

CARTILHA TÉCNICA

PLANEJAMENTO, CONSTRUÇÃO E OPERAÇÃO DE ATERROS PARA A DESTINAÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS



ATERRO SANITÁRIO DE BANDEIRANTES, SÃO PAULO- SP

Fonte: Educa Rede (2008)



Cartilha Técnica

Planejamento, Construção e Operação de Aterros para a Destinação Final de Resíduos Sólidos

Inspetoria de Obras e Serviços Públicos
- Divisão de Engenharia -

DISTRIBUIÇÃO GRATUITA

TRIBUNAL DE CONTAS DO ESTADO DO PIAUÍ

Conselheiros

Anfrísio Neto Lobão Castelo Branco
Presidente

Abelardo Pio Vilanova e Silva
Vice-Presidente

Sabino Paulo Alves Neto
Corregedor-Geral

Luciano Nunes Santos
Joaquim Kennedy Nogueira Barros
Waltânia Maria Nogueira de Sousa Leal Alvarenga
Olavo Rebelo de Carvalho Filho

Editora:
Cláudia Brandão de Oliveira

TRIBUNAL DE CONTAS DO ESTADO DO PIAUÍ

Divisão de Engenharia

Elaboração

Hamifrancy Brito Meneses
Auditor Fiscal de Controle Externo do TCE-PI

Verônica Maria Prazeres Lopes de Sousa
Auditora Fiscal de Controle Externo do TCE-PI

Coordenação

Francisco José Soares Fernandes
Chefe da Divisão de Engenharia
Auditor Fiscal de Controle Externo do TCE-PI

Ficha Bibliográfica

Meneses, Hamifrancy B.; Sousa, Verônica M. P. L. e Fernandes, Francisco J. S.
Cartilha Técnica: Planejamento, Construção e Operação de Aterros para a
Disposição Final de Resíduos Sólidos – Teresina: TCE-PI, 2008
– 1ª Edição.

1. Aterro Sanitário 2. Planejamento 3. Construção
4. Operação 5. Resíduos Sólidos 6. Destinação Final

CDD 628

APRESENTAÇÃO

A Constituição Federal de 1988 estabeleceu a prestação de serviços relacionados à limpeza pública urbana como obrigação dos municípios, através do artigo 30, inciso V. Tais serviços compreendem coleta, capina, varrição, pintura de meio-fio, transporte e tratamento de resíduos sólidos urbanos domiciliares, comerciais, hospitalares, públicos e industriais. Estas atividades, aparentemente simples, na verdade incorporam uma série de procedimentos técnicos, operacionais e legais que consomem recursos significativos dos municípios. Além disso, exigem, para sua eficiência, uma postura extremamente integrada em cadeia sistemática que ocorre de forma concomitante e seqüenciada e agrega cada vez mais complexidades, tendo em vista o nível crescente de demandas das populações urbanas brasileiras, decorrentes de fatores relacionados à melhoria da sua organização, estruturação, expansão, conscientização e ao próprio desenvolvimento tecnológico e social do país.

Esta verdade foi vivenciada pelo Tribunal de Contas do Estado do Piauí, que, nos últimos doze anos, deparou-se diante de exigências das várias comunidades do Estado, no sentido de apurar a correta aplicação de recursos em serviços relacionados à limpeza pública. Não

obstante tais circunstâncias, impõe-se, ainda, ao Tribunal de Contas, um posicionamento, não somente no aspecto financeiro, mas também naqueles relacionados à qualidade da prestação dos serviços, sua eficiência e adequação às crescentes preocupações ambientais, traduzidas em rigorosa legislação a ser cumprida pelos entes públicos intervenientes.

Uma atitude haveria de ser tomada de forma a transmitir uma resposta adequada à responsabilidade institucional do Tribunal de Contas do Estado. Esta apresentou-se através da implementação de um projeto que está estabelecendo critérios, métodos e parâmetros a serem utilizados de forma contínua nos trabalhos de inspeções e auditorias e possibilita uma postura mais consciente, educada e econômica da população e dos órgãos e entidades envolvidos. O trabalho apresentado nesta cartilha traduz parte deste esforço e destina-se a oferecer informações e referências básicas dos serviços de limpeza urbana.

Anfrísio Neto Lobão Castelo Branco

Presidente do TCE-PI

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	11
2. RESÍDUOS SÓLIDOS	13
2.1 - Definição de resíduos sólidos	15
2.2 - Tipos de resíduos sólidos	15
2.3 - Previsão legal da coleta e disposição final de resíduos sólidos	17
2.4 - Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS)	17
2.5 - Planos de Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde (PGRSS)	18
2.6 - Doenças transmitidas pelo lixo	19
3. DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS	21
3.1 - Classificação dos locais de disposição final de resíduos sólidos	23
3.2 - Vazadouro a céu aberto: características, problemática e crimes ambientais	24
3.3 - Aterro controlado: características e problemática	25
3.4 - Aterro sanitário: características e modelo	27
4. PLANEJAMENTO DE ATERRO PARA A DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS	33
4.1 - Determinação da localização de aterros controlados/sanitários	35
4.2 - Licenciamento ambiental	37
4.3 - Cronograma para a implantação de aterro sanitário	39
4.4 - Licenciamento ambiental de municípios de pequeno porte	40
4.5 - Normas técnicas para projetos de aterro sanitário	40
5. CONSTRUÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO	41
5.1 - Instalações de apoio e controle	43
5.2 - Vias de circulação interna	44

5.3 - Terraplenagem	44
5.4 - Impermeabilização de células	45
5.5 - Infra-estrutura de drenagem de líquidos lixiviados	46
5.6 - Infra-estrutura de drenagem de águas pluviais	48
5.7 - Infra-estrutura de monitoramento ambiental e geotécnico	50
5.8 - Serviços complementares	52
6. OPERAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO	53
6.1 - Etapas operacionais de um aterro sanitário	55
6.2 - Métodos construtivos de células de resíduos sólidos	55
6.3 - Rotinas operacionais	56
6.4 - Tratamento de chorume	60
6.5 - Tratamento de gases residuais	63
6.6 - Créditos de carbono	67
6.7 - Monitoramento ambiental	68
6.8 - Monitoramento geotécnico	70
6.9 - Máquinas e equipamentos	71
7. PROPOSIÇÕES PARA A DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS	75
7.1 - Fontes de financiamento	77
7.2 - Sugestão de alternativas	78
7.3 - Estudos de caso	79
7.4 - Legislação Pertinente	80
BIBLIOGRAFIA	83

1 - INTRODUÇÃO

Os conceitos e referências, aqui apresentados, demonstram que os serviços de construção e operação de aterros sanitários não são, nos dias atuais, um conjunto de atividades que possam ser conduzidas de modo intuitivo, baseado apenas na sensibilidade dos gestores públicos e auxiliares. Pelo contrário, exigem uma postura de planejamento, logística e conhecimento estruturado de forma técnica, científica e legal. Um dos objetivos centrais desta publicação é demonstrar que tais conhecimentos devem ser agregados às ferramentas de gestão dos serviços de limpeza urbana. Dessa forma, toda a sequência dos trabalhos relacionados ao gerenciamento e operação de aterros sanitários é detalhada, numa dimensão que procura informar o conjunto de atividades envolvidas em cada etapa.

Inicialmente são apresentadas as definições e caracterização dos resíduos sólidos e planos de gerenciamento de resíduos sólidos de acordo com as especificações da ABNT e as responsabilidades do ponto de vista da legislação constitucional e ordinária sobre o tema, seguindo-se da apresentação dos conceitos e diferenças entre aterros sanitários, aterros controlados e lixões. Destacam-se as patologias e crimes ambientais relacionados às desconformidades ocasionadas pelos lixões e chama-se a atenção para as fragilidades da adoção dos aterros controlados como uma alternativa intermediária que ainda representa riscos e fragilidades à comunidade e ao meio ambiente. A solução mais segura, o uso de aterros sanitários, com características, infra-estrutura física, lógica e administrativa, é mostrada em detalhes simples, textuais, gráficos e fotográficos.

Na sequência, e utilizando-se das mesmas ferramentas,

todas as fases de planejamento de um aterro sanitário, incluindo-se parâmetros técnicos, legais normativos, cronogramas e quantitativos são discutidas. Destaque especial é dado aos procedimentos normativos relacionados aos Licenciamentos Ambientais, desde a fase de planejamento e construção, até a fase de operação.

A atividade de operação de um aterro sanitário, na verdade, é constituída de procedimentos de construção continuada que se estendem durante a sua vida útil. Toda a estrutura física e operacional é mostrada na etapa seguinte do trabalho, descrevendo-se a organização administrativa (edificações, balanças, veículos e equipamentos) e operacional (construção e manutenção de acessos e circulação interna, procedimentos de proteção do subsolo, métodos construtivos de células de resíduos sólidos, construção de drenos e canais de chorume, gases e águas pluviais, bem como os métodos e controle e tratamento destes efluentes e da proteção do meio ambiente circunvizinho e das áreas concluídas do aterro).

Por fim, as alternativas de aproveitamento econômico e resultados já alcançados, inclusive no Brasil, são discutidas, bem como soluções de gestão e fontes de recursos junto aos órgãos públicos.

Tendo em vista que se trata de um trabalho educativo, direcionado a gestores, administradores públicos, técnicos e a sociedade, procurou-se evitar tecnicismos exagerados, apresentando definições e procedimentos de forma que todos os envolvidos pudessem ser sensibilizados.

Francisco Fernandes
DIVISÃO DE ENGENHARIA – TCE/PI

RESÍDUOS SÓLIDOS

2.1 - Definição de Resíduos Sólidos:

“Os resíduos sólidos são materiais heterogêneos (inertes, minerais e orgânicos) resultantes das atividades humanas e da natureza, os quais podem ser parcialmente reutilizados, gerando, entre outros aspectos, proteção à saúde pública e economia de recursos naturais.”

Fonte: FUNASA (2006)

2.2 - Tipos de Resíduos Sólidos:

Domiciliares

Resíduos orgânicos resultantes das atividades humanas domiciliares cotidianas.

Ex.: Restos de alimentos • **Foto 01**

Comercial

Resíduos orgânicos e inorgânicos, inertes ou não, resultantes das atividades comerciais.

Ex.: Caixas de papelão • **Foto 02**

Limpeza Pública

Resíduos orgânicos resultantes das atividades de limpeza pública, como varrição, capina e limpeza de feiras.

Ex.: Galhos e folhas • **Foto 03**

Industrial

Resíduos orgânicos e inorgânicos, inertes ou não, resultado de atividades industriais, que podem ser perigosos ou contaminantes.

Ex.: Escória de alto forno • **Foto 04**

Serviços de Saúde

Resíduos orgânicos ou inorgânicos resultantes da prestação de serviços de saúde, com elevado poder contaminante ou não.

Ex.: seringas, remédios vencidos • **Foto 05**

Construção Civil

Resíduos inorgânicos e inertes resultantes da atividade de construção civil.

Ex.: Restos de demolição • **Foto 06**

Abatedouros

Resíduos orgânicos resultantes do abate e beneficiamento de carnes de animais.

Ex.: Pele e carcaça de animais • **Foto 07**

Agrícola

Resíduos orgânicos e inorgânicos resultantes da atividade agrícola, com elevado poder contaminante ou não.

Ex.: Emb. de defensivos agrícolas • **Foto 08**

► ABNT: Norma Técnica 10.004/2004 – Classificação de Resíduos Sólidos

2. RESÍDUOS SÓLIDOS



Fonte: TCE-PI (2008.a)



Fonte: IB (2008)



Fonte: CRAFT (2008)



Fonte: TCE-PI (2008.a)



Fonte: IB (2008)



Fonte: TCE-PI (2008.a)



Fonte: TCE-PI (2008.a)



Fonte: PMP (2008)

2.3 - Previsão legal da coleta e da disposição final de Resíduos Sólidos

Proteção ao Meio Ambiente:

Art. 23º. É competência comum da União, dos Estados, do Distrito Federal:

...

IV - proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer de suas formas;

...

(Constituição Federal Brasileira de 1988).

Art. 237º. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado[...]
[...]impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo[...]

(Constituição Estadual do Piauí de 1989).

Disposição Final de RS:

Art. 30. Compete aos Municípios:

...

V - organizar e prestar, diretamente ou sob regime de concessão ou permissão, os serviços públicos de interesse local[...] que têm caráter essencial; (cf.)

...

(Constituição Federal Brasileira de 1988).

Art. 244 – O Estado e os Municípios estabelecerão programas conjuntos visando o tratamento de despejos urbanos e industriais e de resíduos sólidos[...]

(Constituição Estadual do Piauí de 1989).

2.4 - Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS)

A Legislação Ambiental exige que grandes geradores, como Indústrias, Supermercados e Shopping façam seu Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS).

O PGRS consiste no conjunto de procedimentos e técnicas utilizados para a adequada coleta, acondicionamento, tratamento preliminar, transporte e disposição final dos resíduos sólidos gerados por grandes estabelecimentos.



Fonte: CMM (2008)

IMPORTANTE: O PGRS pode constituir num documento integrante do processo de licenciamento ambiental, dependendo da legislação de cada Município ou Estado

2. RESÍDUOS SÓLIDOS

2.5 - Planos de Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde – PGRSS

A previsão legal para o gerenciamento de resíduos de serviços de saúde está amparada na Resolução Nº 358 de 29 de Abril de 2005, do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA).

Abrangência do PGRSS: serviços relativos ao atendimento à saúde humana ou animal

Exemplos: farmácias, necrotérios, laboratórios clínicos, hospitais, clínicas médicas, centros de controle de zoonoses



Fonte: CREMESP (2008)

Definição do PGRSS: compreende o documento integrante do processo de licenciamento ambiental que descreve as ações de manejo (geração, segregação, acondicionamento, coleta, armazenamento, transporte, reciclagem, tratamento e disposição final) dos resíduos de serviços de saúde humana e animal, visando a proteção à saúde pública e ao meio ambiente.

Elaboração do PGRSS: competência de profissional de nível

superior habilitado, mediante apresentação de Anotação de Responsabilidade Técnica-ART.

Descumprimento do PGRSS: o não cumprimento do disposto na Resolução CONAMA Nº 358/2005 está sujeito às penalidades e sanções previstas na Lei Nº 9.605, de 12 de Fevereiro de 1998 (Lei de Crimes Ambientais).

Lei de Crimes Ambientais - Lei Nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998: Da Poluição e outros Crimes Ambientais

...

Art. 54. Causar poluição de qualquer natureza em níveis tais que resultem ou possam resultar em danos à saúde humana, ou que provoquem a mortandade de animais...

...

§ 2º. Se o crime:

...

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

Pena - reclusão, de um a cinco anos.

...

LEGISLAÇÃO PERTINENTE:

Resolução CONAMA Nº 005/1993 - “Estabelece definições, classificação e procedimentos mínimos para o gerenciamento de resíduos sólidos oriundos de serviços de saúde, portos e aeroportos, terminais ferroviários e rodoviários.

Resolução CONAMA Nº 006/1991 - “Dispõe sobre a incineração de resíduos sólidos provenientes de estabelecimentos de saúde, portos e aeroportos.

2.6 - Doenças transmitidas pelo lixo

Doenças transmitidas por microorganismos patológicos presentes nos resíduos sólidos.”

Doenças	TS* (Dias)
Febre Tifóide	29 - 70
F. Paratifóide	29 - 70
Salmoneloses	29 - 70
Díscnteria Bacilar	02 - 07
Gastroenterites	35
Leptospirose	15 - 43
Tuberculose	150 - 180
Cólera	1 - 13*
Poliomielite (Poliovírus)	20 - 70

TS = tempo médio de sobrevivência do microorganismo

FONTE: Barros (1995)

Doenças transmitidas por agentes vetores presentes nos resíduos sólidos.

Vetores	Forma de Transmissão	Enfermidades
Rato e Pulga	Mordida, urina, fezes e picada	Leptospirose Peste bubônica Tifo murino
Mosca	Asas, patas, corpo, fezes e saliva	Febre tifóide Cólora Amebíase Díscnteria Giardíase Ascariíase
Mosquito	Picada	Malária Febre amarela Dengue Leishmaniose
Barata	Asas, patas, corpo e fezes	Febre tifóide Cólora Giardíase
Gado e Porco	Ingestão de carne contaminada	Teníase Cisticercose
Cão e Gato	Urina e fezes	Toxoplasmose

FONTE: Barros (1995)

DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

3.1 – Classificação dos locais de disposição final de Resíduos Sólidos

Os locais de disposição final de resíduos sólidos podem ser classificados em três categorias:

Vazadouro a céu aberto: Local de disposição inadequada de resíduos sólidos, a céu aberto, sobre o solo, sem qualquer tratamento prévio de coleta e sem tratamento de líquidos percolados e gases resultantes da deterioração dos RS, causando poluição do solo, água e ar. • **Foto 01**

IMPORTANTE: o vazadouro a céu aberto é também denominado de lixão.

Aterro controlado: compreende o local de destinação final de resíduos sólidos, onde a contenção dos resíduos é feita com o recobrimento periódico do lixo com material inerte, a construção de lagos de contenção e a impermeabilização do solo de base (opcional), empregando técnicas de engenharia (NBR 8849/1985). • **Foto 02**

Aterro sanitário: compreende o local adequado para receber, tratar e promover o acondicionamento final de resíduos sólidos, segundo padrões técnicos e sanitários de engenharia capazes de evitar danos ao Meio Ambiente, à Saúde e à Segurança Pública. (IBAM, 2001). • **Foto 03**

► Principais diferenças entre Aterro Controlado e Aterro Sanitário:

Aterro Controlado	Aterro Sanitário
Simples recobrimento do lixo com material inerte	Há o tratamento de resíduos (chorume e gases) resultantes da deterioração do lixo
Impermeabilização (opcional) do solo para evitar a percolação de chorume	Impermeabilização obrigatória do solo, visando evitar a contaminação do lençol freático



01

Vazadouro a céu aberto do município de São João do Piauí, PI.
Fonte: TCE-PI (2008.c)



Aterro Controlado do município de Teresina, PI.
Fonte: TCE-PI (2008.d)



02

Aterro Sanitário de Bandeirantes no município de São Paulo- SP
Fonte: EducaRede (2008)



03

3.2 – Vazadouro a Céu Aberto: Características, Problemáticas e Crimes Ambientais

Características:

- Disposição dos resíduos sólidos a céu aberto;
- Livre acesso e circulação de catadores e animais domésticos;
- Disposição irregular conjunta de lixo domiciliar e lixo de serviços de saúde;
- Inexistência de infra-estrutura de apoio (galpões, oficinas etc.) e de equipamentos de manejo de resíduos (ex.: retroescavadeira);
- Manejo de resíduos sólidos restrito ao espalhamento e terraplenagem periódica dos resíduos acumulados.



Vazadouro a Céu Aberto do município de Picos, PI.
Fonte: TCE-PI (2008.b)

Problemática:

- Potencial de contaminação do lençol freático superficial (ex.: rios) e subterrâneo (ex.: poços) por chorume e/ou líquidos percolados; • **Foto 01**
- Riscos à operação de aeroportos e aeródromos devidos à presença de urubus (risco de acidente aéreo) e a existência de fumaça (perda de visibilidade); • **Foto 02**
- Riscos à saúde humana e animal devido ao livre trânsito de catadores e animais domésticos, associados à disposição inadequada de resíduos de serviços de saúde. • **Foto 03**



Fonte: TCE-PI (2008.b)



Fonte: TCE-PI (2008.b)



Fonte: TCE-PI (2008.c)

Crimes ambientais:

**Lei de Crimes Ambientais - Lei Nº 9.605, de 12
de fevereiro de 1998
Da Poluição e outros Crimes Ambientais**

...

Art. 54. Causar poluição de qualquer natureza em níveis tais que resultem ou possam resultar em danos à saúde humana, ou que provoquem a mortandade de animais[...] Pena - reclusão, de um a quatro anos, e multa (R\$ 500,00 a R\$ 50 milhões – Art. 75º).

§ 1º. Se o crime é culposo:

Pena - detenção, de seis meses a um ano, e multa.

...

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

Pena - detenção, de um a seis meses, ou multa (R\$ 500,00 a R\$ 50 milhões – Art. 75º), ou ambas as penas cumulativamente.

3.3 – Aterro Controlado: Características e Problemática

Características:

- 01 [• Disposição de resíduos em camadas recobertas diariamente com material inerte;
• Disposição final dos resíduos segregados por categoria (domiciliares, hospitalares, fossas sépticas);
- 02 [• Infra-estrutura operacional de controle: balança rodoviária, cerca, iluminação;
• Vias de circulação em solo natural e vias de acesso geralmente pavimentadas;
• Inexistência de redes de drenagem e unidades de tratamento (ex.: lagoas de estabilização) de chorume e gases resultantes da deterioração do lixo;
- 03 [• Existência de infra-estrutura de apoio: prédios adm. e galpões de manutenção de máquinas e equipamentos;
- 04 [• Máquinas e equipamentos rodoviários: retroescavadeira, trator de esteira, pá-carregadeira e caminhão basculante.

Obs.: Ver imagens relacionadas na próxima página.

3. DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

01



Fonte: TCE-PI (2008.d)

02



Fonte: TCE-PI (2008.d)

03



Fonte: TCE-PI (2008.d)

04



Fonte: TCE-PI (2008.d)

Problemática:

- Presença irregular de catadores de lixo, explorando a coleta de resíduos recicláveis de forma precária;
- Contenção precária de líquidos percolados (chorume) em lagoa escavada em solo natural;
- Precária drenagem de águas pluviais.



Fonte: TCE-PI (2008.b)



Fonte: TCE-PI (2008.b)



Fonte: TCE-PI (2008.b)



Fonte: TCE-PI (2008.b)

3.4 - Aterro Sanitário: características e Modelo

Características:

O aterro sanitário dispõe de infra-estrutura física e de mão-de-obra habilitada para promover a adequada disposição final dos resíduos sólidos, dentro de padrões técnicos da engenharia sanitária.

A infra-estrutura ideal de um aterro sanitário deve ser composta basicamente por:

- Infra-estrutura operacional de controle similar ao aterro controlado;
- Vias de circulação interna pavimentadas ou não;
- Células de disposição final de resíduos sólidos com base impermeabilizada;
- Redes coletoras de chorume e de gases residuais;
- Estações de tratamento de líquidos percolados (chorume);
- Unidades de incineração de resíduos de serviços de saúde e de abate de animais;
- Unidades de compostagem de matéria orgânica;
- Unidades de reciclagem de materiais diversos (metais, papel, pneus, vidro etc.);
- Centros de educação ambiental.



Vias de circulação interna
Fonte: Valor Ambiente (2008)



Manta PEAD
Fonte: SANTEC (2008)



Dreno Chorume/Gases
Fonte: PMJ (2008)



Célula p/ contenção de RS
Fonte: Valor Ambiente (2008)

Infra-Estrutura Geral:

A infra-estrutura geral compreende os elementos de controle de acesso (guaritas, cercas e balanças rodoviárias), as vias de circulação interna, os prédios administrativos e os pátios de manutenção de máquinas e equipamentos.

3. DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS



Guarita de acesso ao Aterro Sanitário do município de Juiz de Fora, MG.

Fonte: PMJ (2008)

Balança rodoviária.

Fonte: TCE-PI (2008.a)



Vias de circulação interna na ETRS da Meia Serra, Ilha da Madeira-Portugal

Fonte: Valor Ambiente (2008)



Prédio administrativo do aterro do município de Teresina, PI.

Fonte: TCE-PI (2008.a)

Infra-estrutura de disposição e tratamento de resíduos sólidos:

Esta infra-estrutura abrange as células de disposição final de resíduos sólidos, estação de tratamento de águas residuais e unidades de incineração de resíduos de serviços de saúde e de abate de animais.

▶ Células de Disposição Final



Célula de contenção de resíduos sólidos na ETRS da Meia Serra, Ilha da Madeira-Portugal

Fonte: Valor Ambiente (2008)

Implantação de manta de impermeabilização de Polietileno de Alta Densidade (Manta PEAD).

Fonte: SANTEC (2008)



Detalhe de soldagem



Construção da rede de drenagem de gases residuais e de chorume no Aterro Sanitário de Juiz de Fora, MG.

Fonte: PMJ (2008)

Detalhe dos drenos

► 3. DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

“As células de disposição final de resíduos sólidos têm sua base impermeabilizada por manta PEAD, visando prevenir a poluição de recursos hídricos.”

“O chorume e os gases residuais provenientes da deterioração dos resíduos sólidos são drenados a partir de uma rede de drenos horizontal e vertical, para o tratamento e/ou aproveitamento posterior.”

► Estação de tratamento de águas residuais



Estação de tratamento de águas residuais da ETRS da Meia Serra, Ilha da Madeira-Portugal

Fonte: Valor Ambiente (2008)

“As estações de tratamento de águas residuais, combinação de tratamento físico-químicos (ex.: gradeamento), biológicos (ex.: lagoas aeróbias e anaeróbias – depuração em 25 dias) e complementares (ex.: lagoas de polimento – depuração em 7 dias) para promover o tratamento do chorume coletado nas células de contenção de resíduos sólidos.”

► Unidade de incineração



Unidade de incineração de resíduos sólidos da ETRS da Meia Serra, Ilha da Madeira-Portugal

Fonte: Valor Ambiente (2008)

“As unidades de incineração de resíduos de serviços de saúde e de abate de animais promovem a queima controlada dos resíduos, sendo desejável o aproveitamento energético da energia térmica gerada pela queima.”

▶ 3. DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Infra-estrutura de reciclagem de resíduos sólidos:

Esta infra-estrutura abrange unidades de triagem de pneus, parques de compostagem de resíduos orgânicos e unidades de compactação de resíduos metálicos.



Parque de triagem de pneus da ETRS da Meia Serra, Ilha da Madeira, Portugal

Fonte: Valor Ambiente (2008)

Parque de fermentação da unidade de compostagem da ETRS da Meia Serra, Ilha da Madeira, Portugal

Fonte: Valor Ambiente (2008)



Centro de compactação de resíduos metálicos da ETRS da Meia Serra, Ilha da Madeira, Portugal

Fonte: Valor Ambiente (2008)

Infra-estrutura de educação ambiental:

Esta infra-estrutura abrange prédios de apoio onde são realizadas práticas de educação ambiental para a comunidade



Fonte: Valor Ambiente (2008)



Fonte: Valor Ambiente (2008)

“O centro de educação ambiental deve desenvolver práticas educacionais de conscientização da comunidade, em especial as crianças, no que tange:

- Sensibilizar para a importância dos 3 R - reduzir, reutilizar e reciclar resíduos;
- Valorizar os resíduos através da reutilização de materiais;
- Disseminar boas práticas de separação e deposição de resíduos por categoria.”

Aterro sanitário-modelo

Estação de Tratamento de Resíduos Sólidos (ETRS) da Meia Serra, na ilha da Madeira, em Portugal.

A ETRS constitui a principal infra-estrutura do sistema de tratamento de resíduos sólidos urbanos da região Autônoma da Madeira, integrando soluções de valorização, tratamento e destino final de resíduos da

► 3. DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

região.

(Ver figura na página seguinte).

Infra-estrutura da ETRS da Meia Serra:

- Incinerador de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU);
- Incinerador de RS Hospitalares e de Matadouros;
- Instalação de Compostagem de RSU;
- Área de Aterro Sanitário;
- Estação de Tratamento de Águas Residuais;
- Parque de Reciclagem de Pneus;

- Edifício de Compactação de Metais;
- Centro de Educação Ambiental.

Destaques do ETRS:

- 17% de reciclagem dos resíduos sólidos (orgânicos, pneus, metais);
- Geração de eletricidade (8MWh) pela incineração de resíduos de serviços de saúde e de abate de animais;
- Reaproveitamento da água das Estações de Tratamento de Águas Residuais;
- Programas de educação ambiental.”



(ETRS) da Meia Serra,
Ilha da Madeira,
Portugal

Fonte: Valor Ambiente (2008)

PLANEJAMENTO
DE ATERRO PARA
A DISPOSIÇÃO FINAL
DE RESÍDUOS SÓLIDOS

4.1 – Determinação da localização de aterros controlados/sanitários

• Estimativa de área do aterro

A área do aterro de disposição final de resíduos sólidos pode ser estimada com base na equação abaixo:

$$A = 560 \cdot V_d$$

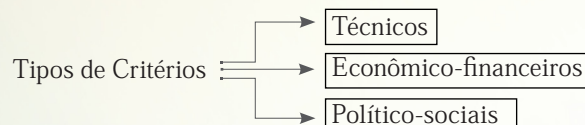
A = área estimada do aterro em m²;

V_d = volume diário de lixo coletado em t;

560 = fator multiplicativo volume diário de lixo coletado em t;

(Suposições: vida útil = 20 anos, altura de aterro = 20m, 80% da área ocupada)

• Critérios de seleção da área para instalação do aterro



► CRITÉRIOS TÉCNICOS (NORMAS ABNT E LEGISLAÇÃO MUN./EST./FEDERAL)

Critério	Observação
Uso do solo	Preferências por áreas rurais fora de qualquer unidade de conservação ambiental
Proximidade a cursos de água	Área distante mais de 200m de corpos de água (ex.: rios, lagos). Área distante mais de 1.000m dos núcleos residenciais urbanos
Proximidade a aeroportos	Área não pode estar próxima a aeroportos e aeroportos, devendo respeitar a legislação pertinente
Distância do lençol freático	Aterro impermeabilizado com manta sintética: fundo do aterro distante mais 1,5m do lençol freático Aterro impermeabilizado com argila compactada: fundo do aterro distante mais 2,5m do lençol freático
Vida útil mínima	Mínimo de 5 anos. Desejável 20 anos
Permeabilidade do solo	Desejável solo com boa impermeabilidade natural (C _p <10-6 cm/s). Importante: solo não deve ser arenoso
Bacia de drenagem	A bacia de drenagem de águas pluviais deve ser pequena e localizada em terreno com baixas declividades, minimizando a erosão e a captação de água da chuva
Vias de circulação interna	As vias de circulação interna do aterro devem ser pavimentadas e com geometria suave (curvas abertas e rampas suaves)
Material de cobertura	Área com jazida contendo material inerte para a cobertura dos resíduos sólidos

Fonte: IBAM (2001)

▶ 4. PLANEJAMENTO DE ATERRO PARA A DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

▶ CRITÉRIOS ECONÔMICO-FINANCEIROS

Critério	Observação
Distância ao centro da cidade	Deve-se minimizar a distância ao centro geométrico da área de coleta de modo a minimizar o deslocamento troncal dos veículos coletores de lixo
Custo do terreno	Buscar terrenos na área rural distantes da ocupação humana e com capacidade de expansão, cujo preço seja reduzido
Custos com infraestrutura de apoio	A área escolhida deve dispor de serviços públicos básicos (luz, água, telefonia, esgoto drenagem), visando a minimização de investimentos com infra-estrutura
Custo com drenagem	Buscar terrenos com declividades suaves, visando minimizar os gastos com limpeza e manutenção de redes de drenagem de águas pluviais

Fonte: IBAM (2001)

▶ CRITÉRIOS POLÍTICO-SOCIAIS

Critério	Observação
Distância de núcleos urbanos de baixa renda	A área escolhida deve ser distante de comunidades de baixa renda, visando minimizar as pressões pela execução da coleta precária de resíduos sólidos recicláveis pela população de baixa renda.
Vias de acesso à área do aterro	Optar por vias de acesso que passem por áreas de baixa densidade demográfica, visando minimizar o incômodo da comunidade.
Relação com a comunidade	Desejável que a área escolhida obtenha aprovação da maioria da comunidade local, das entidades civis organizadas e organizações não-governamentais.

Fonte: IBAM (2001)

4.2 – Licenciamento ambiental

Previsão legal:

RESOLUÇÃO CONAMA nº 237 de 1997

Art. 2º A localização, construção, instalação, ampliação, modificação e operação de empreendimentos[...] potencialmente poluidoras[...] capazes[...] de causar degradação ambiental, dependerão de prévio licenciamento do órgão ambiental competente[...]

...

§ 1º Estão sujeitos ao licenciamento ambiental os empreendimentos e as atividades relacionadas no anexo 1, parte integrante desta Resolução

...

Anexo I

Atividades ou Empreendimentos Sujeitos ao Licenciamento Ambiental
Serviços de utilidade
- tratamento e destinação de resíduos sólidos urbanos;

IMPORTANTE: O licenciamento ambiental de aterros de disposição final de resíduos sólidos em municípios de pequeno porte é regulamentado pela resolução CONAMA Nº 308, de 2002.

Etapas para a obtenção de licenças ambientais:
(RESOLUÇÃO CONAMA nº 237 de 1997)

1ª Etapa – Solicitação de Licença Prévia (LP). Esta solicitação consiste no pedido de licença preliminar ao

IBAMA, Órgão Estadual ou Municipal, para realizar os estudos ambientais de viabilidade e de impactos do empreendimento. Para tanto, o pedido deve ser acompanhado de projetos e estudos ambientais básicos do aterro.

Objetivo: definir requisitos básicos e condicionantes para as próximas fases de implementação do empreendimento.

Ex.: Termo de referência para o EIA/RIMA.

2ª Etapa – Elaboração do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e respectivo Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) do empreendimento (aterro), com base em Instrumento Normativo definido pelo Órgão de Controle Ambiental.

RESOLUÇÃO CONAMA Nº 237 DE 1997

Art. 3º - A licença ambiental para empreendimentos [...] potencialmente causadores de significativa degradação do meio ambiente dependerá de prévio Estudo de Impacto Ambiental e respectivo Relatório de Impacto sobre o Meio Ambiente (EIA/RIMA).

3ª Etapa – Realização de Audiência Pública, a critério do Órgão de Controle Ambiental responsável pelo licenciamento, para apresentar e discutir os resultados do EIA/RIMA do aterro sanitário com a comunidade.

4ª Etapa – Após a aprovação do EIA/RIMA e suas respectivas medidas mitigadoras de impactos ambientais para o aterro sanitário, Órgão de Controle Ambiental emitirá a Licença Prévia ao empreendedor, com validade de até 5 anos.

▶ 4. PLANEJAMENTO DE ATERRO PARA A DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

5ª Etapa – Elaboração do projeto executivo do aterro sanitário, incluindo projetos técnicos e complementares.

Projetos Técnicos:

- Projeto geométrico de estradas e vias de acesso/circulação;
- Projeto de drenagem de águas pluviais;
- Projeto de coleta e tratamento do chorume/esgotos;
- Projeto de coleta e queima do biogás;
- Projeto de edificações de apoio;
- Projeto paisagístico.

Projetos Complementares:

- Manual de operação do Aterro Sanitário;
- Projeto de monitoramento geotécnico e topográfico;
- Plano de monitoramento ambiental;
- Sistema de controle de pesagem;
- Plano de manutenção de máquinas/equipamentos;
- Plano de encerramento do Aterro Sanitário;
- Especificações técnicas de equip./serv./materiais.

IMPORTANTE: Os projetos técnicos e complementares devem incorporar todas as medidas mitigadoras de impactos ambientais preconizadas no EIA/RIMA.

6ª Etapa – Solicitação de Licença de Implantação (LI): compreende no pedido de licença de implantação do aterro sanitário, encaminhado ao Órgão de Controle Ambiental, para fins de análise de licenciamento. A solicitação deve ser acompanhada dos respectivos Projetos Executivos.

7ª Etapa – Obtenção da Licença de Implantação:

aprovados os projetos técnicos e complementares, o Órgão de Controle Ambiental emitirá a Licença de Implantação com validade de até 6 anos.

8ª Etapa – Implantação do Aterro Sanitário: compreende na realização de obras para a construção das instalações do aterro sanitário.

9ª Etapa – Solicitação de Licença de Operação (LO): compreende no pedido de licença de operação do aterro sanitário, encaminhado ao IBAMA, Órgão Estadual ou Municipal, para fins de análise de licenciamento. Prazo da LO: 4 a 10 anos.

RESOLUÇÃO CONAMA nº 237 de 1997

Art. 19. O órgão ambiental competente[...] poderá modificar os condicionantes e as medidas de controle e adequação, suspender ou cancelar uma licença expedida, quando ocorrer:

I - violação ou inadequação de quaisquer condicionantes ou normas legais;

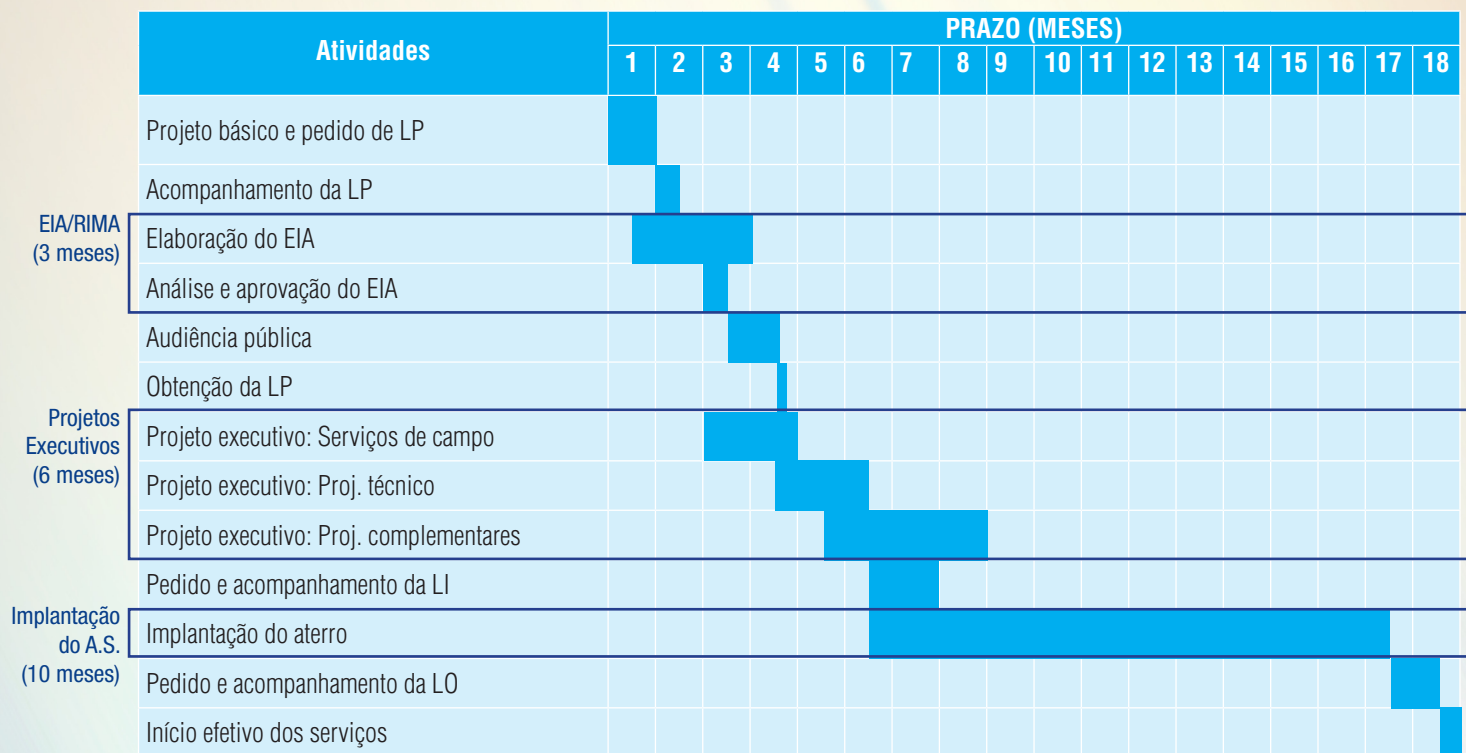
II - omissão ou falsa descrição de informações relevantes que subsidiaram a expedição da licença;

III - superveniência de graves riscos ambientais e de saúde.



4.3 – Cronograma para a implantação de aterro sanitário

O modelo de cronograma abaixo apresenta estimativas médias de meses necessários para a viabilização de um aterro sanitário para cidades de médio e grande porte, desde o projeto básico até o início efetivo das operações.



Fonte: IBAM (2001)

4.4 – Licenciamento ambiental de municípios de pequeno porte

Escopo de aplicação:

RESOLUÇÃO CONAMA nº 308 de 2002

Art. 3º Aplica-se[...] aos municípios ou associações de municípios (de pequeno porte) que atendam a uma das seguintes condições:

- I – **população urbana de até 30 mil habitantes**, conforme[...] IBGE; e
- II – **geração diária** de resíduos sólidos urbanos,[...], de **até 30 toneladas**;

Licenciamento ambiental - Simplificação:

- Dispensa do EIA/RIMA pelo Órgão Competente na hipótese do empreendimento não causar significativa degradação do Meio Ambiente, com base em estudo técnico.

Licenciamento ambiental – Documentação Mínima:

- Caracterização dos resíduos sólidos;
- Identificação do requerente;
- População beneficiada;
- Caracterização hidro-geológica e capacidade do local de disposição final dos resíduos sólidos;
- Métodos de prevenção e minimização da poluição ambiental;
- Plano operacional do aterro;
- Plano de encerramento do aterro;
- Projeto executivo do aterro;
- Projeto de educação ambiental;

4.5 – Normas técnicas para projetos de aterro sanitário

A tabela abaixo apresenta a listagem das principais normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) empregadas no projeto de aterros para a disposição final de resíduos sólidos.

Código	Título	Publicação
NBR13896	Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação - Procedimento.	01/06/1997
NBR10157	Aterros de resíduos perigosos - Critérios para projeto, construção e operação.	01/12/1987
NBR15113	Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes - Aterros - Diretrizes para projeto, implantação e operação.	30/06/2004
NBR8419	Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos.	30/04/1992
NBR8849	Apresentação de projetos de aterros controlados de resíduos sólidos urbanos.	01/04/1985
NBR8418	Apresentação de projetos de aterros de resíduos industriais perigosos.	30/03/1984

Fonte: ABNT (2008)



CONSTRUÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO

5.1 – Instalações de apoio e controle

As instalações de apoio abrangem uma infra-estrutura mínima necessária à manutenção, à operação e ao monitoramento das atividades de um aterro sanitário, incluindo: controle de acesso, iluminação, balança rodoviária e vias de circulação interna.

Controle de acesso

Os principais mecanismos de controle de acesso a serem edificados abrangem:

- Cercas de arame farpado, com mourões de concreto na área de entorno do aterro;
- Portaria de acesso, com cancela de controle de acesso de veículos;
- Dispositivos de controle de acesso de animais (ex.: mata-burro)."



Fonte: ABNT (2008)



Fonte: PRRC (2008)

► Balança rodoviária

A balança rodoviária é um equipamento fundamental para prover o controle das massas de resíduos sólidos recepcionadas pelo aterro sanitário. A instalação deste equipamento deve atender aos seguintes requisitos:

- A balança rodoviária deve ser instalada conforme as especificações do fabricante, garantindo o perfeito nivelamento das plataformas de pesagem;
- O recebimento da balança rodoviária pelo gestor deve ser precedido de aferição de precisão segundo normas do IMETRO, visando garantir a exatidão das massas aferidas;
- A balança rodoviária deve ser submetida à aferição periódica do nível de precisão e exatidão, conforme normas do IMETRO.



Fonte: LB (2008)

IMPORTANTE: Todos os serviços de construção do aterro sanitário devem ser executados observando-se os projetos executivos, bem como as normas da ABNT, as leis trabalhistas e a legislação ambiental.

5.2 – Vias de circulação interna

As vias de circulação interna são fundamentais para o trânsito dos veículos e máquinas empregadas no manejo dos resíduos sólidos. As principais atividades de construção e manutenção desta infra-estrutura abrangem: pavimentação de vias e a drenagem de águas pluviais.

Pavimentação e sinalização de vias internas

- Revestimento primário acabado com brita corrida, em camada com espessura de 30 a 50 cm;
- Vias de maior tráfego devem receber pavimentação asfáltica ou de concreto, sobre o revestimento primário, visando o provimento de maior durabilidade e capacidade de suporte das vias internas;
- As vias devem receber uma sinalização horizontal e vertical, dependendo do tipo de pavimento, capaz de regulamentar o tráfego local, minimizando a ocorrência de acidentes de trânsito.

Drenagem de águas pluviais

- As vias de circulação interna devem ser acompanhadas de elementos de drenagem de águas superficiais, minimizando a formação de atoleiros nas vias que prejudiquem o livre trânsito dos veículos;



Vias de circulação interna

Fonte: SANTEC (2008)

Caixa de inspeção de rede de drenagem de águas superficiais

Fonte: SANTEC (2008)



5.3 – Terraplenagem

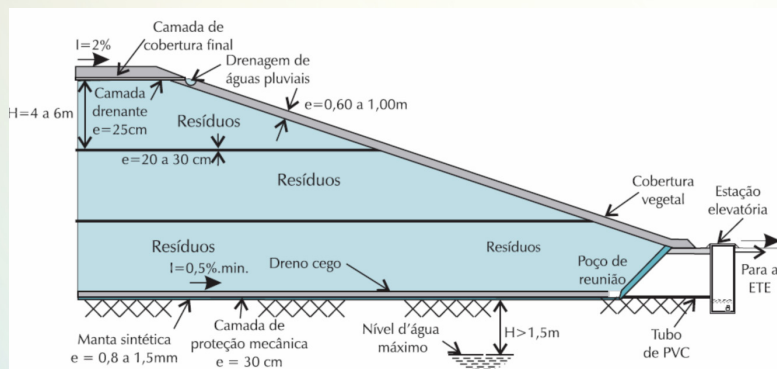
Os serviços de terraplenagem abrangem a regularização da área do terreno necessária à execução das atividades de manejo e disposição final dos resíduos sólidos, incluindo:

- Limpeza do terreno e remoção de vegetação natural;
- Execução da terraplenagem conforme projeto, com atenção especial para os níveis de umidade e compactação específicos;
- Escavação de células para contenção de resíduos sólidos conforme projeto específico, com atenção especial para a conformidade dos taludes (inclinação e estabilidade) e da drenagem de águas superficiais.



Terraplenagem da base de células de contenção de resíduos sólidos
Fonte: SANTEC (2008)

Conformação de talude de célula de contenção de resíduos sólidos
Fonte: SANTEC (2008)



IMPORTANTE: Deve-se promover a armazenagem do material inerte escavado em pátio de estocagem para servir como material de cobertura diária e de selagem final de células de resíduos sólidos.

5.4 – Impermeabilização de células

A impermeabilização das células de contenção de resíduos sólidos é fundamental para minimizar os riscos de poluição do lençol freático (ex.: poços, lençol de água subterrâneo e águas superficiais) pela lixiviação ou percolação do chorume (líquido poluente resultado da degradação dos resíduos sólidos).

A figura ao lado apresenta a seção transversal padrão de uma célula de contenção de resíduos sólidos para aterros sanitários do tipo Classe II para o acondicionamento de resíduos sólidos não inertes. Neste tipo de aterro, a impermeabilização é efetuada na base, na parte superior e nos taludes da célula de contenção dos resíduos sólidos. Esta impermeabilização pode ser efetuada por membrana sintética (Manta de PoliEtileno de Alta Densidade – PEAD) ou argila de boa qualidade ($k_{\text{permeabilidade}} = 10^{-6} \text{ cm/s}$; espessura da camada > 80cm).

IMPORTANTE: As camadas de impermeabilização (PEAD e/ou argila compactada) devem receber uma camada de material inerte (ex.: areia) capaz de garantir a proteção mecânica contra ruptura destas camadas impermeabilizantes. No caso da impermeabilização de taludes de aterro é recomendado que a proteção mecânica seja acompanhada de cobertura vegetal por plantas com raízes curtas, capazes de minimizar o efeito do escoamento superficial de água da chuva.

► 5 - CONSTRUÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO

O processo de implantação de mantas de PEAD para impermeabilização de células de contenção de resíduos sólidos é ilustrado nas figuras abaixo:



Colocação de manta PEAD

Fonte: SANTEC (2008)



Termosoldagem de manta de PEAD

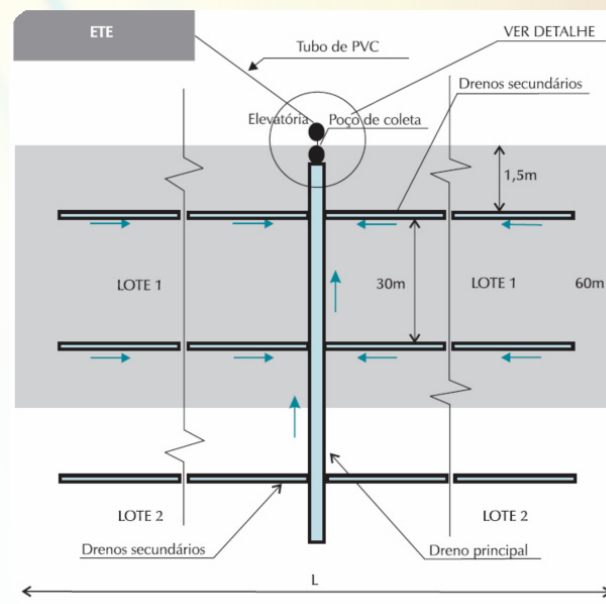
Fonte: SANTEC (2008)

IMPORTANTE: A termosoldagem dos panos de manta de PEAD deve ser executada por equipe especializada, sob pena de perda de impermeabilidade desta manta.

5.5 – Infra-estrutura de drenagem de líquidos lixiviados

Além da construção da estrutura de impermeabilização das células, o adequado tratamento dos resíduos sólidos requer a construção de uma rede de coleta e de unidades de tratamento do chorume.

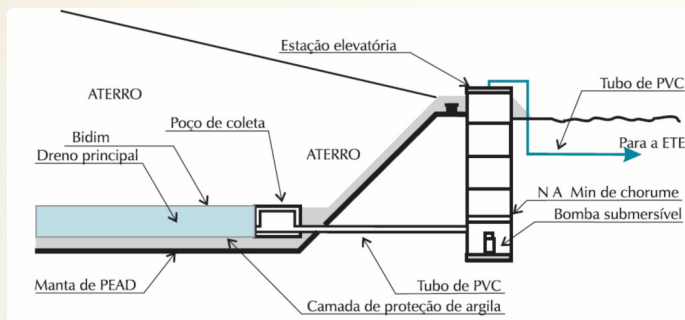
A rede coletora deve ser construída sobre a camada de impermeabilização inferior da célula de contenção dos resíduos sólidos, sendo mais adotada a execução de drenos em formato de “Espinha de Peixe”. Neste formato, um



Fonte: IBAM (2001)

conjunto de drenos secundários efetua a coleta primária do chorume, conduzindo-o até o dreno principal da estrutura de drenagem. Em seguida, o dreno principal encaminha este líquido para poços, de onde o chorume é conduzido para uma estação elevatória. Quando esta estação atinge um dado volume mínimo, o chorume é bombeado para a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE).

A figura seguinte apresenta uma seção transversal da rede de drenagem de chorume descrita anteriormente. Nesta ilustração é possível evidenciar a ligação entre o dreno principal, os poços de coleta e a estação elevatória que fazem a drenagem do chorume.

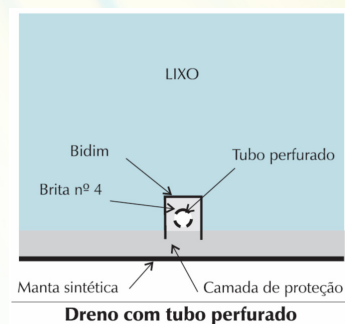


Fonte: IBAM (2001)

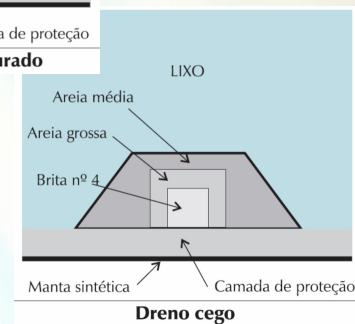
IMPORTANTE: O chorume coletado na estação elevatória é bombeado para a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), onde deve ser submetido a tratamentos físico-químicos para a redução de sua carga poluente.

A rede de drenos de chorume pode ser implementada por duas categorias de drenos, são eles:

- Drenos cegos: constituem estruturas de drenagem maciças compostas por materiais inertes (ex.: areia e brita) com mudança gradual de granulométrica, visando prevenir a colmatção dos drenos pelos sólidos em suspensão nos líquidos lixiviados;
- Drenos com tubo perfurado: constituem estruturas de drenagem compostas por condutos perfurados, normalmente feitos de PVC Rígido vazados, recobertas por material inerte (ex.: brita), visando a prevenção da colmatção (“entupimento”) dos drenos.



Fonte: IBAM (2001)



Fonte: IBAM (2001)

► 5 - CONSTRUÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO

As ilustrações abaixo demonstram o processo construtivo da rede de drenagem (drenos principais e secundários) de chorume de células de contenção de resíduos sólidos.

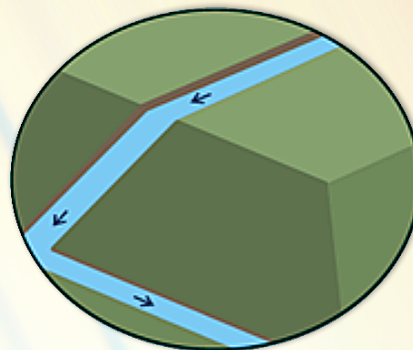


Construção de dreno principal de chorume.

Fonte: SANTEC (2008)

Construção e conexão da rede secundária com o dreno principal de chorume.

Fonte: SANTEC (2008)



Rede de drenagem de águas pluviais em células de resíduos sólidos concluídas

Fonte: CONDER (2002)

A rede de drenagem de águas superficiais pode ser classificada em duas categorias:

- Drenagem provisória: compreende em elementos de drenagem (ex.: valas escavadas) construídos provisoriamente para efetuar coleta e a destinação adequada das águas de chuva captadas pelas células de resíduos sólidos em operação.
- Drenagem definitiva: compreende os elementos de drenagem (ex.: descidas de água) construídos de forma definitiva para prover o escoamento adequado das águas pluviais captadas pelas vias de circulação e pelas células de resíduos sólidos concluídas.

5.6 – Infra-estrutura de drenagem de águas pluviais

A rede de drenagem de águas superficiais compreende o conjunto de elementos geométricos (sarjeta, drenos e decidas de água) empregados para coletar e prover escoamento adequado para a água das chuvas, de modo a minimizar a infiltração de água no maciço das células de contenção de resíduos sólidos.



Descida de água de drenagem definitiva de águas pluviais
Fonte: SANTEC (2008)

Sarjeta de drenagem definitiva de águas pluviais
Fonte: SANTEC (2008)



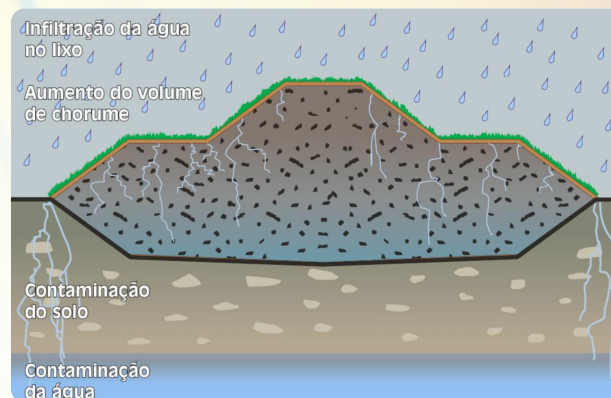
Drenagem inadequada de águas pluviais

A execução e a manutenção inadequada de elementos de drenagem provisórios e definitivos de águas pluviais pode acarretar uma série de problemas operacionais para a adequada operação do aterro sanitário, tais como:

- Infiltração de águas pluviais no maciço de células de resíduos sólidos, gerando aumento de volume de chorume;
- Aumento do potencial de poluição de lençóis freáticos, devido à sobrecarga de chorume na rede de drenagem

e na infra-estrutura de impermeabilização das células de resíduos sólidos;

- Provável contaminação do solo devido à lixiviação do chorume diluído pelas águas pluviais não drenadas adequadamente.



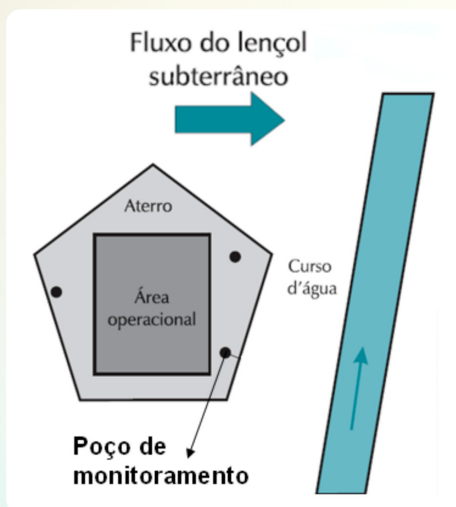
Consequências potenciais da rede inadequada de drenagem de águas pluviais

Fonte: CONDER (2002)

5.7 – Infra-estrutura de monitoramento ambiental e geotécnico

Monitoramento Ambiental

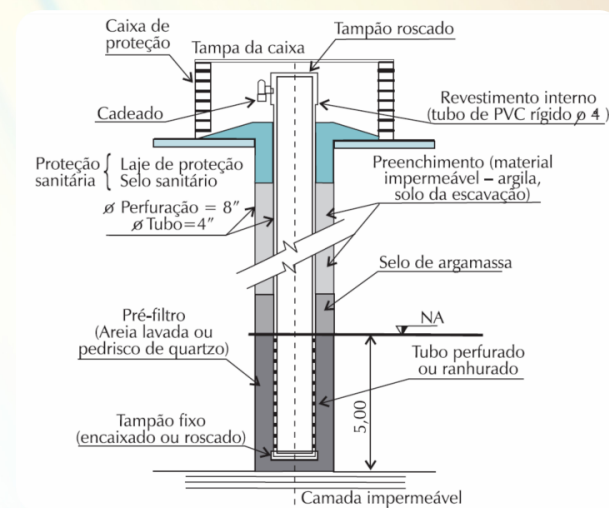
A infra-estrutura de monitoramento ambiental abrange o conjunto de elementos construtivos empregados para a verificação periódica dos níveis de poluição dos mananciais de água superficiais e subterrâneas. Em termos básicos, esta infra-estrutura é composta por poços de monitoramento, que devem ser construídos a montante (antes) e a jusante (depois) da área do aterro sanitário, considerando o sentido do fluxo do lençol freático, conforme ilustra a figura abaixo.



Layout de implantação de poços de monitoramento da qualidade de águas subterrâneas

Fonte: IBAM (2001)

Os poços de monitoramento devem dispor de profundidade suficiente para atingir a camada impermeável, de modo a captar o lençol freático em todos os horizontes de solo permeáveis. Em seu topo, estes poços devem ser dotados de coroamento de concreto e caixas de inspeção, visando prover estabilidade e proteção à tubulação do poço contra ações mecânicas e contra a contaminação externa da água coletada. A figura abaixo ilustra a seção transversal de um poço de monitoramento da qualidade do lençol freático subterrâneo.



Seção transversal de um poço de monitoramento de águas subterrâneas

Fonte: IBAM (2001)

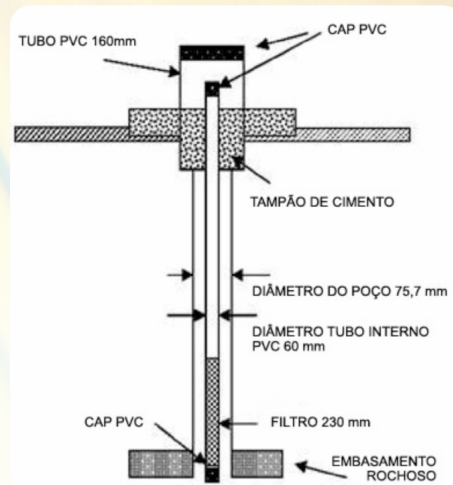


Vista superior da caixa de inspeção do poço de monitoramento de águas subterrâneas

Fonte: SANTEC (2008)

Monitoramento geotécnico

No caso do monitoramento geotécnico, a infra-estrutura abrange um conjunto de piezômetros usados para verificar, periodicamente, a estabilidade de taludes das células de resíduos sólidos. A leitura destes piezômetros determina a pressão sobre o lençol freático subterrâneo que é exercida pelo maciço superior. Esta medida de pressão é um importante indicador da estabilidade do maciço de resíduos sólidos. As figuras a seguir ilustram a seção transversal e a vista superior de um poço piezométrico de monitoramento empregado no monitoramento de estabilidade de taludes.



Seção transversal de um poço piezométrico

Fonte: CM (2008)



Vista superior de caixa de inspeção de poço piezométrico

Fonte: AEMATG (2008)

Os poços piezométricos devem dispor de profundidade suficiente para atingir o embasamento rochoso, de modo a captar as tensões do solo a partir de uma base firme. Em seu topo, estes poços devem ser dotados de coroamento de concreto e caixas de inspeção, visando prover estabilidade e proteção à tubulação do poço contra ações mecânicas.

IMPORTANTE: O monitoramento da estabilidade de taludes de células de resíduos sólidos é fundamental para verificar a necessidade de adotar ações preventivas de engenharia para minimizar a ocorrência de deslizamentos de massas de resíduos que possam comprometer a segurança das operações do aterro sanitário.

5.8 – Serviços complementares

Os serviços complementares abrangem medidas de manejo florestal capazes de mitigar impactos visuais, reduzir a propagação de odores e manter o controle biológico de vetores nocivos à saúde humana.

Uma das principais medidas de manejo florestal consiste no plantio de um cinturão verde no entorno do aterro sanitário, com o uso de espécies nativas, conforme ilustra a figura ao lado.



Cinturão verde da Central de Tratamento e Destinação Final de Resíduos Sólidos do Município de Ipatinga (MG)

Fonte: SANTEC (2008)

Os principais benefícios da implantação de um cinturão verde em um aterro sanitário são:

- Barreira natural contra a propagação de adores e poeira para áreas habitadas;
- Abrigo para espécies nativas predadoras (ex.: aves de rapina) de vetores nocivos à saúde humana (ex.: ratos e insetos), que promove o controle biológico natural destes vetores;
- Repovoamento do entorno do aterro sanitário com espécies nativas tanto da flora como da fauna locais;
- Melhoria do aspecto visual do aterro sanitário;
- Neutralização de CO₂ emitido pela queima ou aproveitamento energético dos resíduos sólidos.



OPERAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO

6.1 – Etapas operacionais de um aterro sanitário

Basicamente, as atividades operacionais de um aterro sanitário podem ser agrupadas em três etapas, descritas a seguir:

- Etapa de preparação: consiste na execução dos serviços de impermeabilização e na construção de redes de drenagem de chorume e gases residuais para a disposição final de resíduos sólidos;
- Etapa de execução: consiste nas atividades de manejo dos resíduos sólidos, incluindo: basculamento em frente de serviço, espalhamento, compactação e recobrimento diário dos resíduos com material inerte (ex.: areia). Além disso, devem ser executadas medidas de construção e de manutenção na rede de drenagem de águas pluviais provisórias;
- Etapa de conclusão: consiste na selagem das células de resíduos sólidos que atingiram sua capacidade máxima, por meio de material impermeabilizante (ex.: manta PEAD) e camada de proteção mecânica (material inerte). Além disso, esta etapa abrange a execução de “coroamento” nos drenos de gases residuais das células de resíduos sólidos e a execução de redes permanentes de drenagem de águas pluviais.



Fonte: SANTEC (2008)

6.2 – Métodos construtivos de células de resíduos sólidos

A construção de células para a disposição final de resíduos pode ser implementada por três métodos distintos:

- Método de trincheira: compreende a abertura de valas no solo, geralmente no formato de trincheiras, onde os resíduos são basculados e, em seguida, espalhados, compactados e recobertos diariamente por material inerte. Neste método, o material escavado pode ser aproveitado como material inerte de cobertura dos resíduos sólidos, minimizando custos de transporte de materiais;



Fonte: CSF (2008)

► 6. OPERAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO

• Método de rampa: compreende na disposição final de resíduos sólidos em rampas que aproveitam o desnível natural do solo. Neste método, a disposição dos resíduos é promovida de modo a compor uma rampa ascendente sobre um talude natural.



Fonte: CSF (2008)

• Método de área: compreende na disposição final de resíduos sólidos em depressões naturais do relevo, minimizando a necessidade de escavações de células de resíduos sólidos. Neste método, os resíduos são dispostos no fundo regularizado da depressão natural de relevo, sendo o acesso de máquinas e equipamentos providos por rampas executadas nas margens dos taludes naturais. Contudo, este método requer o empréstimo sistemático de material inerte de cobertura para as células de resíduos sólidos, acarretando custos de transporte de materiais.



Fonte: CSF (2008)

6.3 – Rotinas operacionais

Principais
rotinas
operacionais

- Controle de recebimento de resíduos sólidos;
- Operações de manejo de resíduos sólidos;
- Construção e manutenção de redes de drenagem;
- Recuperação de áreas concluídas.

IMPORTANTE: Todas as atividades operacionais do aterro sanitário devem ser descritas de forma simples e objetiva no Plano Operacional do Aterro Sanitário.

Controle de recebimento de resíduos sólidos:

O início das atividades operacionais do aterro sanitário compreende a recepção dos resíduos sólidos, por meio de mecanismos de controle de acesso, de identificação de origem, de classificação e de triagem dos resíduos sólidos encaminhados ao aterro. As principais ações de controle abrangem:

- Identificação de origem do veículo coletor de resíduos sólidos;
- Pesagem dos resíduos sólidos na guarita de acesso, por meio de balança rodoviária;
- Classificação dos resíduos sólidos, dentre suas categorias principais: doméstico, industrial, hospitalar, capina e varrição, esgoto sanitário;

► 6. OPERAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO

- Triagem dos resíduos recebidos para fins de destinação adequada nas células de disposição de resíduos sólidos ou unidades de reciclagem adequadas.



Entrada do aterro sanitário da Associação de Municípios da Raia-Pinhal - Portugal

Fonte: AMRP (2008)

Pesagem de veículo coletor de resíduos sólidos no aterro sanitário de Teresina

Fonte: TCE-PI (2008.d)



- Basculamento ou descarga de resíduos sólidos pelas unidades coletares, nas células de contenção dos resíduos;
- Espalhamento (camadas de 50 cm) e compactação (3 a 6 passadas de trator) dos resíduos sólidos por tratores de esteiras no leito das células de contenção;
- Recobrimento diário dos resíduos sólidos espalhados com material inerte, visando a minimização da exposição do lixo a intempéries (ex.: chuvas que possam ocasionar aumento do volume de chorume gerado), animais (ex.: urubus e ratos) e catadores irregulares de resíduos recicláveis;
- Selagem final de células de resíduos sólidos com material impermeável, quando a célula atinge sua capacidade máxima. Sobre esta camada de selagem é espalhada também uma camada de material inerte que serve de proteção mecânica para a camada de impermeabilização.

Operações de manejo de resíduos sólidos:

As operações de manejo de resíduos sólidos nas células de contenção abrangem desde a descarga dos resíduos até selagem das células, visando a mitigação dos impactos destes resíduos sobre a saúde pública e o meio ambiente. Para tanto, são empregadas máquinas, equipamentos e procedimentos técnicos de engenharia sanitária. As principais ações de manejo abrangem:

► 6. OPERAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO



Descarga de resíduos sólidos em frente de serviço na célula de contenção - Fonte: ERSUC (2008)

Espalhamento e compactação de resíduos sólidos na célula de contenção - Fonte: ERSUC (2008)



Recobrimento de resíduos sólidos com material inerte - Fonte: ERSUC (2008)

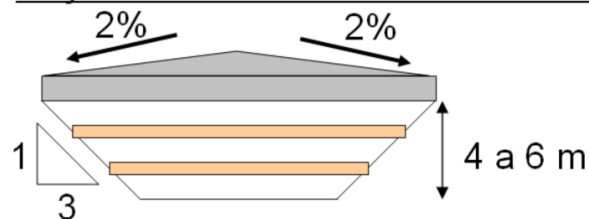
Impermeabilização de base das células de concentração de resíduos sólidos com manta PEAD - Fonte: ERSUC (2008)



IMPORTANTE: As células de resíduos sólidos devem ser dimensionadas para um período mínimo de 20 dias de operação, quando então são seladas. Novas células só poderão ser sobrepostas às células encerradas após 60 dias de sua selagem.

A cobertura diária e a selagem definitiva dos resíduos sólidos devem obedecer a uma sistemática que resulte numa seção transversal das células de contenção similar ao mostrado na figura a seguir.

Seção Transversal – Célula de RS:



Fonte: TCE-PI (2008a)

■ Recobrimento final da célula de RS com altura de no mínimo 50 cm de material inerte compactado.

■ Recobrimento diário e RS com altura de 20 a 30 cm de material inerte (Areia) compactado.

➔ Caimento de drenagem águas pluviais.

Nesta figura, os taludes têm inclinação de 1:3 e as células para disposição de resíduos têm de 4 a 6 m de profundidade, com largura que varia de 10 a 15 metros, dependendo do volume de resíduos a ser acomodado. Além disto, as camadas de resíduos compactados devem ser recobertas diariamente por camada de material inerte de pelo menos 20 cm. Ao final, a célula encerrada deve ser impermeabilizada por manta de PEAD, recebendo ainda uma camada de material inerte capaz de garantir a proteção mecânica da manta. Esta camada de material inerte deve dispor de um caimento mínimo de 2% e de uma rede de drenagem definitiva de águas pluviais para promover o adequado escoamento das

► 6. OPERAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO

águas das chuvas.

Construção e manutenção de redes de drenagem

A construção e a manutenção de redes de drenagem de águas pluviais deve ser implementada atendendo as seguintes ações de controle:

- Construção de drenos superficiais provisórios (ex.: valas) para águas pluviais em células de contenção de resíduos sólidos que estão em plena operação;
- Construção de drenos superficiais definitivos (ex.: sarjetas) para águas pluviais em células de contenção de resíduos sólidos que estejam encerradas e seladas;
- Execução de limpeza periódica das redes de drenagem, visando sua desobstrução e o escoamento normal de águas pluviais.

Recuperação de áreas concluídas

A recuperação de áreas concluídas do aterro sanitário abrange atividades de reutilização de áreas ocupadas por células de resíduos sólidos consolidadas, incluindo:

- Plantio da área concluída com espécies nativas da região que tenham raízes curtas, crescimento rápido e frutificação precoce. Estas propriedades favorecem o rápido repovoamento da fauna nativa, que atua como agente disseminador de sementes;
- Reflorestamento de áreas concluídas com pelo menos 10 anos de selagem das células de contenção de resíduos sólidos, empregando espécies nativas

arbustivas e arbóreas;

A recuperação de áreas consolidadas (células de contenção de resíduos sólidos seladas) do aterro sanitário traz como benefício: a melhora paisagística local e o repovoamento da área com espécies da fauna e da flora nativas. As espécies da flora nativa usadas no reflorestamento, podem ser cultivadas em viveiros localizados dentro do aterro sanitário.



Fonte: BRADESCO (2008)



Fonte: TOE (2008)

IMPORTANTE: As ações de recuperação de áreas concluídas de aterro sanitário não devem incluir a construção de edificações, tendo em vista a precária capacidade de suporte do solo que pode ocasionar riscos à integridade das edificações, a longo prazo.

6.4 – Tratamento de chorume

A deterioração da matéria orgânica contida no interior das células de aterros sanitários gera um resíduo líquido denominado chorume, o qual apresenta elevado potencial poluente. Este resíduo deve ser adequadamente coletado e tratado, visando a minimização de seus impactos ambientais sobre o solo e sobre os corpos hídricos.

Definição de chorume

O chorume é um líquido escuro, denso e de odor desagradável, constituído por ácidos orgânicos e substâncias resultantes da decomposição dos resíduos sólidos. A figura abaixo apresenta uma unidade de contenção precária de chorume, na forma de um poço escavado em solo natural.



Fonte: TCE-PI (2008.d)

IMPORTANTE: O chorume é composto basicamente por nitrogênio, cloretos, sulfatos, metais e coliformes fecais, cuja quantidade varia conforme a idade do chorume. Em geral, o potencial poluente do chorume reduz-se com a idade do mesmo, necessitando de tratamento simplificado após 10 anos.

Estimativa de vazão do chorume

A estimativa da vazão de chorume produzida pelas células de resíduos sólidos de um aterro sanitário é fundamental para o dimensionamento e o projeto de unidades de tratamento deste líquido poluente. Uma alternativa de estimativa de vazão pode ser obtida por meio da equação abaixo:

$$V = f \cdot A$$

- V: volume de produção de chorume (m³/dia);
- f: fator de expansão (0,0004 – lixo coberto por argila ou 0,0008 lixo descoberto);
- A: área operacional do aterro sanitário (m²).

Esta equação fornece apenas uma estimativa de vazão média de chorume, uma vez que a produção de chorume pode variar conforme:

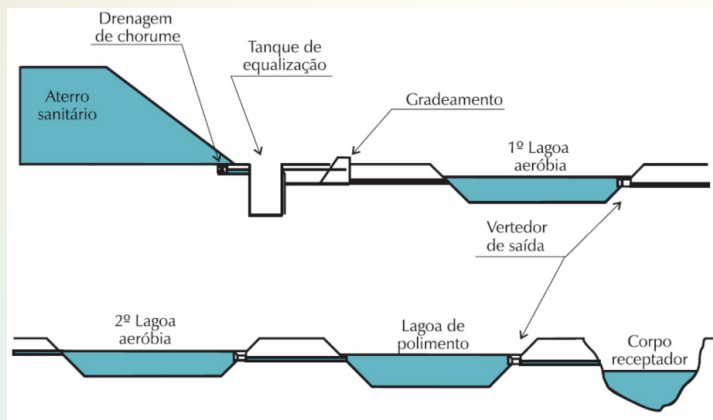
- as condições climáticas da região (temperatura, umidade e regime de chuvas);
- existência e nível de manutenção de rede de drenagem de águas pluviais;

► 6. OPERAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO

- tipo de material de cobertura e selagem usados nas células de resíduos sólidos;
- existência e tipo de cobertura vegetal em áreas concluídas do aterro sanitário.

Tratamento convencional

O tratamento do chorume compreende na redução de sua carga poluente em condições aceitáveis para sua disposição final em solo ou em corpo hídrico (ex.: rios), conforme legislação pertinente. O tratamento mais comum é feito em Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), por meio de lagoas de estabilização, onde o chorume é decomposto biologicamente, pela ação de bactérias aeróbias e anaeróbias. Este tipo de tratamento segue as seguintes etapas básicas: contenção preliminar, gradeamento, lagoas de estabilização e lagoa de polimento, conforme figura abaixo:



Seqüência de Tratamento de Chorume em uma ETE

Fonte: IBAM (2001)

Inicialmente, a etapa de **Contenção Preliminar** compreende a armazenagem do chorume coletado pela rede de drenagem das células de resíduos sólidos, visando a homogeneização máxima de sua composição. Para tanto, o chorume deve ter um tempo de detenção de 24 h neste tanque, além de sofrer processo de homogeneização por meio de aeradores mecânicos.



Tanque de equalização de esgoto

Fonte: BFC (2008)

Após a contenção preliminar, procede-se à etapa de **Gradeamento**. Nesta etapa, o chorume passa por peneiramento ou gradeamento mecânico em uma calha de concreto, de modo a promover a retirada de sólidos grosseiros da massa líquida homogeneizada.

► 6. OPERAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO



Calha de gradeamento de esgoto

Fonte: BFC (2008)

Depois de gradeado, o chorume é encaminhado para um conjunto de **Lagoas de Estabilização Aeróbias**, posicionadas em série. Nestas lagoas, a matéria orgânica contida no chorume é decomposta pela ação de bactérias que usam o oxigênio, minimizando a formação de gás sulfídrico (gás com odor desagradável). Para tanto, estas lagoas devem ter dois pontos de descarga de esgoto e profundidade máxima de 1,5 m, bem como promover a detenção do chorume por 25 dias, no máximo.



Lagoa aeróbia de estabilização de chorume

Fonte: DAEE (2008)

Após a redução de carga orgânica, o chorume é submetido a uma maturação (depuração da matéria orgânica pela ação da radiação solar) em uma **Lagoa de Polimento**, por um período máximo de 7 dias. Este tipo de lago tem características similares às lagoas de estabilização. Periodicamente, o lodo acumulado na lagoa de polimento deve ser removido para não comprometer a eficiência do tratamento do chorume. O lodo removido deve ser disposto em leito de secagem para sua desidratação, sendo em seguida encaminhado para o aterro sanitário ou usado como fonte para atividades de compostagem do aterro.



Leito de secagem de efluente do tratamento de chorume

Fonte: SAAAP (2008)

Tratamentos alternativos

O tratamento do chorume pode ser implementado por variadas tecnologias, incluindo: sistema de lodo ativado e sistema de evaporação. No primeiro, a matéria orgânica contida no chorume é decomposta por bactérias aeróbias, em tanques de aeração. O efluente deste tanque é encaminhado

► 6. OPERAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO

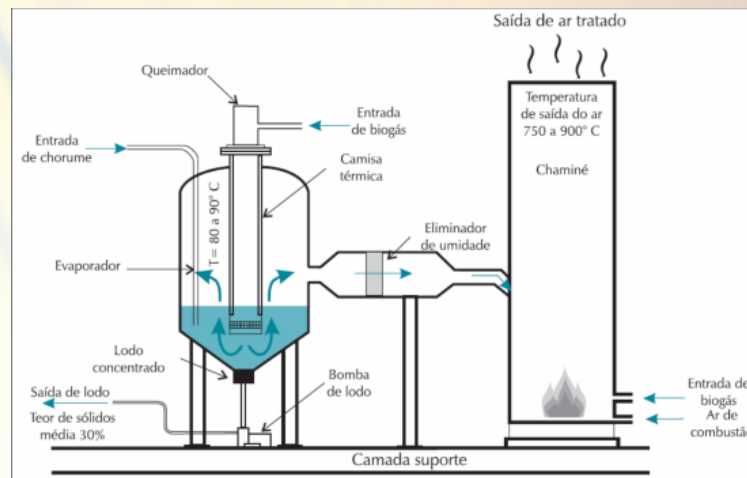
posteriormente para decantadores, onde ocorre a decantação do lodo resultante da degradação do chorume. Em seguida, o lodo decantado retorna para a entrada do tanque de aeração, como forma de reativação da população de bactérias neste tanque, aumentando assim a eficiência do processo.



Sistema de lodo ativado de tratamento de chorume

Fonte: CESAN (2008)

No caso do tratamento por evaporação, o chorume é aquecido em tanques metálicos à temperaturas de até 90 ° C, promovendo a evaporação da parte líquida do chorume e aumentando a concentração da parte sólida. Em seguida, o vapor quente é filtrado e encaminhado para câmara de aquecimento e exaustão final. Já a parte sólida decantada do chorume “lodo” é coletada e enviada para leitos de secagem.



Sistema de evaporação de tratamento de chorume

Fonte: IBAM (2001)

IMPORTANTE: O efluente resultante do tratamento do chorume só pode ser lançado no corpo hídrico receptor (ex.: rios) se atender às condições e aos padrões de lançamento de efluentes definidos pela Resolução CONAMA N° 357/2005 de 17/03/2005.

6.5 – Tratamento de gases residuais

A degradação dos resíduos sólidos gera um gás residual denominado Biogás. A maior parte do biogás é composta por metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2), em geral. Ambos os gases são importantes contribuintes para o aumento do

► 6. OPERAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO

efeito estufa e, conseqüentemente, o aquecimento global. Desta forma, o correto tratamento do biogás pode resultar em menores impactos da operação de aterros sanitários sobre o meio ambiente. O tratamento adequado do biogás de aterros sanitários pode ser implementado por métodos convencionais e métodos alternativos.

Tratamento convencional

O tratamento convencional compreende na drenagem e posterior queima simples do metano produzido no interior das células de contenção dos resíduos sólidos. Para tanto, a infra-estrutura de drenagem pode ser construída sob dois métodos: concomitante ou posteriore.

Método concomitante: neste método a rede de drenagem do biogás é construída à medida que as células de contenção de resíduos sólidos vão sendo ocupadas com resíduos. Nesse método, os poços de drenagem são compostos por canos verticais com furos espaçados de 50 a 60 m. Esses canos são envoltos em brita para minimizar o efeito de colmatção (entupimento) dos drenos, sendo esta brita sustentada por uma tela metálica envoltória. Após a selagem das células de resíduos sólidos, deve-se promover o coroamento dos drenos verticais por meio de pedra armada, visando a proteção mecânica destes drenos. Em seguida, deve-se ainda instalar queimadores permanentes para promover a combustão controlada e contínua do biogás exaurido.



Drenos verticais em construção concomitante

Fonte: SANTEC (2008)



Coroamento de drenos verticais com queimadores

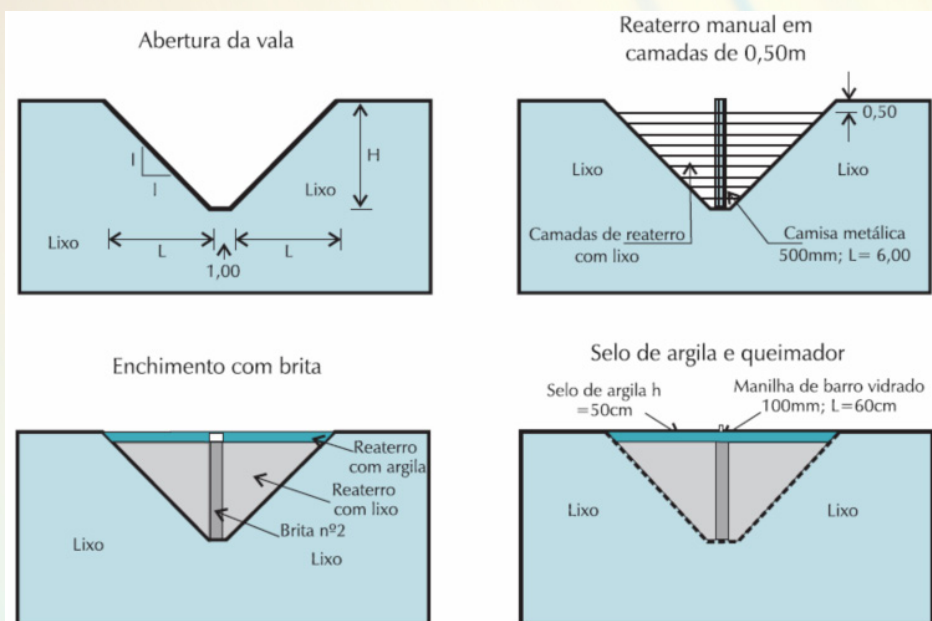
Fonte: Makva (2008)

Método posteriore: nesse método, a rede de drenagem do biogás é construída após a finalização das células de resíduos sólidos. Para tanto, deve-se abrir valas na massa de resíduos compactados. Essas valas devem ser executadas de modo que a largura de escavação seja diminuída à medida que a escavação se aprofunde. Em

► 6. OPERAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO

seguida, deve-se instalar os canos de drenagem vertical do biogás. Cada cano deve ser envolvido por uma coluna de brita devidamente aramada por uma tela metálica. Depois, a vala escavada é reaterada com o lixo escavado em camadas compactadas de 50 cm. Ao final, deve-se instalar queimadores permanentes para promover a combustão controlada e contínua do biogás exaurido.

IMPORTANTE: Independente do método de drenagem de biogás, o topo do poço deve dispor de uma camada de argila compactada em um raio de 2,0 m, para minimizar a “fuga” de biogás para a atmosfera.



Drenos verticais construídos após a conclusão de células de resíduos sólidos

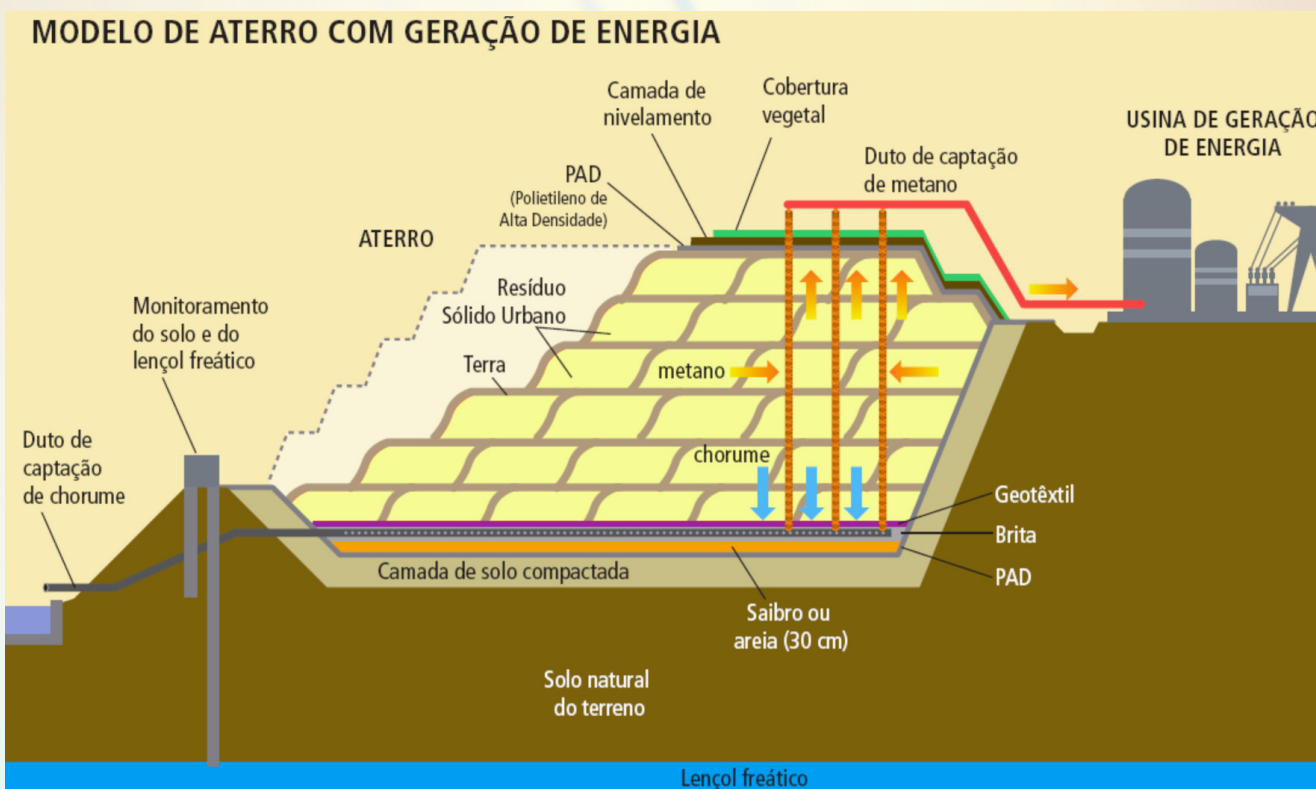
Fonte: IBAM (2001)

► 6. OPERAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO

Tratamento alternativo

Alternativamente à simples queima do biogás, os aterros sanitários podem promover o aproveitamento energético da combustão do CH_4 contido no biogás. A combustão do metano gera energia elétrica, CO_2 e vapor d'água, sendo executada por moto-geradores numa usina de geração de energia. Estes

moto-geradores são alimentados por uma rede de gasodutos superficial que efetua a coleta do biogás drenado pela rede de tubos verticais imersa no interior das células de resíduos sólidos do aterro sanitário. A figura abaixo ilustra o esquema geral de funcionamento de uma usina de aproveitamento energético de biogás de aterro sanitário.



Fonte: ABRELPE (2006)

IMPORTANTE: A sustentabilidade do aproveitamento energético do biogás de aterros sanitários depende de:

- a) Impermeabilização, via PEAD, da base e da parte superior do aterro de resíduos sólidos, visando a contenção adequada do biogás;
- b) Regularidade de fornecimento de biogás, que deve ser garantida por bombas a vácuo ligadas aos gasodutos superficiais;
- c) Produção mínima de biogás, geralmente atendida por aterros com capacidade total de 500 mil t e recepção diária de 200 t/dia.

6.6 – Créditos de carbono

Geração:

Além do aproveitamento energético do biogás, a redução do CH_4 a CO_2 promovida pelas usinas de geração de energia dos aterros sanitários pode gerar “créditos de carbono”, uma vez que o empreendimento seja enquadrado como Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). Os MDL abrangem empreendimentos destinados à redução das emissões ou a remoção de gases formadores do efeito estufa, como o CH_4 e o CO_2 , devidamente reconhecidos e certificados pela Organização das Nações Unidas (ONU). Como exemplo de MDL é possível citar: reflorestamento de áreas devastadas e o aproveitamento energético de biogás de aterros sanitários.

No primeiro caso, as árvores plantadas executam o processo de fotossíntese, retirando o CO_2 da atmosfera. Dessa forma, as áreas reflorestadas funcionam como sumidouros de carbono. No segundo caso, usinas térmicas geram energia elétrica através da combustão do metano contido no biogás drenado das células de resíduos sólidos no aterro sanitário. O processo de combustão é implementado por meio de conjuntos moto-geradores.



Moto-geradores usados no aproveitamento energético de biogás do Aterro Sanitário de Bandeirantes, São Paulo, SP

Fonte: ARCADIS Logos Energia (2008)

Com a combustão, cada molécula de metano (CH_4) é convertida em duas de água (estado de vapor) e uma de gás carbônico (CO_2). Este gás tem um potencial de causar efeito estufa 21 vezes menor que o metano. Dessa forma, cada grama de metano queimado significa que deixa-se de emitir para a atmosfera 20 gramas de CO_2 , gerando

► 6. OPERAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO

créditos de carbono.

MDL – Aterros Sanitários

- a) Gases contribuintes do efeito estufa: CH₄ e CO₂
- b) Poder de contribuição: 1 CH₄ = 21 CO₂
- c) Combustão do metano:
$$1 \text{ CH}_4 + 2 \text{ O}_2 \rightarrow 2 \text{ H}_2\text{O} + 1 \text{ CO}_2 + \text{Energia}$$
- d) Créditos de carbono:
Combustão de 1 CH₄ → Gera retenção de 20 CO₂
(Queima de 1 CH₄ = Crédito de 20 CO₂)

Comercialização:

Créditos de carbono certificados pela ONU são denominados Certificados de Redução de Emissões (CRE). Os CRE podem ser comprados por países signatários do Protocolo de Kyoto (1997), visando o atendimento de metas de redução de emissão de gases causadores do efeito estufa estipuladas neste protocolo. No caso dos MDL de aterros sanitários, as receitas com a comercialização dos CRE podem ser usadas para o financiamento da implantação e da operação da infraestrutura deste aterro.

A Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) estima uma receita média anual de R\$ 145,5 milhões com a comercialização de CRE dos MDL de nove aterros sanitários localizados nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Espírito Santo e Bahia,



A título de ilustração, no último dia 25 de setembro de 2008, a Prefeitura de São Paulo arrecadou R\$ 37 milhões com a venda de 713 mil toneladas de créditos de carbono (R\$ 51,9/tonelada) para a empresa Suíça denominada Mercuria Energy Trading S.A. Os CRE comercializados foram gerados pelos aterros sanitários de Bandeirante e de São João, em São Paulo, conforme NASCIMENTO (2008).

6.7 – Monitoramento ambiental

O monitoramento ambiental abrange a verificação periódica dos níveis de poluição nos corpos hídricos superficiais

► 6. OPERAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO

(ex.: rios) e subterrâneos (ex.: lençol freático). Para tanto, são coletadas amostras de água nestes corpos hídricos, periodicamente. As amostras coletadas são submetidas à análise laboratoriais físico-químicas (ex.: Ph, DBO, DQO), visando aferir se os níveis de poluição da água estão dentro das especificações do CONAMA (Resolução CONAMA Nº 357/2005 de 17/03/2005).

Monitoramento do lençol freático

No caso do lençol freático, a coleta de amostras é feita por meio de poços de monitoramento instalados antes e depois do aterro. A coleta nestes dois pontos visa aferir o nível de impacto causado pelo aterro sanitário sobre o lençol freático subterrâneo.



Poço de monitoramento de águas subterrâneas.

Fonte: SANTECE (2008)

Monitoramento de corpos hídricos superficiais receptores:

No caso de corpos hídricos superficiais (ex.: rios) receptores de efluentes tratados (chorume tratado), o monitoramento

ambiental deve ser feito em dois momentos. No primeiro, executam-se análises físico-químicas do efluente bruto coletado no tanque de equalização e do chorume tratado após a lagoa de polimento. A partir da comparação destes resultados é possível determinar o nível de eficiência de redução de carga poluente do chorume pela ETE.

Num segundo momento, deve-se coletar amostras de água diretamente no leito do rio, tanto no local de despejo do efluente tratado como em pontos a jusante do rio. Os resultados das análises físico-químicas dessas amostras permitem aferir se o efluente lançado no rio atende às normas legais. Além disso, a análise desses resultados permite aferir a capacidade do rio no que tange à depuração do efluente lançado.



Coleta de amostra em águas superficiais.

Fonte: CMN (2008)

6.8 – Monitoramento geotécnico

O monitoramento geotécnico compreende a verificação periódica da estabilidade de maciços de resíduos sólidos compactados, tanto durante a construção como após o encerramento e selagem das células de contenção de resíduos sólidos.

Monitoramento durante a construção de células:

Durante a etapa de construção, o monitoramento geotécnico é efetuado de forma preventiva, por meio do acompanhamento topográfico da terraplenagem e da escavação (inclinações e declividades) das células de contenção de resíduos sólidos.



Acompanhamento topográfico da construção da célula de resíduos sólidos.

Fonte: SANTEC (2008)

Monitoramento após a selagem de células:

Após a finalização e a selagem das células de contenção de resíduos sólidos, o monitoramento geotécnico é implementado por dois métodos: o topográfico e o piezométrico. No primeiro, técnicos especializados aferem a estabilidade das declividades dos taludes das células, por meio de levantamentos topográficos.



Acompanhamento da instabilidade de maciços após a finalização e a selagem de célula de resíduos sólidos.

Fonte: SANTEC (2008)

No segundo, a estabilidade do maciço é indicada a partir da leitura de piezômetros que estimam a pressão interna do lençol freático subjacente ao maciço.



Piezométrico

Fonte: ARACRUZ (2008)

6.9 – Máquinas e equipamentos

A operação de aterros sanitários consiste na movimentação de várias toneladas diárias de resíduos sólidos e de material de cobertura (ex.: solo). Esta operação envolve a escavação de valas, o espalhamento e o recobrimento de resíduos sólidos. Para promover estas operações são necessários veículos e máquinas específicas, tais como: caminhão pipa, caminhão basculante, pá carregadeira, retro escavadeira, escavadeira hidráulica e trator de esteira.

Caminhão-pipa: caminhão toco com carroceria adaptada com tambores para o transporte e aspersão de líquidos. Em aterros sanitários, estes caminhões são usados para a construção de células de resíduos sólidos (compactação da base) e/ou na aspersão (reciclagem) de chorume sobre células consolidadas.



Caminhão-pipa

Fonte: PA (2008)

Caminhão basculante: caminhão toco com carroceria adaptada com caçambas basculantes para o transporte de materiais sólidos. Nos aterros sanitários, este tipo de caminhão é empregado nas etapas de terraplenagem e de construção de células de resíduos sólidos (transporte de material escavado e/ou material para aterro). Além disso, esses veículos são usados para o transporte de material inerte (ex.: solo), usado para o recobrimento diário dos resíduos sólidos.



Caminhão basculante

Fonte: SANTEC (2008)

► 6. OPERAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO

Pá carregadeira: trator de pneus dotado de lança com caçamba usada para captar, transportar e carregar materiais sólidos em caminhões basculantes. Nos aterros sanitários, a pá carregadeira é usada para a carga de material inerte em caminhões basculantes, empregados na construção (terraplenagem) e na operação (recobrimento) de células de resíduos.



Caminhão basculante

Fonte: Marcosa (2008)

Retro escavadeira: trator de pneus dotado de lança com caçamba, tanto na parte frontal como na parte traseira. Estes implementos permitem tanto a carga de material em caminhões, como a escavação de valas. Nos aterros sanitários, a retro escavadeira tem várias aplicações, tais como: carga de material inerte em caminhões basculantes, escavação de valas para implantação da rede de drenagem de chorume e de águas pluviais.



Retro escavadeira

Fonte: SANTEC (2008)

Escavadeira hidráulica: tipo de trator dotado de esteira com lança e caçamba, capaz de executar movimento de rotação de 360° da cabine. Este equipamento permite, simultaneamente, a escavação de valas e a carga de caminhões basculantes. Nos aterros sanitários, a escavadeira hidráulica é empregada na abertura das células de contenção de resíduos sólidos.



Escavadeira hidráulica

Fonte: TCE-PI (2008.d)

► 6. OPERAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO

Trator de esteiras: máquina usada para escavar e empurrar material através de uma lâmina acoplada na dianteira do equipamento, também conhecidos como trator com lâmina. Nos aterros sanitários, o trator de esteiras é usado para espalhar e compactar resíduos sólidos em camadas, bem como promover a cobertura diária destes resíduos com material inerte.



Trator de esteiras

Fonte: TCE-PI (2008.d)

IMPORTANTE: As máquinas e equipamentos empregados no manejo de resíduos sólidos em aterros sanitários apresentam elevados custos de aquisição e de manutenção. Além disso, a operação dessas máquinas requer o uso de mão-de-obra qualificada.

PROPOSIÇÕES PARA
A DISPOSIÇÃO FINAL DE
RESÍDUOS SÓLIDOS

7.1 - Fontes de financiamento

MINISTÉRIO DAS CIDADES

Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA):

Programa Saneamento para Todos:

- Objetivo: financiamento de operações de crédito para execução de ações de saneamento básico (abastecimento de água, esgoto sanitário, resíduos sólidos).
- Fontes de recursos: FGTS e FAT
- Requisitos de acesso: conforme previsto em editais públicos publicados no site do Ministério das Cidades (www.cidades.gov.br)
- Volume de recursos (2008): R\$ 307,4 milhões para 97 projetos de disposição final de RSU.

MINISTÉRIO DA SAÚDE

Fundação Nacional de Saúde (FUNASA):

Programa Saneamento em Municípios com População Total de até 50.000 hab.:

- Objetivo: fomentar a implantação e ou a ampliação de sistemas de coleta, transporte e tratamento e/ou destinação final de resíduos sólidos para controle de endemias e epidemias.
- Ações financiáveis:
 - Implantação ou ampliação de aterros sanitários;
 - Aquisição de equipamentos, veículos automotores;

- Construções de unidades de triagem e/ou compostagem e coleta seletiva.
- Fontes de recursos: PAC
- Requisitos de acesso: conforme editais públicos publicados no site da FUNASA (www.funasa.gov.br)
- Volume de recursos: R\$ 170,8 bilhões para projetos de infra-estrutura social e urbana (2007 a 2010), incluindo projetos de saneamento (ex.: aterros sanitários).

IMPORTANTE: O acesso às fontes de financiamento para serviços de limpeza pública e empreendimentos de manejo de resíduos sólidos requer a existência de projeto técnico especializado. Além disso, esses projetos devem estar integrados a um Plano de Saneamento Básico, conforme prevê a Lei de Saneamento (Lei Nº 11.445 de 5/01/2007).

Alternativa de financiamento:

O aporte de recursos para a implantação de aterros sanitários pode ser efetuado por meio de fundos setoriais conjuntos, onde são captados recursos municipais, estaduais e federais. Esses recursos poderiam ser empregados para financiar a implantação e a operação de aterros sanitários consorciados, os quais promoveriam a disposição final de resíduos sólidos dos municípios consorciados.

7.2 – Sugestão de alternativas

ALTERNATIVA 01: Recuperação ambiental de vazadouros a céu aberto (lixões), substituindo-os por aterros controlados simplificados, inicialmente, visando a implantação futura de aterros sanitários.

IMPORTANTE: Os aterros controlados não efetuam o tratamento adequado do chorume e do biogás, sendo, portanto, necessário e preferencial a implantação posterior de um aterro sanitário.

ALTERNATIVA 02: Implantar aterros sanitários consorciados com a abrangência regionalizada para o destino final de resíduos sólidos. Esses aterros podem ser implementados como consórcios públicos, sendo gerenciados de forma associativa pelos municípios participantes. Nesse modelo de gestão, todos os municípios beneficiados compartilham os custos de operação do aterro sanitário na proporção de sua utilização. Já o financiamento dos custos de implantação pode ser subsidiado por recursos de fundos setoriais, mantidos por Municípios, Estados e União.

ALTERNATIVA 03: Implantar MDL nos aterros sanitários, capaz de promover o aproveitamento energético do biogás e gerar créditos de carbono (CRE), de modo que as receitas obtidas com a comercialização de CRE possam ser usadas para financiar a implantação e operação do aterro sanitário.

ALTERNATIVA 04: Implantar unidades de reciclagem de

resíduos sólidos em aterros sanitários, tais como: unidades de compactação de resíduos recicláveis (plásticos, metais e papel), pátios de compostagem de matéria orgânica, pátios de trituração de pneus etc.

ALTERNATIVA 05: Cobrança de tarifa, por parte do gestor do aterro sanitário, para executar a recepção e a disposição final de resíduos sólidos provenientes de grandes unidades geradoras (ex.: supermercados, shopping centers).

ALTERNATIVA 06: Implantar sistema de coleta seletiva de resíduos sólidos recicláveis, com a inclusão social. Nesse sistema, a exploração precária da coleta de resíduos recicláveis, em vazadouros a céu aberto, deve ser substituída pela coleta seletiva sistematizada. Nesta modalidade de coleta, os catadores são transformados em agentes de reciclagem, devidamente capacitados e munidos de equipamentos e EPI's apropriados para a coleta seletiva junto aos domicílios.

Características da Coleta Seletiva Sistematizada com Inclusão Social:

- Coleta periódica e setorizada espacialmente;
- Coleta direta de resíduos recicláveis nos domicílios, pela ação de agentes de reciclagem (“catadores”) reunidos em associações e devidamente capacitados;
- Comercialização conjunta de resíduos recicláveis pelas associações, visando o ganho de escala e um maior poder de negociação dos associados;
- Coordenação e apoio institucional da Prefeitura Municipal para a implantação e a operação do sistema de coleta seletiva sistematizada.

► 7. PROPOSIÇÕES PARA A DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

IMPORTANTE: A implantação de um sistema de coleta seletiva de resíduos sólidos deve ser apoiada pela Prefeitura Municipal por meio de várias ações, tais como:

- Consultoria jurídica para a criação das associações de catadores;
- Execução de cursos de capacitação (ex.: relações interpessoais, empreendedorismo, legislação, resíduos recicláveis, EPI, manejo de resíduos sólidos) junto aos catadores;
- Transporte consolidado de resíduos recicláveis coletados;
- Apoio à comercialização dos materiais recicláveis.

7.3 – Estudos de caso

ATERROS SANITÁRIOS CONSORCIADOS

No Brasil destacam-se dois aterros sanitários que operam no modelo consorciado, localizados nos municípios de Duque de Caxias COMLURB (RJ) e de Salvador LIMPURBE (BA). No caso de Salvador, o aterro sanitário metropolitano centro, com 250 ha de área, é compartilhado pelos municípios de Salvador, Lauro de Freitas e Simões Filho, por meio de convênio de cooperação.

Este aterro é licenciado pelo Centro de Recursos Ambientais (CRA) para receber somente resíduo sólidos domiciliares, enquadrando-se na categoria Classe IIA. A operação deste aterro é promovida pela empresa BATTRE, em regime de concessão, por um período de 20 anos.

Em 2006, o aterro do centro recebeu 835.839 toneladas de resíduos domiciliares, sendo 91% proveniente de Salvador, 7% de Lauro de Freitas e 2 % de Simões Filho. Além da disposição final, este aterro ainda promove o aproveitamento energético do biogás, gerando ainda Certificados de Redução de Emissões (CRE), cuja comercialização subsidia o financiamento do empreendimento. No caso do chorume, o referido aterro coleta o efluente drenado das células de resíduos sólidos, transportando-o para tratamento adequado na Estação de Tratamento de Efluente da Empresa de Proteção Ambiental do Estado do Piauí.



Aterro sanitário consorciado de Salvador

Fonte: LIMPURB (2008)

Além dos exemplos de Salvador e de Duque de Caxias, existem vários projetos de implantação de aterros sanitários consorciados no Brasil. No Estado do Piauí, por exemplo, existe um projeto para implantação de um aterro sanitário consorciado no município de Parnaíba (PI). Esse aterro deverá promover a

► 7. PROPOSIÇÕES PARA A DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

disposição final de resíduos sólidos dos municípios de Parnaíba, Luís Correia, Cajueiro da Praia e Ilha Grande.

O SISTEMA DE COLETA SELETIVA DE LONDRINA (PR)

A cidade de Londrina, no Estado do Paraná, com uma população de 497 mil habitantes, promovia a coleta seletiva por meio de veículos específicos munidos de guarnições contratadas pela Prefeitura. Esse sistema de coleta de resíduos recicláveis captava, em 2000, uma média de 4 t/dia, o que representava 1% do total de resíduos sólidos gerados pelo município.

Em 2001, a Administração Municipal remodelou o sistema de coleta seletiva, integrando a ação de catadores que promoviam a coleta precária de resíduos junto ao aterro da cidade. Nesse novo sistema, diariamente, os catadores, capacitados e associados, promovem a coleta porta a porta de resíduos recicláveis armazenados em “sacos verdes” pelo morador do domicílio.

Em seguida, os catadores encaminham os sacos coletados para estações de transferência “bandeiras verdes”, usando carrinhos de propulsão humana, devidamente projetados para transitar com segurança nas vias públicas. Os sacos acumulados nas “bandeiras verdes” são transportados por veículos da prefeitura para os galpões de triagem de materiais recicláveis de cada associação participante do projeto de coleta seletiva.

Após a triagem, os resíduos recicláveis são comercializados

de forma conjunta pelas associações, com apoio da prefeitura. Além disso, a prefeitura promove o transporte dos materiais recicláveis comercializados até as empresas compradoras. Em 2006, este sistema de coleta seletiva contava com 500 catadores, reunidos em 29 associações, que promoviam a coleta diária de 80 t/dia (20% do total



Fluxograma do sistema de coleta seletiva do município de Londrina (PR)

Fonte: LIMA (2007)

7.4 – Legislação pertinente

Lei Federal Nº 11.445 de 5 de janeiro de 2007 (Lei do Saneamento) – “Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico e dá outras providências”.

Lei Federal Nº 7.802/1989 de 11/07/1989 - “Dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização,

► 7. PROPOSIÇÕES PARA A DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências.”

Resolução CONAMA Nº 358/2005 de 29/04/2005 - “Dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde e dá outras providências.”

Resolução CONAMA Nº 357/2005 de 17/03/2005 - “Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.”

Resolução CONAMA Nº 316/2002 de 29/10/2002 - “Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos.”

Resolução CONAMA Nº 313/2002 de 29/10/2002 - “Dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais.”

Resolução CONAMA Nº 308/2002 de 21/03/2002 - “Licenciamento Ambiental de sistemas de disposição final dos resíduos sólidos urbanos gerados em municípios de pequeno porte.”

Resolução CONAMA Nº 307/2002 de 05/07/2002 - “Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a

gestão dos resíduos da construção civil.”

Resolução CONAMA Nº 301/2002 de 21/03/2002 - “Altera dispositivos da Resolução Nº 258, de 26 de agosto de 1999, que dispõe sobre Pneumáticos.”

Resolução CONAMA Nº 275/2001 de 25/04/2001 - “Estabelece código de cores para diferentes tipos de resíduos na coleta seletiva.”

Resolução CONAMA Nº 264/1999 de 26/08/1999 - “Licenciamento de fornos rotativos de produção de clínquer para atividades de co-processamento de resíduos.”

Resolução CONAMA Nº 258/1999 de 30/06/1999 - “Determina que as empresas fabricantes e as importadoras de pneumáticos ficam obrigadas a coletar e dar destinação final ambientalmente adequadas aos pneus inservíveis.”

Resolução CONAMA Nº 257/1999 de 30/06/1999 - “Estabelece que pilhas e baterias que contenham em suas composições chumbo, cádmio, mercúrio e seus compostos, tenham os procedimentos de reutilização, reciclagem, tratamento ou disposição final ambientalmente adequados.”

Resolução CONAMA Nº 228/1997 de 20/08/1997 - “Dispõe sobre a importação de desperdícios e resíduos de acumuladores elétricos de chumbo.”

Resolução CONAMA Nº 023/1996 de 12/12/1996

► 7. PROPOSIÇÕES PARA A DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

- “Regulamenta a importação e uso de resíduos perigosos.”

Resolução CONAMA Nº 005/1993 de 05/08/1993 -

“Estabelece definições, classificação e procedimentos mínimos para o gerenciamento de resíduos sólidos oriundos de serviços de saúde, portos e aeroportos, terminais ferroviários e rodoviários.”

Resolução CONAMA Nº 006/1991 de 19/09/1991

- “Dispõe sobre a incineração de resíduos sólidos provenientes de estabelecimentos de saúde, portos e aeroportos.”





BIBLIOGRAFIA

ABNT (2008) *Consulta Normalização*. Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, São Paulo, SP. Site: www.abnt.org.br, acessado em setembro de 2008.

AboutNet (2008) *Exploração de aterros sanitários*. AboutNet - Comunicação Social Ltda., Coimbra, Portugal. Site: <http://www.ambienteonline.pt/noticias/> em acessado em setembro de 2008.

ABRELPE (2006) *Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil*. Associação Brasileira de Empresas Brasileira de Empresa de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE, São Paulo, SP.

AEMATG (2008) *Monitoramento de piezômetros na Serra de Caldas*. Associação das Empresas Mineradoras das Águas Termiais de Goiás (AEMATG), Caldas Novas, Goiás. Site: <http://www.amatgo.org.br/> acessado em setembro de 2008.

AMRP (2008) *Aterro Sanitário da Associação de Municípios da Raia-Pinhal*. Associação de Municípios Raia Pinhal - AMRP, Oleiros, Castelo Branco, Portugal. Site: www.am-raiapinhal.com/localizacao/ acessado em setembro de 2008.

AO (2008) *Compostagem Termofílica*. Associação Orgânica – AO, Florianópolis, SC. Site: <http://a.organica.vilabol.uol.com.br>, acessado em junho de 2008.

ARACRUZ (2008) *Projeto microbacia: um verdadeiro*

laboratório ao ar livre. Aracruz Celulose, Aracruz, ES. Site: <http://www.aracruz.com.br/minisites/microbacia/port/> acessado em setembro de 2008.

ARCADIS Logos Energia (2008) *Usina Termelétrica Biogá*. ARCADIS Logos Energia, São Paulo, SP. Site: <http://www.logosenergia.com.br/alen/pt/> acessado em setembro de 2008.

BFC (2008) *Tratamento de Efluentes Industriais*. Bela Franca Curtume - BFC, Franca, São Paulo. Site: <http://www.belafranca.com.br/tratamento.asp> acessado em setembro de 2008.

BRADESCO (2008) *Reflorestamento de áreas de aterro sanitário*. Bradesco S. A., Natal, RN. Site: www.braseco.com.br/2008/navegacao/ acessado em setembro de 2008.

CESAN (2008) *Melhorias na ETE Ubú otimizam tratamento de esgoto em Anchieta*. Companhia Espírito Santense de Saneamento – CESAN, Vitória, ES. Site: <http://www.cesan.com.br/news.php> acessado em setembro de 2008.

CM (2008) *Infra-estrutura de monitoramento ambiental*. Usina Hidrelétrica Machadinho – Consórcio Machadinho (CM), Piratuba, SC. Site: http://www.machadinho.com.br/ambiental_monitoramento.html acessado em setembro de 2008.

CMM (2008) *Ecopontos para a Coleta seletiva de Resíduos Sólidos*. Câmara Municipal de Matosinhos - CMM,

► 8. BIBLIOGRAFIA

Matosinhos, Portugal. Site: http://cmmatosinhos.wiremaze.com/PageGen.aspx?WMCM_PaginaId=11018, acessado em junho de 2008.

CMN (2008) *Monitoramento Ambiental de Rios do Nordeste do Brasil*. Comando Militar do Nordeste - CMN. Recife, PE. Site: <http://www.cmne.eb.mil.br> acessado em setembro de 2008.

CONDER (2002) *Manual de Aterro Sanitário*. Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia – CONDER, Salvador, BA.

CRAFT (2008) *Resíduos Sólidos da Construção Civil podem ser Reciclados no Próprio Canteiro de Obra*. Craft Engenharia, Rio de Janeiro, RJ. Site: www.administradores.com.br/artigos, acessado em junho de 2008.

CREMESP (2008) *Lixo Hospitalar. Conselho Regional de Mediação de São Paulo - CREMESP, São Paulo, SP*. Site: <http://www.cremesp.org.br/?siteAcao=Revista&id=242>, acessado em junho de 2008.

CSF (2008) *Aterros Sanitários. Colégio São Francisco (CSF)*. São Paulo, SP, Brasil. Site: www.colegiosaofrancisco.com.br acessado em setembro de 2008.

DAEA (2008) *Lagoas de estabilização. Departamento de Água e Esgoto de Araçatuba – DAEA, Araçatuba, São Paulo*. Site: www.daea.com.br/pagina_view.php acessado em setembro de 2008.

EducaRede (2008) *A porta aberta para a educação*. Comunidade Virtual Educa Rede, São Paulo, SP. Site: www.educarede.org.br, acessado em junho de 2008.

ERSUC (2008) *Selagem das células 1, 2, 3 e 4 do aterro sanitário de Palmela*. Lisboa, Portugal. Site: <http://www.ersuc.pt/> acessado em setembro de 2008.

FUNASA (2006) *Manual de Saneamento*. Fundação Nacional de Saúde – FUNASA, Brasília, DF. Site: www.funasa.gov.br, acessado em junho de 2008.

IB (2008) *Tipos de Lixo*. Instituto de Biociências - IB, São Paulo, SP. Site: www.ib.usp.br, acessado em junho de 2008.

IBAM (2001) *Gestão Integrada de Resíduos Sólidos - Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos*. Elaboração pelo Instituto Brasileiro de Administração Municipal – IBAM, Rio de Janeiro, RJ. Site: www.ibam.org.br, acessado em junho de 2008.

LB (2008) *Balanças Rodoviárias. Líder Balanças, Araçatuba, SP*. Site: <http://www.liderbalancas.com.br/rodo-viaria.htm>, acessado em junho de 2008.

LIMA, R. S. (2007) *Resíduos sólidos domiciliares: Um programa de coleta seletiva com inclusão social*. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental Ministério das Cidades, Brasília, DF.



Makva (2008) *Biodigestor – Biogás – Crédito de carbono. Makva Engenharia, Canoinhas, SC.* Site: <http://www.mokva.com.br/biodigestor.htm> acessado em setembro de 2008.

NASCIMENTO, R. (2008) *Gás de lixo rende 13,68 milhões de euros a SP.* Terra Networks Brasil S/A, São Paulo, SP. Site: <HTTP://invertia.terra.com.br/carbono/interna/0,,OI3208947-EI8939,00.html> acessado em setembro de 2008.

PMI (2008) *Central de Tratamento de Destinação Final de Resíduos Sólidos do Vale do Aço.* Prefeitura Municipal de Ipatinga (PMI), Ipatinga, MG. Site: www.ipatinga.mg.gov.br acessado em setembro de 2008.

PMJ (2008) *Aterro Sanitário de Juiz de Fora.* Prefeitura Municipal de Juiz de Fora - PMJ, Departamento Municipal de Limpeza Pública, Juiz de Fora, MG. Site: <http://www.pjf.mg.gov.br/governo/secretarias/demlurb/institucional/aterro.php/>, acessado em junho de 2008.

PMP (2008) *Sudoeste espera recolher mais de 540 toneladas de embalagens.* Prefeitura Municipal de Palmas - PMP, Palmas, TO. Site: <http://201.14.47.73/xoopsCelepar/modules/noticias/>, acessado em junho de 2008.

PRRC (2008) *Seção classificados. Portal Rede Rural Centro – PRRC, Cuiabá, MS.* Site: <http://www.ruralcentro.com.br/Sistema/classificado.aspx?ID=1369>, acessado

em setembro de 2008.

SAAAP (2008) *Cesan e Incaper estudam utilização do lodo de esgoto na agricultura.* Secretaria de Agricultura, Abastecimento e Aquicultura e Pesca- SAAAP, Vitória, ES. Site: www.incaper.es.gov.br/.../noticias_10_10_2007 acessado em setembro de 2008.

SANTEC (2008) *Fase de Implantação do Aterro Sanitário.* Santech Saneamento & Tecnologia Ambiental LTDA - SANTEC, Içara, SC. Site: <http://www.santecresiduos.com.br/>, acessado em junho de 2008.

TCE-PI (2008.a) *Relatório de Auditoria de Serviços de Limpeza Pública do Município de Piripiri.* Tribunal de Contas do Estado do Piauí – TCE-PI, Teresina, PI.

TCE-PI (2008.b) *Relatório de Auditoria de Serviços de Limpeza Pública do Município de Picos.* Tribunal de Contas do Estado do Piauí – TCE-PI, Teresina, PI.

TCE-PI (2008.c) *Relatório de Auditoria de Serviços de Limpeza Pública do Município de São João do Piauí.* Tribunal de Contas do Estado do Piauí – TCE-PI, Teresina, PI.

TCE-PI (2008.d) *Visita Técnica ao Aterro Controlado do Município de Teresina.* Tribunal de Contas do Estado do Piauí – TCE-PI, Teresina, PI.

TOE (2008) *Selagem e Recuperação Paisagística do Aterro Sanitário de Trajouce.* Tomás de Oliveira Empre-

► 8. BIBLIOGRAFIA

teiros S.A. – TOE, Paço de Arcos, Portugal. Site: <http://www.toliveira.pt/gca/> acessado em setembro de 2008.

Valor Ambiente (2008) *Estação de Tratamento de Resíduos Sólidos (ETRS) da Meia Serra*. Valor Ambiente - Gestão e Administração de Resíduos da Madeira S.A., Ilha da Madeira, Portugal. Site: <http://www.valorambiente.pt/etrs-meia-serra> acessado em junho de 2008.

Marcosa (2008) *Máquinas e equipamentos*. Marcosa S/A Máquinas e Equipamentos, Teresina, PI. Site: <http://www.marcosa.com.br/maquinas.htm> acessado em setembro de 2008.

PA (2008) *Prefeitura investe R\$ 472 mil para modernizar frota*. Prefeitura de Amparo - PA, Amparo, SP. Site: <http://www.amparo.sp.gov.br/noticias/agencia/> acessado em setembro de 2008.

LIMPURB (2008) *Tratamento e destinação final*. Empresa de Limpeza Urbana de Salvador - LIMPURB Site: <http://www.limpurb.salvador.ba.gov.br/> acessado em setembro de 2008.

CONTATO:

francisco.fernandes@tce.pi.gov.br
veronica.maria @tce.pi.gov.br
britto.meneses@tce.pi.gov.br
Telefone: (86) 3215.3972



TRIBUNAL
DE CONTAS
DO ESTADO
DO PIAUÍ