRESARIAL COM A RECICLAGEM. *Lixo Municipal*: Manual de Gerenciamento Integrado. 3 ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2010. 350 p.

ISWA – INTERNATIONAL SOLID WASTE ASSOCIATION. *Landfill Operational Guidelines.* January, 2010.

JUCÁ, J. F. T. et al. Análise das diversas tecnologias de tratamento e disposição final de resíduos sólidos urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão. Pernambuco: FADE/UFPE, Grupo de Resíduos Sólidos, 2013. 186 p. Relatório técnico.

KAJINO, L. *Estudo de viabilidade de implantação, operação e monitoramento de aterros sanitários:* uma abordagem econômica. 2005. 140 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial. Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2005.

LANER, D.; CREST, M.; SCHARFF, H.; MORRIS, J.; BARLAZ, M. A review of approaches for the long-term management of municipal solid. *Elsevier Ltd*, v. 32, p. 498-512, December, 2011.

LANGE, L.C., Amaral, M.C.S. Geração e Características do Lixiviado. In: Resíduos Sólidos – Estudos de Caracterização e Tratabilidade de Lixiviados de Aterros Sanitários para as Condições Brasileiras – Coordenação: Gomes, L.P. Rio de Janeiro: ABES, 2009. Projeto PROSAB.

LUZ, F. X. R. Aterro Sanitário. São Paulo: CETESB, 1976.

MARQUES, A. C. M. Compactação e compressibilidade de resíduos sólidos urbanos. 2001. 469 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Geotecnia. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

MARQUES, F. Avaliação dos procedimentos de operação em aterros sanitários no Estado do Rio de Janeiro. 175 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. *Programa Nacional de capacitação de gestores ambientais:* Módulo específico licenciamento ambiental de estações de tratamento de esgoto e aterros sanitários. Brasília: MMA, 2009. 67p.

MONTAÑO M.; RANIERI, V.; SCHALCH, V.; FONTES, A.; CASTRO, M.; SOUZA, M. Integração de critérios técnicos, ambientais e sociais em estudos de alternativas locacionais para implantação de aterro sanitário. Eng. Sanit. Ambient., Brasil, v. 17, n.1, p. 61 a 70, Jan/Mar, 2012.

MONTEIRO, J. P. et al. *Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos.* Rio de Janeiro: IBAM, 2001. 200 p.

NUCASE – Núcleo Sudeste de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental. Resíduos sólidos: projeto, operação e monitoramento de aterros sanitários. Ministério das Cidades – Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Belo Horizonte: ReCESA, 2008. 120 p.

O'LEARY, P. R., TCHOBANOGLOUS, G. Landfilling – Chapter 14. Handbook of Solid Waste Management. Digital Engineering Library @ McGraw-Hill (www.digitalengineeringlibrary.com), USA, 2004.

PEREIRA, A. Desenvolvimento de um indicador para avalição de desempenho de aterros de resíduos sólidos urbanos. 2005. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

ROBERTS, A.; HORLYCK, C.; DEVER, S. The importance and value of good landfill planning. In: FOURTEENTH INTERNATIONAL WASTE MANAGEMENT AND

LANDFILL SYMPOSIUM, Proceedings Sardinia, 2013, Italy: 30 September – 4 October, 2013.

ROCCA, A. C. et al. Resíduos Sólidos Industriais. 2 ed. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. São Paulo: CETESB, 1993. 233 p.

ROWE, R. K., Yu, Y. Clogging of finger drain systems in MSW landfills. Waste Management, v.32, Issue 12.

VAN ELK, A. G. *Redução de emissões na disposição final*. Rio de Janeiro: IBAM, 2007. 40 p.

VARGAS, A. Avaliação de lixiviados de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos situados nos estados do Rio de Janeiro e Santa Catarina. 2013. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

TCHOBANOGLOUS, G., THEISEN, H., VIGIL, S. *Integrated Solid Waste Management:* Engineering Principles and Management Issues. McGrall-Hill, inc. 1993. 978 p.

APÊNDICE A – Formulário aplicado nos aterros sanitários visitados

FORMULÁRIO APLICADO NOS ATERROS SANITÁRIOS VISITADOS Programa de Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental Responsável: Eng.ª Daniela Freitas Ribeiro	

1. OBJETIVO

Este formulário visa estabelecer um roteiro descritivo, que compreenda os aspectos estruturais, operacionais e de tratamento de lixiviado, desenvolvidos em aterros sanitários.

2. APLICAÇÃO

Este formulário é aplicável aos aterros sanitários indicados, de acordo com a proposta da pesquisa acadêmica.

3. REFERÊNCIAS

NBR 8419 – Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos.

NBR 13896 – Aterros de Resíduos Não Perigosos – Critérios para Projeto, Implantação e Operação.

NBR 15849 – Resíduos Sólidos Urbanos – Aterros sanitários de pequeno porte – Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento.

4. DESCRIÇÃO DO EMPREENDIMENTO

INFORMAÇÕES CADASTRAIS
NOME:
SIGLA:
CNPJ:
ENDEREÇO:
TELEFONE:
SITE:
E-MAIL:
LICENÇA AMBIENTAL:
CERTIFICAÇÃO:
CONTATO
NOME DO REPRESENTANTE DA ORGANIZAÇÃO:
CARGO DO REPRESENTANTE:
TELEFONE:
E-MAIL:

ÁREA ADMINSTRATIVA
BALANÇA RODOVIÁRIA:
CONTROLE DE ACESSO:
SALAS ADMINISTRATIVAS:
REFEITÓRIO:
ALMOXARIFADO:
OUTROS:
CARACTERÍSTICAS DO RESÍDUO A SER DISPOSTO NO ATERRO SANITÁRIO
TIPOS DE RESÍDUO:
ORIGEM:
QUANTIDADE DIÁRIA E MENSAL POR TIPO:
FREQUÊNCIA E HORÁRIO DE RECEBIMENTO:
CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL
VIDA ÚTIL DO ATERRO SANITÁRIO:
ZONEAMENTO DA REGIÃO:
MÉTODO CONSTRUTIVO:
GEOLOGIA E SOLOS EXISTENTES:
TIPO DE ACESSO:
DISTÂNCIA DE NÚCLEOS POPULACIONAIS:

4.1 ASPECTOS ESTRUTURAIS

IMPERMEABILIZAÇÃO DO ATERRO SANITÁRIO
INFERIOR
MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO:
ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO:
SUPERIOR
MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO:
ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO:
PLANTIO DE GRAMA:
SISTEMA DE DRENAGEM E REMOÇÃO DE LIXIVIADO
MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO:
ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO:
LAGOAS DE ACUMULAÇÃO:
TIPO DE TRATAMENTO:
ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DE LIXIVIADO:
SISTEMA DE DRENAGEM DE EMISSÕES GASOSAS
MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO:
ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO:
TIPO DE TRATAMENTO:
ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DE BIOGÁS:
MONITORAMENTO DA COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS:
SISTEMA DE DRENAGEM DE ÁGUA PLUVIAL
MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO:
ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO:

4.2 ASPECTOS OPERACIONAIS

CARACTERÍSTICAS DO LOCAL DE DISPOSIÇÃO
DESCRIÇÃO DO PROCEDIMENTO OPERACIONAL:
MODO E TAXA DE COMPACTAÇÃO/ESPALHAMENTO:
EQUIPAMENTOS UTILIZADOS:
DENSIDADE DO RESÍDUO:
DETALHAMENTO FRENTE DE TRABALHO
- ALTURA ESTIMADA DA CÉLULA:
CONTROLE DE VETORES:
MANUTENÇÃO DE ACESSOS:
PROCEDIMENTO ESPECÍFICO PARA DIAS DE CHUVA:
MATERIAL DE COBERTURA PROVISÓRIA
FREQUÊNCIA:
MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO:
ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO:
REMOÇÃO POSTERIOR:
SISTEMA DE DRENAGEM E REMOÇÃO DE LIXIVIADO INTERMEDIÁRIO
MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO:
ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO:
SISTEMA DE DRENAGEM DE ÁGUA PLUVIAL PROVISÓRIA
MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO:
ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO:
SISTEMA DE MONITORAMENTO AMBIENTAL E GEOTÉCNICO

5. PRINCIPAIS DIFICULDADES PARA OPERAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS

APÊNDICE B – Formulário aplicado na CTR Campos

FORMULÁRIO APLICADO NOS ATERROS SANITÁRIOS VISITADOS Programa de Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental Responsável: Eng.ª Daniela Freitas Ribeiro	

1. OBJETIVO

Este formulário visa estabelecer um roteiro descritivo, que compreenda os aspectos estruturais, operacionais e de tratamento de lixiviado, desenvolvidos em aterros sanitários.

2. APLICAÇÃO

Este formulário é aplicável aos aterros sanitários indicados, de acordo com a proposta da pesquisa acadêmica.

3. REFERÊNCIAS

NBR 8419 – Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos.

NBR 13896 – Aterros de Resíduos Não Perigosos – Critérios para Projeto, Implantação e Operação.

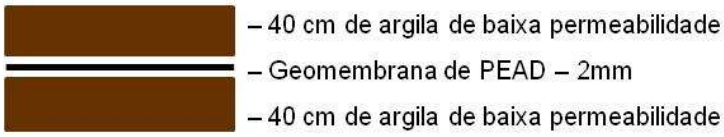
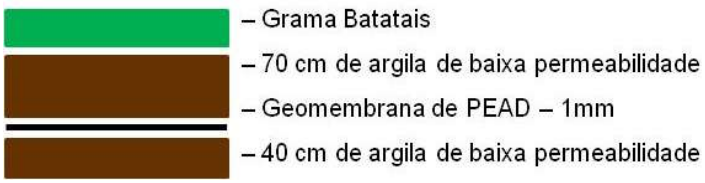
NBR 15849 – Resíduos Sólidos Urbanos – Aterros sanitários de pequeno porte – Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento.

4. DESCRIÇÃO DO EMPREENDIMENTO

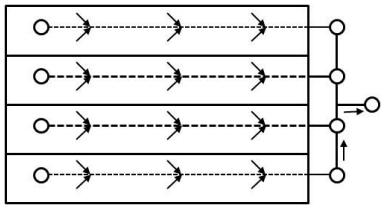
INFORMAÇÕES CADASTRAIS
NOME: Vital Engenharia Ambiental SA – Grupo Queiroz Galvão
SIGLA: CTR Campos
CNPJ: 02.536.066/0003-98
ENDEREÇO: Fazenda Nova Gaivota – BR 101, Km 35,5 – Conselheiro Jossino – Campos dos Goytacazes/RJ
TELEFONE: (22) 2748-8200/8201/8202
SITE: www.vitalengenharia.com.br
E-MAIL: aline.muri@vitalambiental.com.br
LICENÇA AMBIENTAL: IN 3287
CERTIFICAÇÃO: -
CONTATO
NOME DO REPRESENTANTE DA ORGANIZAÇÃO: Renan Ribeiro Mothe
CARGO DO REPRESENTANTE: Gerente Operacional
TELEFONE: -
E-MAIL: rmonthe@vitalambiental.com.br

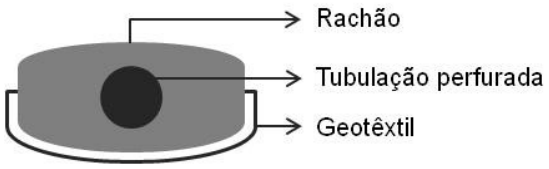
ÁREA ADMINSTRATIVA
BALANÇA RODOVIÁRIA: Sim
CONTROLE DE ACESSO: Sim
SALAS ADMINISTRATIVAS: Sim
REFEITÓRIO: Sim
ALMOXARIFADO: Sim
OUTROS: Centro de Educação Ambiental
CARACTERÍSTICAS DO RESÍDUO A SER DISPOSTO NO ATERRO SANITÁRIO
TIPOS DE RESÍDUO: RSU – Classe IIA
ORIGEM: Dos municípios Campos dos Goytacazes, São Francisco de Itabapoã, São João da Barra, Laje do Muriaé e Miracema.
QUANTIDADE DIÁRIA E MENSAL POR TIPO: 530 t/dia e 14.000 t/mês
FREQUÊNCIA E HORÁRIO DE RECEBIMENTO: Segunda-feira a sábado, das 8 às 18 horas.
CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL
VIDA ÚTIL DO ATERRO SANITÁRIO: 30 anos
ZONEAMENTO DA REGIÃO: Rural
MÉTODO CONSTRUTIVO: Área
GEOLOGIA E SOLOS EXISTENTES: Jazida própria de argila, de baixa permeabilidade.
TIPO DE ACESSO: Acesso principal e interno por via não pavimentada.
DISTÂNCIA DE NÚCLEOS POPULACIONAIS: 3km (mínimo) / 30 km (máximo)

4.1 ASPECTOS ESTRUTURAIS

IMPERMEABILIZAÇÃO DO ATERRO SANITÁRIO
INFERIOR
MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO: Jazida própria de argila, de baixa permeabilidade e geomembrana de polietileno de alta densidade (PEAD) – 2 mm.
ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO: 
SUPERIOR
MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO: Jazida própria de argila, de baixa permeabilidade, geomembrana de polietileno de alta densidade (PEAD) – 1 mm e vegetação.
ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO: 
PLANTIO DE GRAMA: Sim, Grama Batatais, da espécie Paspalum Notatum.
SISTEMA DE DRENAGEM E REMOÇÃO DE LIXIVIADO
MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO: Geotêxtil, tubo perfurado de PEAD de 6 polegadas e pedra de mão (rachão).

ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO: Configuração em planta – Malha Paralela





LAGOAS DE ACUMULAÇÃO: Sim

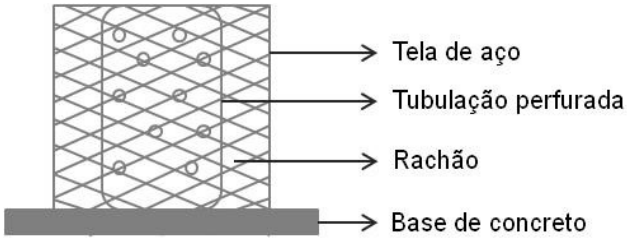
TIPO DE TRATAMENTO: Tratamento combinado em estação de tratamento de esgoto sanitário.

ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DE LIXIVIADO: 15m^3/dia (período seco) e 45m^3/dia (período chuvoso).

SISTEMA DE DRENAGEM DE EMISSÕES GASOSAS

MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO: Base de concreto (1,2 x 1,2 m), manilha de concreto armado furada (60 cm de diâmetro), pedra de mão (rachão) e tela de aço.

ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO:



TIPO DE TRATAMENTO: Queima espontânea em flare.

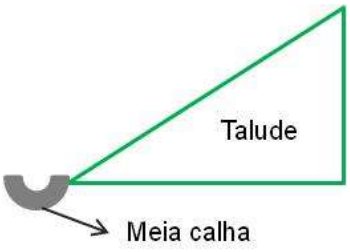
ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DE BIOGÁS: -

MONITORAMENTO DA COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS: -

SISTEMA DE DRENAGEM DE ÁGUA PLUVIAL

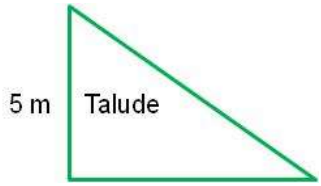
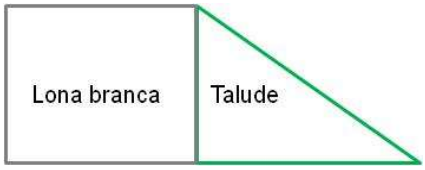
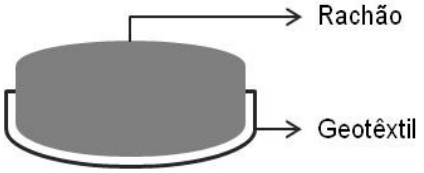
MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO: Geotêxtil, meia calha e colchão Reno.

ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO:



4.2 ASPECTOS OPERACIONAIS

CARACTERÍSTICAS DO LOCAL DE DISPOSIÇÃO
DESCRIÇÃO DO PROCEDIMENTO OPERACIONAL: Descarga na praça de operação, espalhamento e compactação (proteção de tela para evitar espalhamento de sacolas e outros resíduos leves).
MODO E TAXA DE COMPACTAÇÃO/ESPALHAMENTO: Compactação de baixo para cima com 4 passadas.
EQUIPAMENTOS UTILIZADOS: Trator de esteira, retroescavadeira, caminhão basculante, caminhão pipa e rolo compactador.
DENSIDADE DO RESÍDUO: 1,2 t/m^3
DETALHAMENTO FRENTE DE TRABALHO

- ALTURA ESTIMADA DA CÉLULA: 
CONTROLE DE VETORES: No dia da visita, não foi evidenciada a presença de moscas e urubus e foi identificado o uso de placa metálica, nas cores vermelha e amarela, com produto químico na superfície, como medida preventiva a este aspecto.
MANUTENÇÃO DE ACESSOS: Esta manutenção é feita por meio de compactação de argila, adicionado de pedra de mão (rachão).
PROCEDIMENTO ESPECÍFICO PARA DIAS DE CHUVA: Não existe área especifica para dias de chuva, mas há um procedimento de preparo de área e de acesso para estes casos.
MATERIAL DE COBERTURA PROVISÓRIA
FREQUÊNCIA: Diária
MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO: Lona de sacrifício branca para cobertura intermediária e argila compactada para cobertura temporária
ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO: 
REMOÇÃO POSTERIOR: Sim
SISTEMA DE DRENAGEM E REMOÇÃO DE LIXIVIADO INTERMEDIÁRIO
MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO: Geotêxtil e pedra de mão (rachão).
ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO: Mantém a configuração em planta 
SISTEMA DE DRENAGEM DE ÁGUA PLUVIAL PROVISÓRIA
MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO: Argila compactada
ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO: Implantação feita com caimento para drenos principais (gabião).
SISTEMA DE MONITORAMENTO AMBIENTAL E GEOTÉCNICO
O monitoramento ambiental é feito por funcionários, conforme necessidade. Não é realizado monitoramento geotécnico devido ao porte do aterro sanitário.

5. PRINCIPAIS DIFICULDADES PARA OPERAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS

- Acesso para dias de chuva;
- Garantia da compactação;
- Falta de equipamento adequado;
- Dificuldade em operar de acordo com o projeto, com preferência a experiência do encarregado responsável.

APÊNDICE C – Formulário aplicado na CTR Macaé

FORMULÁRIO APLICADO NOS ATERROS SANITÁRIOS VISITADOS Programa de Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental Responsável: Eng.ª Daniela Freitas Ribeiro	

1. OBJETIVO

Este formulário visa estabelecer um roteiro descritivo, que compreenda os aspectos estruturais, operacionais e de tratamento de lixiviado, desenvolvidos em aterros sanitários.

2. APLICAÇÃO

Este formulário é aplicável aos aterros sanitários indicados, de acordo com a proposta da pesquisa acadêmica.

3. REFERÊNCIAS

NBR 8419 – Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos.

NBR 13896 – Aterros de Resíduos Não Perigosos – Critérios para Projeto, Implantação e Operação.

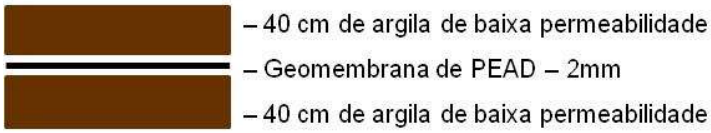
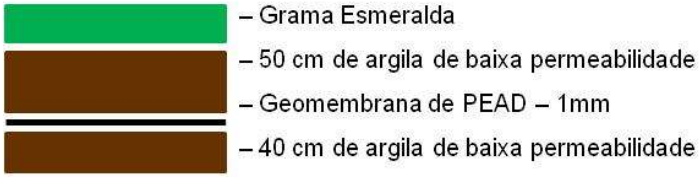
NBR 15849 – Resíduos Sólidos Urbanos – Aterros sanitários de pequeno porte – Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento.

4. DESCRIÇÃO DO EMPREENDIMENTO

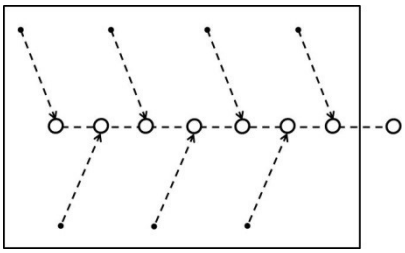
INFORMAÇÕES CADASTRAIS
NOME: Construtora Zadar Ltda.
SIGLA: CTR Macaé
CNPJ: 30.183.941/0003-30
ENDEREÇO: Fazenda São João dos Quarenta, S/N – BR 101 – Emburo – Macaé/RJ
TELEFONE: (22) 2006-0210
SITE: www.ctrmacae.com.br
E-MAIL: josecarlospires@riwasa.com.br
LICENÇA AMBIENTAL: IN 018412
CERTIFICAÇÃO: ISO 9001:2008 / ISO 14001:2004
CONTATO
NOME DO REPRESENTANTE DA ORGANIZAÇÃO: Anderson Radich
CARGO DO REPRESENTANTE: Gerente
TELEFONE: -
E-MAIL: andersonradich@riwasa.com.br

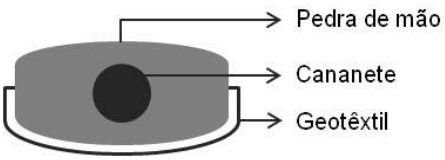
ÁREA ADMINSTRATIVA
BALANÇA RODOVIÁRIA: Sim
CONTROLE DE ACESSO: Sim
SALAS ADMINISTRATIVAS: Sim
REFEITÓRIO: Sim
ALMOXARIFADO: Sim
OUTROS: Sala de treinamento.
CARACTERÍSTICAS DO RESÍDUO A SER DISPOSTO NO ATERRO SANITÁRIO
TIPOS DE RESÍDUO: RSU – Classe IIA
ORIGEM: Dos municípios Macaé, Quissamã e grande geradores
QUANTIDADE DIÁRIA E MENSAL POR TIPO: 500 t/dia e 13.000 t/mês
FREQUÊNCIA E HORÁRIO DE RECEBIMENTO: Segunda-feira a sábado, 24 horas/dia
CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL
VIDA ÚTIL DO ATERRO SANITÁRIO: 16 anos
ZONEAMENTO DA REGIÃO: Rural
MÉTODO CONSTRUTIVO: Área
GEOLOGIA E SOLOS EXISTENTES: Jazida própria de argila, de baixa permeabilidade
TIPO DE ACESSO: Estrada não pavimentada (acessos principal e interno)
DISTÂNCIA DE NÚCLEOS POPULACIONAIS: 4km (mínimo) / 17,5 km (máximo)

4.1 ASPECTOS ESTRUTURAIS

IMPERMEABILIZAÇÃO DO ATERRO SANITÁRIO
INFERIOR
MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO: Jazida própria de argila, de baixa permeabilidade e geomembrana de polietileno de alta densidade (PEAD) – 2 mm.
ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO: 
SUPERIOR
MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO: Jazida própria de argila, de baixa permeabilidade, geomembrana de polietileno de alta densidade (PEAD) – 1mm e vegetação.
ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO: 
PLANTIO DE GRAMA: Sim, Grama Esmeralda, da espécie Zoysia japônica.
SISTEMA DE DRENAGEM E REMOÇÃO DE LIXIVIADO
MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO: Cananete, geotêxtil e pedra de mão

ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO: Configuração em planta – Espinha de peixe





LAGOAS DE ACUMULAÇÃO: Sim

TIPO DE TRATAMENTO: Lagoa de acumulação e ETC em fase de projeto.

ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DE LIXIVIADO: 24 m^3/dia (período seco) e 48 m^3/dia (período chuvoso).

SISTEMA DE DRENAGEM DE EMISSÕES GASOSAS

MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO: Base de concreto (1,4 x 1,4 m), manilha de concreto armado furada (60 cm de diâmetro), pedra de mão, tela de aço e geotêxtil.

ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO:

TIPO DE TRATAMENTO: Queima espontânea em flare, com projeto de geração de energia em andamento.

ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DE BIOGÁS: -

MONITORAMENTO DA COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS: -

SISTEMA DE DRENAGEM DE ÁGUA PLUVIAL

MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO: Blocos de concreto, pedra de mão, colchão Reno e meia calha

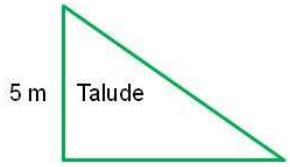
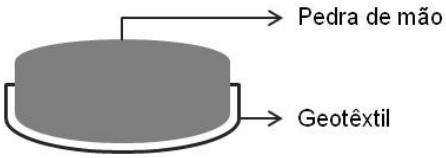
ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO:

4.2 ASPECTOS OPERACIONAIS

CARACTERÍSTICAS DO LOCAL DE DISPOSIÇÃO

DESCRIÇÃO DO PROCEDIMENTO OPERACIONAL: Descarga na praça de operação, espalhamento e compactação.

MODO E TAXA DE COMPACTAÇÃO/ESPALHAMENTO: Compactação de baixo para cima/4 a 6 passadas.

EQUIPAMENTOS UTILIZADOS: Trator de esteira, retroescavadeira, caminhão basculante e caminhão pipa.
DENSIDADE DO RESÍDUO: 0,9 t/m^3
DETALHAMENTO FRENTE DE TRABALHO
- ALTURA ESTIMADA DA CÉLULA: 
CONTROLE DE VETORES: A cobertura diária de resíduos é realizada para evitar aves de rapina e moscas. Existe um fornecedor licenciado para dedetizar a unidade em periodicidade definida.
MANUTENÇÃO DE ACESSOS: Esta manutenção é feita por meio de compactação de argila, adicionado de cascalho e brita.
PROCEDIMENTO ESPECÍFICO PARA DIAS DE CHUVA: Não existe área especifica para dias de chuva, mas há um procedimento de preparo de área e de acesso para estes casos.
MATERIAL DE COBERTURA PROVISÓRIA
FREQUÊNCIA: Diária
MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO: Argila de baixa permeabilidade, da jazida do próprio aterro sanitário.
ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO:
REMOÇÃO POSTERIOR: Sempre que possível.
SISTEMA DE DRENAGEM E REMOÇÃO DE LIXIVIADO INTERMEDIÁRIO
MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO: Geotêxtil e pedra de mão (rachão).
ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO: Mantem a configuração em planta. 
SISTEMA DE DRENAGEM DE ÁGUA PLUVIAL PROVISÓRIA
MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO: Geomembrana de polietileno de alta densidade (PEAD)
ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO: Implantação feita de forma vertical, com as extremidades da geomembrana ancoradas e acompanhando o talude.
SISTEMA DE MONITORAMENTO AMBIENTAL E GEOTÉCNICO
O monitoramento ambiental é feito por funcionários, conforme necessidade. Quanto ao monitoramento geotécnico é feito controle de deslocamentos verticais e horizontais, e inspeções periódicas, buscando erosões, trincas, entre outros.

5. PRINCIPAIS DIFICULDADES PARA OPERAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS

Operação em período chuvoso; Falta de equipamento adequado; Falta de material disponível.

APÊNDICE D – Formulário aplicado na CTR Rio

FORMULÁRIO APLICADO NOS ATERROS SANITÁRIOS VISITADOS Programa de Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental Responsável: Eng.ª Daniela Freitas Ribeiro	

1. OBJETIVO

Este formulário visa estabelecer um roteiro descritivo, que compreenda os aspectos estruturais, operacionais e de tratamento de lixiviado, desenvolvidos em aterros sanitários.

2. APLICAÇÃO

Este formulário é aplicável aos aterros sanitários indicados, de acordo com a proposta da pesquisa acadêmica.

3. REFERÊNCIAS

NBR 8419 – Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos.

NBR 13896 – Aterros de Resíduos Não Perigosos – Critérios para Projeto, Implantação e Operação.

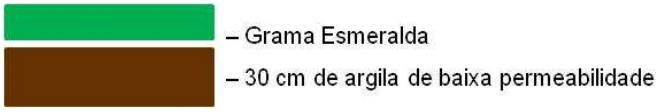
NBR 15849 – Resíduos Sólidos Urbanos – Aterros sanitários de pequeno porte – Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento.

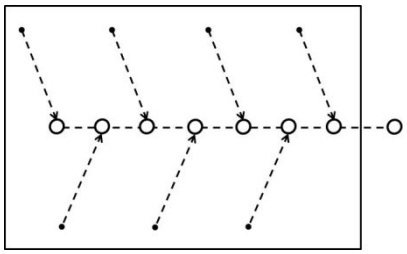
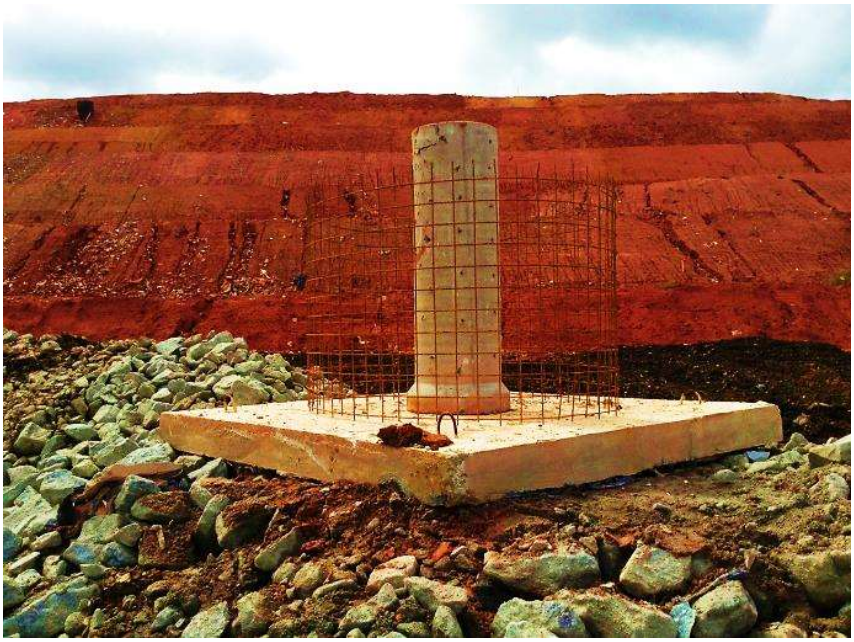
4. DESCRIÇÃO DO EMPREENDIMENTO

INFORMAÇÕES CADASTRAIS
NOME: Comlurb – IGD Gerência de Destinação Final
SIGLA: CTR Rio
CNPJ: -
ENDEREÇO: Estrada Santa Rosa, S/N – Piranema – Seropédica/RJ
TELEFONE: (21) 3782-6722
SITE: http://www.rio.rj.gov.br/web/comlurb
E-MAIL: -
LICENÇA AMBIENTAL: -
CERTIFICAÇÃO: -
CONTATO
NOME DO REPRESENTANTE DA ORGANIZAÇÃO: Lucio Viana Alves
CARGO DO REPRESENTANTE: Gestor Ambiental
TELEFONE: -
E-MAIL: lucioalvesvianna@ig.com.br

ÁREA ADMINSTRATIVA
BALANÇA RODOVIÁRIA: Sim
CONTROLE DE ACESSO: Sim
SALAS ADMINISTRATIVAS: Sim
REFEITÓRIO: Sim
ALMOXARIFADO: Sim
OUTROS: Centro de Educação Ambiental
CARACTERÍSTICAS DO RESÍDUO A SER DISPOSTO NO ATERRO SANITÁRIO
TIPOS DE RESÍDUO: RSU – Classe IIA
ORIGEM: Dos municípios Rio de Janeiro, Seropédica, Mangaratiba, Itaguaí e grande geradores
QUANTIDADE DIÁRIA E MENSAL POR TIPO: 10.000 t/dia e 270.000 t/mês
FREQUÊNCIA E HORÁRIO DE RECEBIMENTO: Diariamente, 24 horas/dia
CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL
VIDA ÚTIL DO ATERRO SANITÁRIO: 25 anos
ZONEAMENTO DA REGIÃO: Rural
MÉTODO CONSTRUTIVO: Área
GEOLOGIA E SOLOS EXISTENTES: Jazida própria de argila, de baixa permeabilidade
TIPO DE ACESSO: Estrada pavimentada para acessos principais e parte não pavimentada para acesso interno.
DISTÂNCIA DE NÚCLEOS POPULACIONAIS: 1km (mínimo) / 30 km (máximo)

4.1 ASPECTOS ESTRUTURAIS

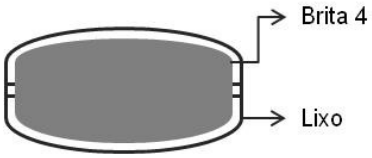
IMPERMEABILIZAÇÃO DO ATERRO SANITÁRIO
INFERIOR
MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO: Jazida própria de argila, de baixa permeabilidade 10^{-7} e 10^{-9} cm/s), geomembrana bentonítica, geomembrana de polietileno de alta densidade (PEAD), areia, geotêxtil e rede de sensores.
ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO:
SUPERIOR
MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO: Jazida própria de argila, de baixa permeabilidade e vegetação.
ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO: 
PLANTIO DE GRAMA: Sim, Grama Esmeralda, da espécie Zoysia japônica.

SISTEMA DE DRENAGEM E REMOÇÃO DE LIXIVIADO
MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO: Geotêxtil, tubo perfurado de PEAD (400 mm de diâmetro) e brita 4.
ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO: Configuração em planta – Espinha de peixe. 
LAGOAS DE ACUMULAÇÃO: Sim
TIPO DE TRATAMENTO: Tratamento em estação de tratamento de chorume (500 m^3/dia) e o restante é enviado para tratamento combinado em estação de tratamento de esgoto sanitário (ETE Alegria).
ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DE LIXIVIADO: 700 m^3/dia
SISTEMA DE DRENAGEM DE EMISSÕES GASOSAS
MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO: Base de concreto (2,0 x 2,0 m), manilha de concreto armado furada (40 cm de diâmetro), brita 4 e tela de aço. Na terminação dos drenos é incluída uma tubulação de PEAD, com cabeçote para controle de vazão.
ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO: 
TIPO DE TRATAMENTO: Purificação do gás e queima espontânea em flare central – Projeto de MDL.
ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DE BIOGÁS: 5800 m^3/h
MONITORAMENTO DA COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS: Sim
SISTEMA DE DRENAGEM DE ÁGUA PLUVIAL
MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO: Geotêxtil, meia calha, geomembrana de PEAD e colchão Reno.

ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO:

4.2 ASPECTOS OPERACIONAIS

CARACTERÍSTICAS DO LOCAL DE DISPOSIÇÃO
DESCRIÇÃO DO PROCEDIMENTO OPERACIONAL: Retirada da tela de proteção para carretas, descarga na praça de operação, espalhamento e compactação.
MODO E TAXA DE COMPACTAÇÃO/ESPALHAMENTO: Compactação de baixo para cima com 4 passadas.
EQUIPAMENTOS UTILIZADOS: 6 tratores de esteira (60 toneladas por hora de resíduo compactado), 3 escavadeiras, 12 caminhões basculante e 2 pás mecânicas.
DENSIDADE DO RESÍDUO: 1,2 t/m^3
DETALHAMENTO FRENTE DE TRABALHO
- ALTURA ESTIMADA DA CÉLULA: 5 metros
CONTROLE DE VETORES: Existe empresa terceirizada, responsável pelo controle de vetores.
MANUTENÇÃO DE ACESSOS: Esta manutenção é feita por meio de compactação de argila, adicionado de rachão e rachinha.
PROCEDIMENTO ESPECÍFICO PARA DIAS DE CHUVA: Não existe área especifica para dias de chuva, mas há um procedimento de preparo de área e acesso para estes casos.

MATERIAL DE COBERTURA PROVISÓRIA
FREQUÊNCIA: Conforme Plano de Trabalho Operacional
MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO: Resíduo de varrição e poda
ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO:
REMOÇÃO POSTERIOR: Não
SISTEMA DE DRENAGEM E REMOÇÃO DE LIXIVIADO INTERMEDIÁRIO
MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO: Brita 4
ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO: Mantém a configuração em planta. 
SISTEMA DE DRENAGEM DE ÁGUA PLUVIAL PROVISÓRIA
MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO: Argila compactada
ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO: Implantação feita com caimento para drenos principais (gabião).
SISTEMA DE MONITORAMENTO AMBIENTAL E GEOTÉCNICO
Todo monitoramento ambiental e geotécnico é feito por consultoria especializada.

5. PRINCIPAIS DIFICULDADES PARA OPERAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS

- Operação em período chuvoso;
- Falta de equipamento adequado;
- Falta de material para cobertura.

APÊNDICE E – Formulário aplicado no Aterro Municipal de Itu

FORMULÁRIO APLICADO NOS ATERROS SANITÁRIOS VISITADOS Programa de Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental Responsável: Eng.ª Daniela Freitas Ribeiro	

1. OBJETIVO

Este formulário visa estabelecer um roteiro descritivo, que compreenda os aspectos estruturais, operacionais e de tratamento de lixiviado, desenvolvidos em aterros sanitários.

2. APLICAÇÃO

Este formulário é aplicável aos aterros sanitários indicados, de acordo com a proposta da pesquisa acadêmica.

3. REFERÊNCIAS

NBR 8419 – Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos.

NBR 13896 – Aterros de Resíduos Não Perigosos – Critérios para Projeto, Implantação e Operação.

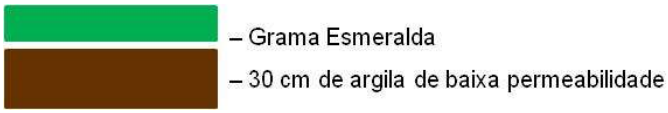
NBR 15849 – Resíduos Sólidos Urbanos – Aterros sanitários de pequeno porte – Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento.

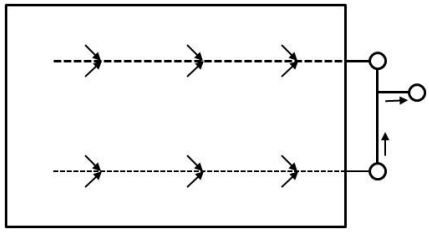
4. DESCRIÇÃO DO EMPREENDIMENTO

INFORMAÇÕES CADASTRAIS
NOME: Aterro Municipal de Itu
SIGLA: Aterro Municipal de Itu
CNPJ: -
ENDEREÇO: Estrada do Pinheirinho, S/N – Itu/SP
TELEFONE: -
SITE: -
E-MAIL: -
LICENÇA AMBIENTAL: -
CERTIFICAÇÃO: -
CONTATO
NOME DO REPRESENTANTE DA ORGANIZAÇÃO: Sérgio Marques
CARGO DO REPRESENTANTE: Gerente Operacional
TELEFONE: -
E-MAIL: -

ÁREA ADMINSTRATIVA
BALANÇA RODOVIÁRIA: Sim
CONTROLE DE ACESSO: Sim
SALAS ADMINISTRATIVAS: Sim
REFEITÓRIO: Sim
ALMOXARIFADO: Sim
OUTROS: -
CARACTERÍSTICAS DO RESÍDUO A SER DISPOSTO NO ATERRO SANITÁRIO
TIPOS DE RESÍDUO: RSU – Classe IIA
ORIGEM: Município de Itu
QUANTIDADE DIÁRIA E MENSAL POR TIPO: 250 t/dia e 6.500 t/mês
FREQUÊNCIA E HORÁRIO DE RECEBIMENTO: Segunda-feira a sábado, das 6 às 19 horas
CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL
VIDA ÚTIL DO ATERRO SANITÁRIO: 16 anos
ZONEAMENTO DA REGIÃO: Rural
MÉTODO CONSTRUTIVO: Área
GEOLOGIA E SOLOS EXISTENTES: Jazida própria de argila, de baixa permeabilidade
TIPO DE ACESSO: Estrada não pavimentada (acessos principal e interno)
DISTÂNCIA DE NÚCLEOS POPULACIONAIS: 1,5 km (mínimo) / 5 km (máximo)

4.1 ASPECTOS ESTRUTURAIS

IMPERMEABILIZAÇÃO DO ATERRO SANITÁRIO
INFERIOR
MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO: Jazida própria de argila, de baixa permeabilidade, geomembrana de polietileno de alta densidade (PEAD) – 2mm, areia e geotêxtil.
ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO:
SUPERIOR
MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO: Jazida própria de argila, de baixa permeabilidade e vegetação.
ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO: 
PLANTIO DE GRAMA: Sim, Grama Esmeralda, da espécie Zoysia japônica.
SISTEMA DE DRENAGEM E REMOÇÃO DE LIXIVIADO
MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO: Geotêxtil e brita.
ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO: Configuração em planta – Colchão drenante.



LAGOAS DE ACUMULAÇÃO: Sim

TIPO DE TRATAMENTO: Tratamento combinado em estação de tratamento de esgoto sanitário.

ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DE LIXIVIADO: 20 a 25 m^3/dia

SISTEMA DE DRENAGEM DE EMISSÕES GASOSAS

MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO: Base de concreto (1,2 x 1,2 m), manilha de concreto armado furada (60 cm de diâmetro), brita 4 e tela de aço. Na terminação dos drenos é instalado um flare para queima espontânea.

ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO:

TIPO DE TRATAMENTO: Queima espontânea em flare.

ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DE BIOGÁS: -

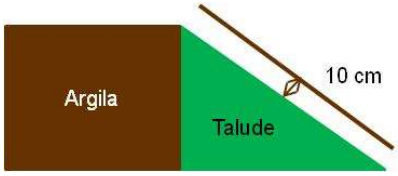
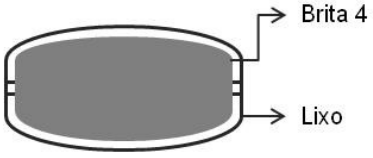
MONITORAMENTO DA COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS: -

SISTEMA DE DRENAGEM DE ÁGUA PLUVIAL

MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO: Geotêxtil, geocélula, brita, geomembrana e meia calha.

ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO:

4.2 ASPECTOS OPERACIONAIS

CARACTERÍSTICAS DO LOCAL DE DISPOSIÇÃO
DESCRIÇÃO DO PROCEDIMENTO OPERACIONAL: Descarga na praça de operação, espalhamento e compactação.
MODO E TAXA DE COMPACTAÇÃO/ESPALHAMENTO: Compactação de baixo e o número de passadas excede o número indicado nos manuais, devido ao tempo disponível que o equipamento possui.
EQUIPAMENTOS UTILIZADOS: Trator de esteira, escavadeira, 1 retroescavadeira e 1 caminhão basculante.
DENSIDADE DO RESÍDUO: 0,92 t/m^3
DETALHAMENTO FRENTE DE TRABALHO
- ALTURA ESTIMADA DA CÉLULA: 3 metros
CONTROLE DE VETORES: Na unidade há espanta pássaros, porém não tem controle de moscas.
MANUTENÇÃO DE ACESSOS: Esta manutenção é feita por meio de compactação de argila siltoarenoso, adicionado de brita 4.
PROCEDIMENTO ESPECÍFICO PARA DIAS DE CHUVA: A unidade prevê uma frente de trabalho especifica para dias de chuva.
MATERIAL DE COBERTURA PROVISÓRIA
FREQUÊNCIA: Diária
MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO: 10 cm de argila de baixa permeabilidade, da jazida do próprio aterro sanitário.
ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO: 
REMOÇÃO POSTERIOR: Sim, quando possível.
SISTEMA DE DRENAGEM E REMOÇÃO DE LIXIVIADO INTERMEDIÁRIO
MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO: Brita 4
ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO: Mantém a configuração em planta. 

SISTEMA DE DRENAGEM DE ÁGUA PLUVIAL PROVISÓRIA
MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO: Geomembrana
ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO: Implantação feita com caimento para drenos principais (gabião).
SISTEMA DE MONITORAMENTO AMBIENTAL E GEOTÉCNICO
O monitoramento ambiental é feito por funcionários e o monitoramento geotécnico é realizado por uma consultoria que é responsável por visitas mensais e elaboração de relatórios.

5. PRINCIPAIS DIFICULDADES PARA OPERAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS

- Operação em período chuvoso;
- Falta de mão de obra especializada;

APÊNDICE F – Formulário aplicado no aterro sanitário localizado no município de Caieiras

FORMULÁRIO APLICADO NOS ATERROS SANITÁRIOS VISITADOS Programa de Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental Responsável: Eng.ª Daniela Freitas Ribeiro	

1. OBJETIVO

Este formulário visa estabelecer um roteiro descritivo, que compreenda os aspectos estruturais, operacionais e de tratamento de lixiviado, desenvolvidos em aterros sanitários.

2. APLICAÇÃO

Este formulário é aplicável aos aterros sanitários indicados, de acordo com a proposta da pesquisa acadêmica.

3. REFERÊNCIAS

NBR 8419 – Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos.

NBR 13896 – Aterros de Resíduos Não Perigosos – Critérios para Projeto, Implantação e Operação.

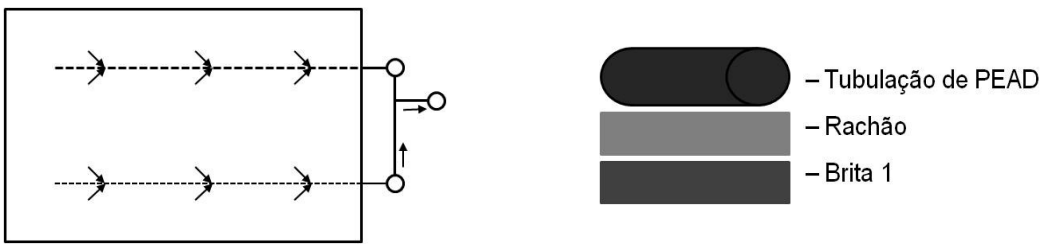
NBR 15849 – Resíduos Sólidos Urbanos – Aterros sanitários de pequeno porte – Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento.

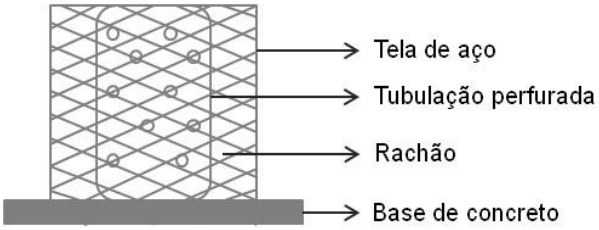
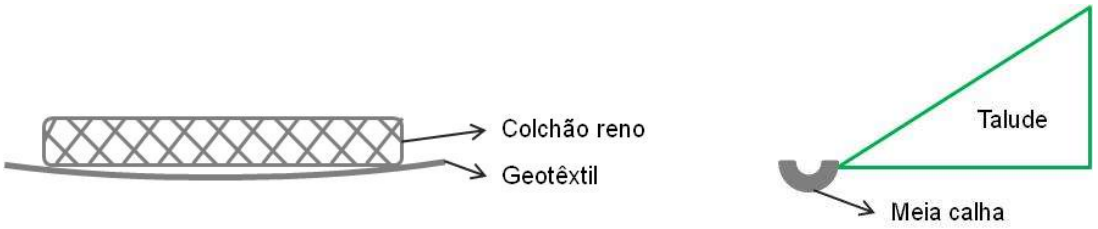
4. DESCRIÇÃO DO EMPREENDIMENTO

INFORMAÇÕES CADASTRAIS
NOME: -
SIGLA: -
CNPJ: -
ENDEREÇO: -
TELEFONE: -
SITE: -
E-MAIL: -
LICENÇA AMBIENTAL: -
CERTIFICAÇÃO: -
CONTATO
NOME DO REPRESENTANTE DA ORGANIZAÇÃO: -
CARGO DO REPRESENTANTE: -
TELEFONE: -

E-MAIL: -
ÁREA ADMINSTRATIVA
BALANÇA RODOVIÁRIA: Sim
CONTROLE DE ACESSO: Sim
SALAS ADMINISTRATIVAS: Sim
REFEITÓRIO: Sim
ALMOXARIFADO: Sim
OUTROS: Centro de Educação Ambiental
CARACTERÍSTICAS DO RESÍDUO A SER DISPOSTO NO ATERRO SANITÁRIO
TIPOS DE RESÍDUO: RSU – Classe IIA
ORIGEM: Recebe os resíduos gerados por 17 municípios, adicionado de grande geradores.
QUANTIDADE DIÁRIA E MENSAL POR TIPO: 9.000 t/dia e 235.000 t/mês
FREQUÊNCIA E HORÁRIO DE RECEBIMENTO: Diariamente, 24 horas/dia
CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL
VIDA ÚTIL DO ATERRO SANITÁRIO: 30 anos
ZONEAMENTO DA REGIÃO: -
MÉTODO CONSTRUTIVO: Área
GEOLOGIA E SOLOS EXISTENTES: Jazida própria de argila, de baixa permeabilidade.
TIPO DE ACESSO: Estrada pavimentada (acessos principal e interno).
DISTÂNCIA DE NÚCLEOS POPULACIONAIS: 0,3 km (mínimo) / 27 km (máximo)

4.1 ASPECTOS ESTRUTURAIS

IMPERMEABILIZAÇÃO DO ATERRO SANITÁRIO
INFERIOR
MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO: Jazida própria de argila, de baixa permeabilidade, geomembrana bentonítica, geomembrana de polietileno de alta densidade (PEAD) – 2mm, areia e geotêxtil.
ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO: -
SUPERIOR
MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO: Jazida própria de argila, de baixa permeabilidade, geomembrana de polietileno de alta densidade (PEAD) e vegetação.
ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO: -
PLANTIO DE GRAMA: Sim
SISTEMA DE DRENAGEM E REMOÇÃO DE LIXIVIADO
MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO: Geotêxtil, tubo perfurado de PEAD, brita 1 e rachão.
ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO: Configuração em planta – Colchão drenante 
LAGOAS DE ACUMULAÇÃO: Sim
TIPO DE TRATAMENTO: Tratamento combinado em estação de tratamento de esgoto sanitário.

ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DE LIXIVIADO: 1.500 m^3/dia
SISTEMA DE DRENAGEM DE EMISSÕES GASOSAS
MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO: Base de concreto (2,0m x 2,0m), manilha de concreto armado furada (60cm de diâmetro), rachão, tela de aço e sopradores.
ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO: 
TIPO DE TRATAMENTO: Unidade de biogás com projeto de geração de energia.
ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DE BIOGÁS: 15.000 m^3/hora
MONITORAMENTO DA COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS: Sim
SISTEMA DE DRENAGEM DE ÁGUA PLUVIAL
MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO: Geotêxtil, meia calha e colchão Reno.
ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO: 

4.2 ASPECTOS OPERACIONAIS

CARACTERÍSTICAS DO LOCAL DE DISPOSIÇÃO
DESCRIÇÃO DO PROCEDIMENTO OPERACIONAL: Descarga, espalhamento e compactação.
MODO E TAXA DE COMPACTAÇÃO/ESPALHAMENTO: Compactação de baixo para cima.
EQUIPAMENTOS UTILIZADOS: Trator de esteira
DENSIDADE DO RESÍDUO: -
DETALHAMENTO FRENTE DE TRABALHO
- ALTURA ESTIMADA DA CÉLULA: 5 metros
CONTROLE DE VETORES: -
MANUTENÇÃO DE ACESSOS: Esta manutenção é feita por meio de compactação de argila e rachão.
PROCEDIMENTO ESPECÍFICO PARA DIAS DE CHUVA: Existe uma área preparada para dias de chuva.
MATERIAL DE COBERTURA PROVISÓRIA
FREQUÊNCIA: Conforme Plano de Trabalho Operacional.
MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO: -
ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO: -
REMOÇÃO POSTERIOR: Não
SISTEMA DE DRENAGEM E REMOÇÃO DE LIXIVIADO INTERMEDIÁRIO
MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO: Geotêxtil e rachão.

ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO: Mantém a configuração em planta.
SISTEMA DE DRENAGEM DE ÁGUA PLUVIAL PROVISÓRIA
MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO: Geomembrana
ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO: Implantação feita com caimento para drenos principais (gabião).
SISTEMA DE MONITORAMENTO AMBIENTAL E GEOTÉCNICO
Todo monitoramento ambiental e geotécnico é feito por consultoria especializada, com visita mensal e elaboração de relatórios.

5. PRINCIPAIS DIFICULDADES PARA OPERAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS

- Tratamento de lixiviado;
- Ausência de triagem preliminar para garantir outros tratamentos;
- Programas de incentivos para novas tecnologias.