

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

USP

Gestão Ambiental e Negócios no Setor Energético do Instituto de Eletrotécnica e Energia da  
Universidade de São Paulo

BIOGÁS PRODUZIDO EM ATERROS SANITÁRIOS – ASPECTOS  
AMBIENTAIS E APROVEITAMENTO DO POTENCIAL ENERGÉTICO

Mário Faria

São Paulo

2010-05-17

MÁRIO FARIA

Monografia apresentada no Curso de Especialização em Gestão Ambiental e Negócios no Setor Energético do Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Especialista em Gestão Ambiental e Negócios no Setor Energético do IEE-USP.

Orientação: Prof. Dr. Murilo T.W. Fagá.

**AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.**

Faria, Mário

Aterro Sanitário: Biogás produzido em aterros sanitários, aspectos ambientais e aproveitamento do potencial energético

Mário Faria; orientador Prof. Dr. Murilo T.W.Fagá – São Paulo, 2010  
108 f.. il.: 30cm.

Monografia (Especialização em Gestão Ambiental e Negócios no Setor Energético do Instituto de Eletrotécnica e Energia) IEE da Universidade de São Paulo.

1. Biogás. 2. Aterros Sanitários. 3. Meio Ambiente. Energia. I. Aproveitamento do biogás em aterros sanitários: Aproveitamento do potencial energético aspectos ambientais.

## FOLHA DE APROVAÇÃO



**Universidade de São Paulo  
Instituto de Eletrotécnica e Energia**

### **CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO AMBIENTAL E NEGÓCIOS NO SETOR ENERGÉTICO**

#### **ATA DE DEFESA – MONOGRAFIA**

**CANDIDATO: Mario Reginaldo de Faria**

Aos quatorze dias do mês de setembro de 2010, às 18h30, realizou-se no Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo a defesa de monografia do aluno Mario Reginaldo de Faria, nível especialização, intitulado: "Biogás produzido em aterros sanitários, aspectos ambientais e aproveitamento do potencial energético", sendo a banca constituída pelos Professores: Murilo Tadeu Fagá – Orientador e Presidente da Comissão Examinadora e Vanessa Pecora (IEE/USP).

Manifestação dos membros da banca:	Assinatura	Conceito
Prof. Murilo Tadeu Fagá		(APROVADO)
Prof. Vanessa Pecora		(APROVADO)
<del>Os candidatos foram considerados (Aprovados / Reprovados)</del>		(APROVADO)

### **Dedicatória:**

Dedico este trabalho à minha filha Carolina, a minha Esposa Viviane por se constituírem diferentemente enquanto pessoas, igualmente belas e admiráveis em essência, estímulos que me impulsionaram a buscar vida nova a cada dia, meus agradecimentos por terem aceito se privar de minha companhia pelos estudos, concedendo a mim a oportunidade de me realizar ainda mais.

Ao meu Orientador Prof. Dr. Murilo T. Fagá pelo incentivo, simpatia e presteza no auxílio às atividades e discussões sobre o andamento e desenvolvimento desta Monografia de Conclusão de Curso.

Especialmente ao Rodrigo Chimenti Cabral do Aterro Sanitário LARA . pelo seu apôio na tarefa de multiplicar meus conhecimentos, sendo de suma importância o trabalho realizado com as visitas realizadas no Aterro Sanitário LARA e pela oportunidade de compartilhar para comigo seus conhecimentos adquiridos ao longo da sua carreira.

Aos demais idealizadores, coordenadores e funcionários do Instituto de Eletrotécnica e Energia - IEE da Universidade de São Paulo.

Aos Meus 07 irmãos, Paulo, Leda, Marcos, Flavio, Romulo, Vander, e Leticia por terem me incentivado aos estudos e fazerem parte da minha história de vida. Saudades de Nossos Pais Terezinha e Augusto.

## RESUMO

FARIA, M. R.: **Biogás produzido em aterros sanitários, aspectos ambientais e aproveitamento do potencial energético.**

Monografia (Especialização em Gestão Ambiental e Negócios no Setor Energético do Instituto de Eletrotécnica e Energia) IEE da Universidade de São Paulo. 2010 108 f.

Este trabalho visa estabelecer critérios técnicos para a otimização do processo de captura do biogás e do seu aproveitamento a partir de resíduos sólidos em Aterros Sanitários. As vantagens deste processo estão relacionadas à produção de energia elétrica, à geração de créditos de carbono.

Será Demonstrado dados técnicos para a construção de um sistema de tubulações bem como os critérios para a instalação de poços de biogás os quais visam a obtenção deste BIOGÁS.

Serão apresentadas as reações bioquímicas inerentes ao processo de produção do biogás a partir da matéria orgânica presente nos resíduos sólidos.

Este trabalho também visa apresentar propostas para reduzir o efeito da emissão de gases poluentes resultantes do processo de produção do biogás demonstrando a importância da transformação do metano em dióxido de carbono para mitigar o impacto ambiental e, conseqüentemente, possibilitar a geração de créditos de carbono e energia elétrica.

Palavras-chaves: Biogás, Aterros Sanitários, Meio Ambiente, Energia.

## ABSTRACT

FARIA, M. **Biogas produced in landfill sanitary: environmental aspects and exploitation of energy potential** . 2010. 113 p. Monographic (Specialization in Ambient Management and Businesses in the Energy Sector of the Electro technical Institute of and Energy) IEE of the University of São Paulo.

The major aim is to establish criteria technician for the improvements of the process of capture of biogas and its exploitation from solids particles in landfill. The advantages of this process are related to the production of electric energy, the generation of carbon credits and to the possibility of heating of industrial boilers. For such, the parameters developed for the construction of a system of pipelines that makes possible this improvement, as well as the criteria for the installation of wells of biogas will be explaining. Also the reactions will be presented inherent biochemists to the process of production of biogas from the present organic substance in the solids particles. The study of these reactions biochemists it will not only serve to explain the stages of the generation of biogas and its posterior use, as well as to justify the necessity of adaptation of the parts of all the system of pipelines for the improvement of the process. Another concern of this work is to present proposals to reduce the effect of the emission of resultant pollutant gases of the process of production of biogas. Therefore, the importance of the transformation of the methane in carbon dioxide will be shown to mitigate ambient impact to make possible the generation of carbon credits and electric energy.

Keywords: Biogas, Landfill, Environment, Energy.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Visão de um Lixão. ....	23
Figura 2 Instalação com manta de impermeabilização PEAD 2mm. ....	24
Figura 3 Visão aérea do aterro sanitário Salvaterra (2006). ....	25
Figura 4 Ilustração de um aterro sanitário. - Fonte: UNESP, 2008. ....	26
Figura 5 Método da Trincheira ou Vala - Fonte: UNESP, 2008. ....	26
Figura 6 Método da Área - Fonte: UNESP, 2008. ....	26
Figura 7 Método da Rampa. - Fonte: UNESP, 2008. ....	27
Figura 8 Descarte de lixo em aterro sanitário. ....	27
Figura 9 Compactação de lixo em aterro sanitário. ....	27
Figura 10 Cobertura de lixo em aterro sanitário. ....	28
Figura 11 Visão aérea da Estação de Tratamento de Efluentes do Lara. ....	29
Figura 12 Organização de um aterro. ....	31
Figura 13 Perfil Típico do Maciço Sanitário. ....	31
Figura 14 Dreno vertical (PDR) . Fonte: Delbin, 2004. ....	32
Figura 15 Dreno vertical LARA. ....	32
Figura 16 Perfuração no aterro sanitário Lara. ....	33
Figura 17 Execução de Dreno no aterro sanitário Lara. ....	33
Figura 18 Esquema de reações na digestão anaeróbia de materiais polímeros. ....	34
Figura 19 Vista do Dreno Vertical Queimando Biogás. ....	41
Figura 20 Croqui de Cores de Chamas de Drenos Verticais. ....	49
Figura 21 Croqui de Áreas de influência de drenos Verticais. ....	50
Figura 22 Croqui de Volume de influência de drenos Verticais. ....	51
Figura 23 Croqui de Planejamento de Linhas de Biogás em aterro sanitário. ....	52
Figura 24 Vista de implantação de linhas de Biogás no Aterro Sanitário Terrestre. ....	53
Figura 25 Croqui de implantação de linhas em talude. ....	54
Figura 26 Vista de linhas em talude com zona de respiração. ....	55
Figura 27 Vista de linhas implantadas em platô. ....	56
Figura 28 Vista de dreno vertical com fogo. ....	57
Figura 29 Vista de Encerramento de fogo em Dreno Vertical por água. ....	57
Figura 30 Vista de Encerramento de fogo em Dreno Vertical por abafamento. ....	58
Figura 31 Vista de tocha provisória implantada. ....	58
Figura 32 Esquema de ordem de encerramento de fogo. ....	59
Figura 33 Camadas necessárias à impermeabilização de Base de cabeçote. ....	60
Figura 34 Vista de escavação de dreno vertical. ....	61
Figura 35 Vista de instalação de Manta Geotextil. ....	61
Figura 36 Vista de execução de camada protetora. ....	62
Figura 37 Vista de instalação de Manta PEAD em talude. ....	63
Figura 38 Vista de instalação de Manta PEAD em platô no Aterro Terrestre. ....	63
Figura 39 Vista de execução de selo com bentonita. ....	64
Figura 40 Vista de anel selante em PEAD. ....	64
Figura 41 Vista de instalação de cabeçote no Aterro Sanitário Terrestre. ....	65
Figura 42 Vista de instalação de cabeçote no Aterro Sanitário CDR-Pedreira. ....	66
Figura 43 Vista de cabeçote instalado no Aterro Sanitário CDR-Pedreira. ....	67
Figura 44 Vista de cabeçote instalado no Aterro Sanitário LARA. ....	68
Figura 45 Vista de cabeçote em teste no Aterro Sanitário LARA. ....	68
Figura 46 Vista da Usina de Combustão de Biogás no Aterro Sanitário Lara. ....	70
Figura 47 Como funciona o mecanismo de crédito de carbono. ....	71

Figura 48 Motor a Gás.....	72
Figura 49 Turbina a Gás.....	73
Figura 50 Ciclo Carnot.....	73
Figura 51 Grupo Geradores, Motor a Biogás ciclo Otto de alta Potência.....	74
Figura 52 Turbina a Biogás.....	75

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Fases de geração de biogás em aterros de resíduos sólidos. ....	36
Gráfico 2 Estimação Geração de Gás Metano no Aterro Sanitário Lara.....	40
Gráfico 3 Efeito Estufa. ....	42
Gráfico 4 Indicadores da influencia humana durante a era de industrialização. ....	44
Gráfico 5 Variações da temperatura superficial da Terra.....	45
Gráfico 6 Disseminação de gás – Efeito Estufa. ....	45
Gráfico 7 Emissões de Metano. ....	46
Gráfico 8 Panorama mundial de emissões de gás metano de Aterros Sanitários. ....	47
Gráfico 9 Esquema de implantação de linhas em platô.....	56
Gráfico 10 Emissão global dos gases do Efeito Estufa. ....	76
Gráfico 11 Redução de CO2 eq para o primeiro período de compromisso (2008-2012).....	77
Gráfico 12 Matriz elétrica Mundial .....	78

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Classificação do Lixo.....	19
Tabela 2 Valores de K e L0 propostos pela USEPA.....	39
Tabela 3 Estimação da densidade do Lixo Depositado .....	39
Tabela 4 Planilha com os gases de efeito estufa com o seu potencial de aquecimento global em 20,100 e 500 anos. ....	43
Tabela 5 Potencia elétrica gerado pelo Biogás de Aterros Sanitários no Brasil.....	79

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>13</b>
1.1	Objetivo Geral	14
1.2	Objetivos Específicos	14
1.3	Metodologia da Pesquisa	14
<b>2</b>	<b>DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS</b>	<b>17</b>
2.1	Resíduos Sólidos	17
2.2	Origem dos Resíduos Sólidos	17
2.2.1	Resíduos Sólidos Domiciliar	17
2.2.2	Resíduos Sólidos Comercial	17
2.2.3	Resíduos Sólidos Público	17
2.2.4	Resíduos Sólidos de Serviços de saúde e hospitalar	18
2.2.5	Resíduos Sólidos de Portos, aeroportos, terminais rodoviários e ferroviários	18
2.2.6	Resíduos Sólidos Industrial	18
2.2.7	Resíduos Sólidos Agrícola	18
2.2.8	Entulho	19
2.3	Classificação de Resíduos Sólidos	19
2.4	Destinação Final de Resíduos Sólidos	20
2.4.1	Incineradores	21
2.4.2	Compostagem	21
2.4.3	Reciclagem	21
2.4.4	Lixão	22
2.4.5	Aterros	23
2.4.5.1	Aterro Controlado	23
2.4.5.2	Aterro Sanitário	24
2.5	Atterramento de Resíduos Sólidos	26
2.5.1	Operação de Aterros Sanitários	27
<b>3</b>	<b>EFLUENTES EM ATERROS SANITÁRIOS</b>	<b>28</b>
3.1	Efluentes Líquidos	28
3.2	Efluentes gasosos	30
3.3	Sistemas de drenagem dos efluentes	30
<b>4</b>	<b>ESTIMATIVA DA GERAÇÃO DE BIOGÁS EM ATERROS SANITÁRIOS</b>	<b>34</b>
4.1	Decomposição da matéria orgânica	34
4.2	Condições indispensáveis à fermentação	35
4.3	Fases de geração de biogás	35
4.4	Exemplo de estimativa de Geração de Biogás em Aterros Sanitários	38
<b>5</b>	<b>IMPACTOS GERADOS PELO BIOGÁS</b>	<b>41</b>
5.1	Odor Gerado pelo Biogás	41
5.2	Efeito Estufa Gerado pelo Biogás	42
<b>6</b>	<b>ANÁLISES PRELIMINARES DE PROJETO DE CAPTURA DE BIOGÁS</b>	<b>48</b>
6.2	Análise das colorações da chama de queima de Biogás	48

<b>6.3</b>	<b>Análise da Composição Química do Condensado de Biogás .....</b>	<b>50</b>
	<b>CLIENTE .....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
	<b>CDR PEDREIRA CENTRO DE DISPOSIÇÃO DE RESIDUOS LTDA. Error! Bookmark not defined.</b>	
	<b>ENDEREÇO .....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
	<b>x.....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
	<b>y.....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
	<b>y.....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
	<b>z.....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
	<b>z.....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>6.4</b>	<b>Estudo da Geração de Biogás por Volume de Influência .....</b>	<b>50</b>
<b>7</b>	<b>IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA DE CAPTURA E CONDUÇÃO DO BIOGÁS....</b>	<b>52</b>
<b>7.1</b>	<b>Distribuição das Malhas de Tubulações condutoras de Biogás.....</b>	<b>52</b>
<b>7.2</b>	<b>Implantação de Linhas de Biogás em Talude .....</b>	<b>53</b>
<b>7.3</b>	<b>Implantação de Linhas de Biogás em Platô .....</b>	<b>55</b>
<b>7.4</b>	<b>Execução de Cabeçotes nos drenos do Biogás.....</b>	<b>57</b>
	<b>7.4.1 Encerramento de fogo de Drenos Verticais. ....</b>	<b>57</b>
	<b>7.4.1.1 Ordem de Encerramento de Fogo.....</b>	<b>59</b>
	<b>7.4.2 Impermeabilização de Base.....</b>	<b>60</b>
	<b>7.4.3 Cabeçotes de drenagem vertical.....</b>	<b>65</b>
<b>8</b>	<b>UTILIZAÇÕES DO BIOGÁS GERADO EM ATERROS SANITÁRIOS .....</b>	<b>69</b>
<b>8.1</b>	<b>Créditos de Carbono .....</b>	<b>69</b>
<b>8.2</b>	<b>Geração de energia elétrica .....</b>	<b>72</b>
<b>8.3</b>	<b>Exemplos de uso direto do biogás. ....</b>	<b>75</b>
<b>9</b>	<b>BENEFICIOS AMBIENTAIS E ENERGÉTICOS .....</b>	<b>76</b>
<b>9.1</b>	<b>Benefícios ambientais .....</b>	<b>76</b>
<b>9.2</b>	<b>Benefícios energéticos.....</b>	<b>78</b>
	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>81</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>83</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Após dispostos nos aterros sanitários, os resíduos sólidos urbanos, que contém significativa parcela de matéria orgânica biodegradável, ocorre o processo de digestão anaeróbia dos resíduos pela ação de microorganismos que transformam a matéria orgânica em um gás conhecido no mundo como Metano sendo este denominado Biogás que é uma mistura de gases composto, basicamente, por metano (CH<sub>4</sub>) entre outros gases.

### **Definição:**

O *metano* é um gás que não possui cor (incolor) nem cheiro (inodoro). Considerado um dos mais simples hidrocarbonetos, possui pouca solubilidade na água e, quando adicionado ao ar, torna-se altamente explosivo.

O metano é produzido através dos seguintes processos naturais:

- Decomposição de lixo orgânico;
- Digestão de animais herbívoros;
- Metabolismo de certos tipos de bactérias;
- Vulcões de lama;
- Extração de combustíveis minerais (principalmente o petróleo);
- Aquecimento de biomassa anaeróbica

O gás metano é encontrado na atmosfera na proporção aproximada de 1,7 ppm (partículas por milhão). Como ele pode ser produzido através de matéria orgânica, pode ser chamado de *biogás*. Desta forma, é utilizado como fonte de energia.

Um dos aspectos negativos do metano é que ele participa da formação do efeito estufa, colaborando, desta forma, para o aquecimento global.

Se inalado, o metano pode causar asfixia, parada cardíaca, incoscência e até mesmo danos no sistema nervoso central.

Neste trabalho, apresenta especificações técnicas sobre a captura e condução de biogás de aterro sanitário, que deve ser drenado, capturado, conduzido e queimado para mitigação dos efeitos causados pelo seu lançamento na atmosfera, com o objetivo de reduzir a potencialização do efeito estufa e colaborar para geração de suprimentos energéticos.

Serão apresentados primeiramente os conceitos sobre resíduos sólidos com as respectivas classificações e destinações finais. A seguir discorre-se sobre os efluentes líquidos e gasosos produzidos durante a decomposição dos resíduos sólidos depositados em aterros

sanitários e dos impactos ambientais gerados por efluentes gasosos. Para mitigação dos impactos ambientais e potencial aproveitamento energético do biogás será apresentado metodologia para estimativa da geração de gases em aterros sanitários, as análises preliminares e as respectivas especificações técnicas e construtivas necessárias para projeto de sistema de captura e condução, dimensionamento e implantação do referido sistema. São apresentados também os benefícios potenciais energéticos oriundos da geração de energia pela queima do biogás, bem como as vantagens decorrentes na geração de crédito de carbono do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), definido pelo Protocolo de Quioto.

### 1.1 Objetivo Geral

Este trabalho apresenta uma abordagem metodológica sobre o projeto de aproveitamento do gás metano gerado nos aterros sanitários visando a redução dos potenciais impactos ambientais associados de exalação dos gases, assim como os ganhos energéticos e econômicos do aproveitamento do mesmo.

### 1.2 Objetivos Específicos

O trabalho apresenta critérios técnicos bem como planejamento técnico e construtivo da estrutura do sistema de captura e condução de biogás gerado a partir de resíduos sólidos depositados em aterros sanitários. Serão demonstradas também as vantagens de implantação do sistema em todas as etapas do processo, bem como o aumento da eficiência da captura do biogás, projetos de poços e da malha de tubulações que conduzem o biogás; redução do impacto ambiental causado pelo processo de liberação do Biogás na atmosfera in natura, ou seja, sem a devida queima mitigando o impacto ambiental. Estes procedimentos contribuem para a diminuição da emissão de gases poluentes na atmosfera, assim como os benefícios energéticos que o biogás proporciona substituindo em parte ou total a utilização de combustíveis fósseis pelo biogás gerado em aterros sanitários.

### 1.3 Metodologia da Pesquisa

Primeiramente foram abordadas as classificações de resíduos, com a finalidade de distinção de matéria orgânica presente nestes resíduos e as destinações finais dos resíduos sólidos. Quando destinados a lixões, aterros controlados e aterros sanitários, estes resíduos orgânicos sofrem a decomposição da matéria orgânica gerando efluentes líquidos, conhecido como chorume e efluentes gasosos, conhecido como biogás, onde são conduzidos através de drenagens horizontais e verticais presentes nos maciços de aterros sanitários.

Nos aterros sanitários, quando quantificado, além do tipo e % dos resíduos orgânicos depositados, é possível estimar os tipos de gases e sua geração ao longo do tempo. Após serem depositados, estima-se a vazão através de uma fórmula, relacionando dados da quantidade de lixo recebida ao longo do tempo e a pluviosidade local.

Os gases gerados em aterros sanitários acarretam impactos como maus odores e efeito estufa. O gás metano, o principal gas presente no biogás, é um gás inflamável e de alto potencial de efeito estufa, devendo ser capturado, conduzido e queimado para a redução de emissão deste gás na atmosfera, além do que se capturado e tratado de forma adequada torna-se um suprimento energético.

Para elaboração de análises preliminares de projeto de captura e condução de biogás de aterro, foi desenvolvida apenas no aterro sanitário CDR-Pedreira, a metodologia de análise sobre a coloração da chama, resultante da combustão do gás metano, que relaciona a qualidade do gás gerado com a decomposição dos resíduos sólidos depositados e mapeado. Este método não pôde ser aplicado nos demais aterros citados neste trabalho, pois os drenos não apresentavam chamas no momento que o presente trabalho vinha sendo elaborado.

Depois de verificadas as colorações de chama, foram executadas análises químicas do percolado gerado pelo biogás. As análises químicas serviram para estudar a escolha dos materiais que seriam utilizados nos cabeçotes, tubulações, peças e conexões. O material mais adequado, em conformidade aos estudos, foi indicado a utilização de PEAD (Poliétileno de Alta Densidade) na coloração preta, o qual não reage quimicamente com o percolado do biogás, sem alterar as propriedades mecânicas em exposições solares ao longo do tempo, sendo este, utilizado nos demais aterros sanitários pesquisados.

Sendo o PEAD o material mais indicado, é apresentado o dimensionamento das tubulações neste material, envolvendo classificações de pressões, cálculos de perdas de cargas em tubulações principais, que geralmente apresentam diâmetros iguais ou superiores a 250mm, e perdas de cargas, através de gráfico, em tubulações secundárias que geralmente apresentam diâmetros iguais ou inferiores a 160 mm.

Para instalação de redes de tubulações é demonstrado um tipo de soldagem, Termo-fusão de PEAD, comum em todos os aterros apresentados neste trabalho. Também foi demonstrada a geometria adequada para redes de tubulações condutoras de biogás localizadas em platôs e taludes.

Já para instalação de cabeçotes são apresentadas metodologias utilizadas para encerramento de fogo presente em drenagens verticais, assim como a instalação de cabeçotes

contendo todas as etapas de desmonte das drenagens verticais, impermeabilizações de bases e as diversas instalações de cabeçotes dos aterros sanitários apresentados neste trabalho.

Estando canalizado o biogás, pode-se aplicar seu potencial como exemplo na venda de crédito de carbono, geração de energia elétrica com eficiência em motores ciclo otto e de turbinas movidas a biogás.

Além dos benefícios energéticos e da queima do biogás para venda de crédito de carbono citados, há outro benefício que podemos destacar como alternativa da substituição de parte ou total do gás provido de combustível fóssil.

## 2 DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

### 2.1 Resíduos Sólidos

Define-se lixo como os restos das atividades humanas, considerados pelos geradores como inúteis, indesejáveis ou descartáveis. Normalmente, apresentam-se sob estado sólido, semi-sólido ou semilíquido (com conteúdo líquido insuficiente para que este líquido possa fluir livremente) (BRAGA, 2002).

Definem-se resíduos sólidos como resíduos nos estados sólidos e semi-sólidos, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, e serviço de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornam inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso solução técnica e economicamente inviável em face à melhor tecnologia disponível (BRAGA, 2002).

### 2.2 Origem dos Resíduos Sólidos

#### 2.2.1 Resíduos Sólidos Domiciliar

É aquele originado da vida diária das residências, constituído por setores de alimentos (tais como, cascas de frutas, verduras etc.), produtos deteriorados, jornais e revistas, garrafas, embalagens em geral, papel higiênico, fraldas descartáveis e uma grande diversidade de outros itens. Contém, ainda, alguns resíduos que podem ser tóxicos como exemplo, pilhas e baterias (BIDONE, 2001).

#### 2.2.2 Resíduos Sólidos Comercial

È aquele originado dos diversos estabelecimentos comerciais e de serviços, tais como, supermercados, estabelecimentos bancários, lojas, bares, restaurantes etc. O lixo destes estabelecimentos e serviços é em grande parte compostos de papel, plásticos, embalagens diversas e resíduos de asseio dos funcionários, tais como, papel toalha, papel higiênico etc. (BIDONE, 2001)

#### 2.2.3 Resíduos Sólidos Público

São aqueles originados dos serviços: de limpeza pública urbana, incluindo todos os resíduos de varrição das vias públicas, limpeza de praias, de galerias, de córregos e de

terrenos, restos de podas de árvores etc.; de limpeza de áreas de feiras livres, constituídos por restos vegetais diversos, embalagens etc. (BIDONE, 2001).

#### 2.2.4 Resíduos Sólidos de Serviços de Saúde e Hospitalar

Constituem os resíduos sépticos, ou seja, que contêm ou potencialmente podem conter germes patogênicos. São produzidos em serviços de saúde, tais como: hospitais, clínicas, laboratórios, farmácias, clínicas veterinárias, postos de saúde etc. São agulhas, seringas, gazes, bandagens, algodões, órgãos e tecidos removidos, meios de culturas e animais usados em testes, sangue coagulado, luvas descartáveis, remédios com prazos de validade vencidos, instrumentos de resina sintética, filmes fotográficos de raios X etc. Resíduos assépticos destes locais, constituídos por papéis, restos da preparação de alimentos, resíduos de limpezas gerais (pós, cinzas etc.), e outros materiais que não entram em contato direto com pacientes ou com os resíduos sépticos anteriormente descritos, são considerados como domiciliares (BIDONE, 2001).

#### 2.2.5 Resíduos Sólidos de Portos, Aeroportos, Terminais Rodoviários e Ferroviários

Constituem os resíduos sépticos, ou seja, aqueles que contêm ou potencialmente podem conter germes patogênicos, trazidos aos portos, terminais rodoviários e aeroportos. Basicamente, originam-se de material de higiene, asseio pessoal e restos de alimentação que podem veicular doenças provenientes de outras cidades, estados e países. Também neste caso, os resíduos assépticos destes locais são considerados como domiciliares (BIDONE, 2001).

#### 2.2.6 Resíduos Sólidos Industrial

Aquele originado nas atividades dos diversos ramos da indústria, tais como, metalúrgica, química, petroquímica, papelaria, alimentícia etc. O lixo industrial é bastante variado, podendo ser representado por cinzas, lodos, óleos, resíduos alcalinos ou ácidos, plásticos, papel, madeira, fibras, borracha, metal, escórias, vidros e cerâmicas etc. Nesta categoria, inclui-se a grande maioria do lixo considerado tóxico (BIDONE, 2001).

#### 2.2.7 Resíduos Sólidos Agrícola

Resíduos sólidos das atividades agrícolas e da pecuária, como embalagens de adubos, defensivos agrícolas, ração, restos de colheita etc. Em várias regiões do mundo, estes resíduos já constituem uma preocupação crescente, destacando-se as enormes quantidades de esterco animal geradas nas fazendas de pecuária intensiva. Também as embalagens de agroquímicos

diversos, em geral altamente tóxicos, têm sido alvo de legislação específica, definindo os cuidados na sua destinação final e, por vezes, co-responsabilizando a própria indústria fabricante destes produtos (D' ALMEIDA & VILHENA, 2000).

### 2.2.8 Entulho

Resíduos da construção civil: demolições e restos de obras, solos de escavações etc. O entulho é, geralmente, um material inerte, passível de reaproveitamento (D' ALMEIDA & VILHENA, 2000).

## 2.3 Classificação de Resíduos Sólidos

Classe 1 - Resíduos Perigosos: são aqueles que apresentam riscos à saúde pública e ao meio ambiente, exigindo tratamento e disposição especiais em função de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.  
( fonte: Ambiente Brasil)

Classe 2 - Resíduos Não-inertes: são os resíduos que não apresentam periculosidade, porém não são inertes; podem ter propriedades tais como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água. São basicamente os resíduos com as características do lixo doméstico.  
( fonte: Ambiente Brasil)

Classe 3 - Resíduos Inertes: são aqueles que, ao serem submetidos aos testes de solubilização (NBR-10.007 da ABNT), não têm nenhum de seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água. Isto significa que a água permanecerá potável quando em contato com o resíduo. Muitos destes resíduos são recicláveis. Estes resíduos não se degradam ou não se decompõem quando dispostos no solo (se degradam muito lentamente). Estão nesta classificação, por exemplo, os entulhos de demolição, pedras e areias retirados de escavações.  
( fonte: Ambiente Brasil)

Tabela 1 – Classificação do Lixo

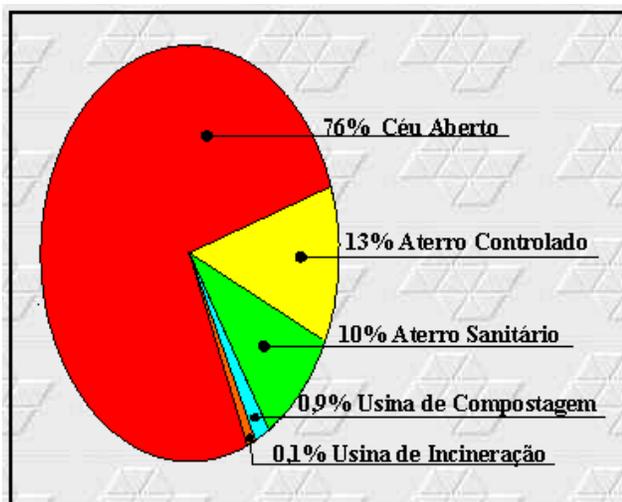
<b>Origem</b>	<b>Possíveis Classes</b>	<b>Responsável</b>
Domiciliar	2	Prefeitura
Comercial	2, 3	Prefeitura
Industrial	1, 2, 3	Gerador do resíduo
Público	2, 3	Prefeitura
Serviços de saúde	1, 2, 3	Gerador do resíduo
Portos, aeroportos e terminais ferroviários	1, 2, 3	Gerador do resíduo
Agrícola	1, 2, 3	Gerador do resíduo
Entulho	3	Gerador do resíduo

( fonte: Ambiente Brasil - 2010)

## 2.4 Destinação Final de Resíduos Sólidos

A cidade de São Paulo O lixo coletado por Prefeituras, Concessionárias ou por Cooperativas de Catadores, na Seleção / Reciclagem o que for considerado reciclado, são separadas e reaproveitadas. O que sobra do lixo não reciclável, é enviado para destinação adequada em aterros sanitários apropriados. A Grande São Paulo descarta 59% de lixo produzido em Aterros Sanitários, e 23 % em lixões. Além dos aterros sanitários existem outros processos na destinação do lixo, como, por exemplo, as usinas de compostagem, os incineradores e a reciclagem (NUNESMAIA, 1997).

Segundo a pesquisa de Saneamento Básico (PNSB) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010) mostra uma redução dos resíduos sólidos depositados a em Vazadouros a Céu Aberto caiu de 76% em 1989 para 50,8% em 2010 nos municípios brasileiros que ainda tratam o lixo com descaso. A figura a seguir ilustra a porcentagem de municípios brasileiros e a forma de disposição de resíduos sólidos no ano de 1989.



A composição média do lixo no Brasil (IPT, 1995) esta descrita abaixo.

<u>Material</u>	<u>Porcentagem</u>
Vidro	3%
Metal	4%
Plástico	3%
Papel	25%
Outros	65%

\*Outros: resíduos orgânicos (restos de animais mortos, de alimentos e de podas de árvores e mato), rejeitos inertes de difícil reciclagem (entulho, por exemplo), lixo hospitalar e outros resíduos domésticos variados (óleos, lubrificantes, tintas, pesticidas, etc).

Por esta análise, pode-se observar que cerca de 35% do lixo produzido no Brasil é potencialmente utilizável para reciclagem (35% é a soma de Vidro, Metal, Plástico e Papel), o que diminuiria bastante o volume de material que vai para os lixões e aterros sanitários.

#### 2.4.1 Incineradores

São equipamentos que viabilizam a redução de peso e volume do lixo através da combustão controlada. A incineração é utilizada atualmente no Brasil apenas para o tratamento de resíduos hospitalares e industriais. É bastante difundida em países desenvolvidos e com pouca extensão territorial e normalmente associada à produção de energia (AMBSC, 2008).

A incineração de lixo sempre foi proibida por causa do carbono que despejava no ambiente. Por problemas de emissões, a CETESB é contra a incineração. Hoje, e para o futuro, graças a uma moderna técnica (o plasma térmico), onde calor produzido pela queima não gerará fumaça, em vez de fogo, usam-se tochas de plasma ultraquente que transformam o lixo num gás que impulsiona as turbinas geradoras de eletricidade, e resíduos sólidos desta queima, são utilizados na indústria de cimento ou para pavimentar vias públicas. O investimento necessário para uma usina assim está calculado em torno de 125 milhões de dólares (ou pouco menos de 300 milhões de reais).

#### 2.4.2 Compostagem

É o processo biológico de decomposição da matéria orgânica contida em restos de origem animal ou vegetal. Seu resultado final é um produto - o composto orgânico - que deve permitir sua aplicação no solo sem ocasionar riscos ao meio ambiente. É muito praticado no meio rural. (AMBSC, 2008).

#### 2.4.3 Reciclagem

Consiste basicamente na reintrodução dos resíduos no processo de produção. É uma prática que precisa ser difundida embora tenha crescido muito nos últimos anos, especialmente pela economia da energia gasta nos processos de produção e pela diminuição da utilização de matéria-prima virgem. Entretanto, para ser viabilizada em maior escala, torna-se inevitável a adoção de políticas voltadas à regulamentação e incentivos ao setor (AMBSC, 2008). No Ano de 2010 foi Sancionada pelo Presidente da República, Luiz Inácio Lula da Silva, a Lei da Política Nacional de Reciclagem do Lixo.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos reúne princípios, objetivos, instrumentos e diretrizes para a gestão dos resíduos sólidos. O projeto de lei, que tramitou por mais de 20 anos no Congresso Nacional até que fosse aprovada, responsabiliza as empresas pelo recolhimento de produtos descartáveis (logística reversa), estabelece a integração de municípios na gestão dos resíduos e responsabiliza toda a sociedade pela geração de lixo.

A reciclagem do lixo compreende uma série de atividades de coleta, separação ou processamento de materiais que se tornariam lixo. Com a reciclagem, esses materiais podem ser usados como matéria-prima na manufatura de novos produtos.

O principal objetivo deste processo é a reintegração dos resíduos sólidos no ciclo de produção e consumo, baseado no princípio dos 3 R's: Reduzir, Reutilizar, Reciclar (AMBSC, 2008).

#### 2.4.4 Lixão

Local onde há uma inadequada disposição final de resíduos sólidos, que se caracteriza pela simples descarga sobre o solo sem medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública. É o mesmo que descarga de resíduos a céu aberto sem levar em consideração, segundo Bidone (2001):

- a área em que está sendo feita a descarga;
- o escoamento de líquidos formados, que percolados, podem contaminar as águas superficiais e subterrâneas;
- a liberação de gases, principalmente o gás metano que é combustível, embora seja produzido em menor quantidade devido a não compactação, pois há presença de ar;
- o espalhamento de lixo, como papéis e plásticos, pela redondeza, por ação do vento;
- a possibilidade de criação de animais como porcos, galinhas, etc. nas proximidades ou no local bem como a ação humana vasculhando o lixo como forma de sustento.



**Figura 1** Visão de um Lixão. - Fonte: Portal Eco Debate, 2009.

Os resíduos assim lançados acarretam problemas à saúde pública, como proliferação de vetores de doenças (moscas, mosquitos, baratas, ratos etc.), geração de maus odores e, principalmente, a poluição do solo e das águas superficiais e subterrâneas através do chorume (líquido de cor preta, mal cheiroso e de elevado potencial poluidor produzido pela decomposição da matéria orgânica contida no lixo), comprometendo os recursos hídricos.

#### 2.4.5 Aterros

Aterro é a disposição ou aterramento do lixo sobre o solo e deve ser diferenciado, tecnicamente, em aterro sanitário, aterro controlado e lixão ou vazadouro (D' ALMEIDA & VILHENA, 2000).

##### 2.4.5.1 Aterro Controlado

É uma técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo em antigos Lixões transformados em Aterros Controlados, sem causar danos ou riscos à saúde pública e a sua segurança, minimizando os impactos ambientais.

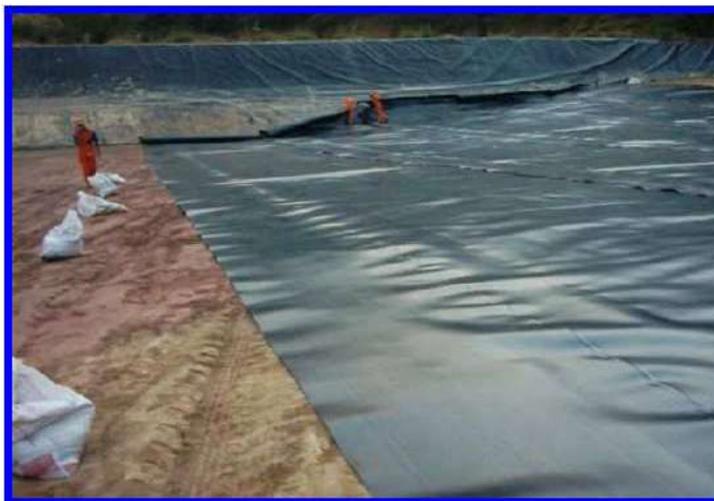
Esta forma de disposição produz, em geral, poluição localizada, pois similarmente ao aterro sanitário, a extensão da área de disposição é minimizada. Porém, geralmente não dispõe de impermeabilização de base (comprometendo a qualidade das águas subterrâneas), nem sistemas de tratamento de chorume ou de dispersão dos gases gerados.

Na fase de operação, realiza-se uma impermeabilização do local, de modo a minimizar riscos de poluição, e a proveniência dos resíduos é devidamente controlada. O biogás é extraído e as águas lixiviantes são tratadas. A deposição faz-se por células que uma vez

preenchidas são devidamente seladas e tapadas. A cobertura dos resíduos faz-se diariamente. Uma vez esgotado o tempo de vida útil do aterro, este é selado, efetuando-se o recobrimento da massa de resíduos com uma camada de terras com 1,0 a 1,5 metro de espessura. Posteriormente, a área pode ser utilizada para ocupações "leves" (zonas verdes, campos de jogos, etc.) (D' ALMEIDA & VILHENA, 2000).

#### 2.4.5.2 Aterro Sanitário

É um processo utilizado para a disposição de resíduos sólidos no solo, particularmente, lixo domiciliar que fundamentado em critérios de engenharia e normas operacionais específicas, permite a confinação segura em termos de controle de poluição ambiental, proteção à saúde pública; ou, forma de disposição final de resíduos sólidos urbanos no solo, através de confinamento em camadas cobertas com material inerte, geralmente, solo, de acordo com normas operacionais específicas, e de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, minimizando os impactos ambientais (D' ALMEIDA & VILHENA, 2000).



**Figura 2 Instalação com manta de impermeabilização PEAD 2mm.**

Fonte: Arquivo Construtora Queiros Galvão S.A, 2005.

Antes de se projetar o aterro, são feitos estudos geológico e topográfico para selecionar a área a ser destinada para sua instalação não comprometa o meio ambiente. É feita, inicialmente, impermeabilização do solo através de combinação de argila e lona plástica de impermeabilização (PEAD) para evitar infiltração dos líquidos percolados, no solo, os quais são captados (drenados) através de tubulações e escoados para lagoa de tratamento. Para evitar o excesso de águas de chuva, são colocados tubos ao redor do aterro, que permitem desvio dessas águas, do aterro (AMBIENTEBRASIL, 2008).

A quantidade de lixo depositado é controlada na entrada do aterro através de pesagem em balança. Os gases liberados durante a decomposição são captados e podem ser queimados com sistema de purificação de ar ou ainda utilizados como fonte de energia (aterros energéticos) (AMBIENTEBRASIL, 2008).

Segundo a Norma Técnica NBR 8419 (ABNT, 1984), o aterro sanitário não deve ser construído em áreas sujeitas à inundação. Entre a superfície inferior do aterro e o mais alto nível do lençol freático deve haver uma camada de espessura mínima de 1,5 m de solo insaturado. O nível do solo deve ser medido durante a época de maior precipitação pluviométrica da região. O solo deve ser de baixa permeabilidade (argiloso) (AMBIENTEBRASIL, 2008).

O aterro deve ser localizado a uma distância mínima de 200 metros de qualquer curso d'água. Deve ser de fácil acesso. A arborização deve ser adequada nas redondezas para evitar erosões, espalhamento da poeira e retenção dos odores (AMBIENTEBRASIL, 2008).



**Figura 3** Visão aérea do aterro sanitário Salvaterra (2006).

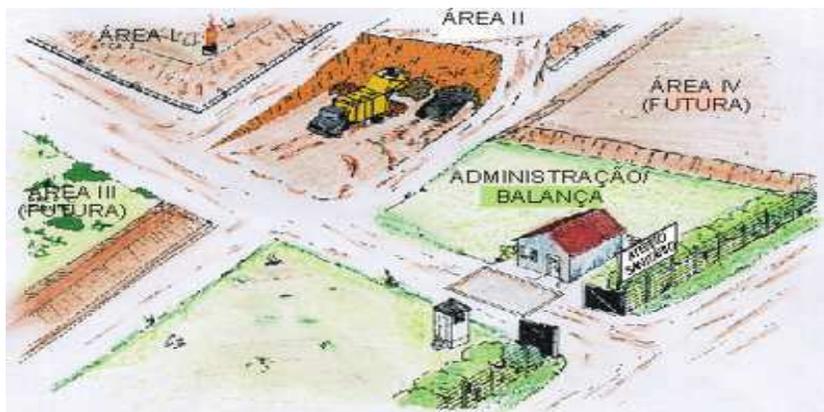
Fonte: Arquivo Construtora Queiros Galvão S.A, 2006.

Devem ser construídos poços de monitoramento para avaliar se estão ocorrendo vazamentos e contaminação do lençol freático: no mínimo quatro poços, sendo um a montante e três a jusante, no sentido do fluxo da água do lençol freático. O efluente da lagoa onde é depositado o chorume, deve ser monitorado pelo menos quatro vezes ao ano (AMBIENTEBRASIL, 2008).

Nos aspectos operacionais de um aterro sanitário estão envolvidos os seguintes fatores:

- Tráfego;
- Espalhamento de materiais;
- Ruídos e odores;
- Proliferação de vetores;
- Frente de operação;
- Manutenção das estruturas;
- Monitoramento ambiental.

Esses fatores devem ser continuamente monitorados, pois eles podem mudar de situação conforme o desenvolvimento do aterro (UNESP, 2008).

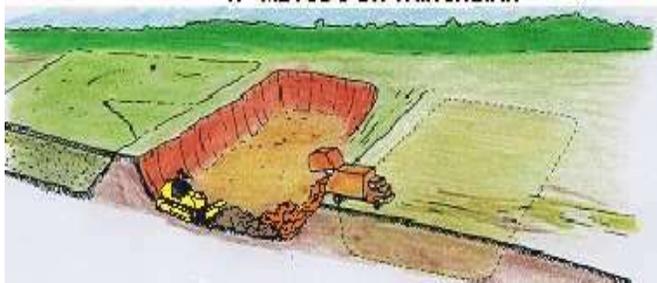


**Figura 4 Ilustração de um aterro sanitário. - Fonte: UNESP, 2008.**

A figura 5 acima esquematiza os aspectos operacionais do aterro sanitário com critérios de área, recebimento dos resíduos, inspeções, manejo adequado e cobertura diária. (UNESP, 2008).

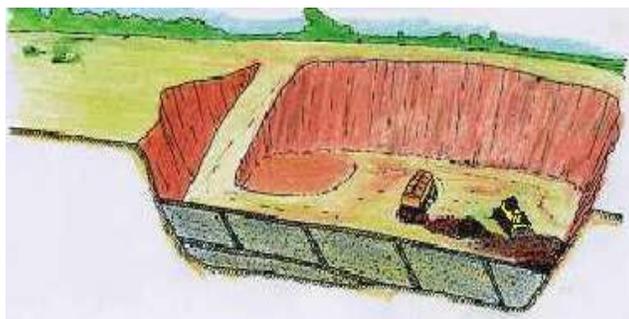
## 2.5 Forma de Aterramento de Resíduos Sólidos em Aterros Sanitários

### a) Métodos da Trincheira ou Vala



**Figura 5 Método da Trincheira ou Vala - Fonte: UNESP, 2008.**

### b) Método da Área



**Figura 6 Método da Área. - Fonte: UNESP, 2008**

## c) Método de Rampa



**Figura 6 Método da Rampa - Fonte: UNESP, 2008.**

## 2.5.1 Operação de Aterros Sanitários

Compreende o espalhamento, compactação, cobertura e drenagem dos resíduos, monitoramento do sistema de tratamento de efluentes, monitoramento topográfico e das águas, manutenção dos acessos e das instalações de apoio. Abaixo as figuras 8, 9 e 10 demonstram a operação com as respectivas etapas (AMBSC, 2009)

Após a coleta, o lixo é descarregado no aterro sanitário.



**Figura 8 Descarte de lixo em aterro sanitário.**

Fonte: AMBSC, 2008.

O lixo é compactado com trator, formando uma célula, que será recoberta com argila (AMBSC, 2008).



**Figura 9 Compactação de lixo em aterro sanitário.**

Fonte: AMBSC, 2008.

Ao final, o lixo fica protegido do espalhamento pelo vento e da ação de moscas, ratos, baratas, etc. segundo a Ambiental Saneamento e Concessões (2008):



**Figura 103** Cobertura de lixo em aterro sanitário.

Fonte: AMBSC, 2008.

Embora a coleta dos resíduos em um município seja simples, esta técnica necessita de alguns cuidados em seu processo operacional para que sua eficiência seja maximizada. A operação incorreta do aterro sanitário pode lhe conferir características indesejáveis como a de um lixão, trazendo sérios riscos à saúde da população e ao meio ambiente (NUNESMAIA, 1997).

## EFLUENTES EM ATERROS SANITÁRIOS

### 2.6 Efluentes Líquidos

O chorume era inicialmente apenas a substância gordurosa expelida pelo tecido adiposo da banha de um animal. Posteriormente, o significado da palavra foi ampliado e passou a significar o líquido poluente, de cor escura e odor nauseante, originado de processos biológicos, químicos e físicos da decomposição de resíduos orgânicos. Esses processos, somados com a ação da água das chuvas, se encarregam de lixiviar compostos orgânicos presentes nos aterros sanitários para o meio ambiente (SISINNO & ROSÁLIA, 2000).

Esse líquido pode vir a atingir as águas subterrâneas, poluindo esse recurso natural. A elevada carga orgânica presente no chorume faz com que ele seja extremamente poluente e danoso às regiões por ele atingidas (SISINNO & ROSÁLIA, 2000). A disposição inadequada dos resíduos sólidos promove a contaminação do solo, do ar e das águas superficiais e subterrâneas, além da proliferação de vetores de doenças, influenciando negativamente a qualidade ambiental e a saúde da população; portanto, esta prática deve ser evitada (SISINNO & ROSÁLIA, 2000).

O método de disposição final de resíduos sólidos urbanos, conhecido como aterro sanitário, aplica conhecimentos de engenharia e segue normas pré-estabelecidas de planejamento, construção e operação, minimizando riscos e problemas ambientais. A localização do aterro é criteriosamente selecionada, planejada e preparada. Em aterros

sanitários, o resíduo sólido urbano é depositado em finas camadas, compactado e coberto com argila no final de cada operação (TARTARI, 2003).

Porém, um dos grandes problemas encontrados no gerenciamento de aterros sanitários de resíduos urbanos diz respeito à produção e ao tratamento do chorume produzido. Especialmente nos casos onde o aterro sanitário está situado em áreas com uma alta pluviosidade, a produção de chorume é abundante, conseqüentemente o risco de contaminação do solo, de águas subterrâneas e de leitos de rios é relativamente alto, podendo gerar um forte impacto ambiental. **Chorume de aterros sanitários geralmente contém altas concentrações de compostos orgânicos, nitrogênio amoniacal (GARCÍA, 1997).**

Na composição do chorume, podem conter metais pesados decorrentes da decomposição da característica do próprio solo de cobertura ou embalagens metálicas, ou pilhas e etc.

Nos aterros sanitários, onde ocorre a disposição planejada dos resíduos sólidos, normalmente o chorume é canalizado para um tanque a céu aberto, podendo haver ou não um pré-tratamento, e desse reservatório, Sendo este liquido enviados para as ETE (Estação de Tratamento de Esgoto). A poluição das águas pelo chorume pode provocar endemias ou intoxicações, se houver a presença de organismos patogênicos e substâncias tóxicas em níveis acima do permissível (SISINNO & ROSÁLIA, 2000).



**Figura 11** Visão aérea da Estação de Tratamento de Efluentes do Lara. Fonte: LARA, 2008.

Nos aterros tem-se o chorume gerado pelo processo de degradação do lixo e pela passagem de águas de chuva que ocorre no interior dos mesmos. Ao ser drenado do aterro, o chorume resultante da mistura das duas fontes, carrega materiais em suspensão e dissolvidos com alto potencial de contaminação. Este chorume é potencialmente tóxico por conter metais pesados e altos níveis de DBO (demanda bioquímica de oxigênio) e DQO (demanda química de oxigênio). Além disto, verifica-se que apresentam características que variam em função

dos resíduos aterrados e com a idade do aterro, o que o torna uma água residuária de difícil tratamento (SISINNO & ROSÁLIA, 2000).

No início da operação de um aterro sanitário observa-se que o chorume tem pH levemente ácido, que é justificado pela oxidação de carboidratos e gorduras e formação de ácidos orgânicos. Essa característica vai se alterando já que os carboidratos e gorduras se tornam escassos e inicia-se outro ciclo de reações envolvendo a hidrólise de proteínas. Nessa fase o pH aumenta em média para 8,5, gerando altas concentrações de nitrogênio na forma amoniacal. Isso prejudica o crescimento celular e impede a conversão do nitrogênio em nitrato e seu subsequente uso como macronutrientes. Outras substâncias como sulfetos, também presentes no chorume, seguem a mesma seqüência de transformações (SISINNO & ROSÁLIA, 2000).

## 2.7 Efluentes gasosos

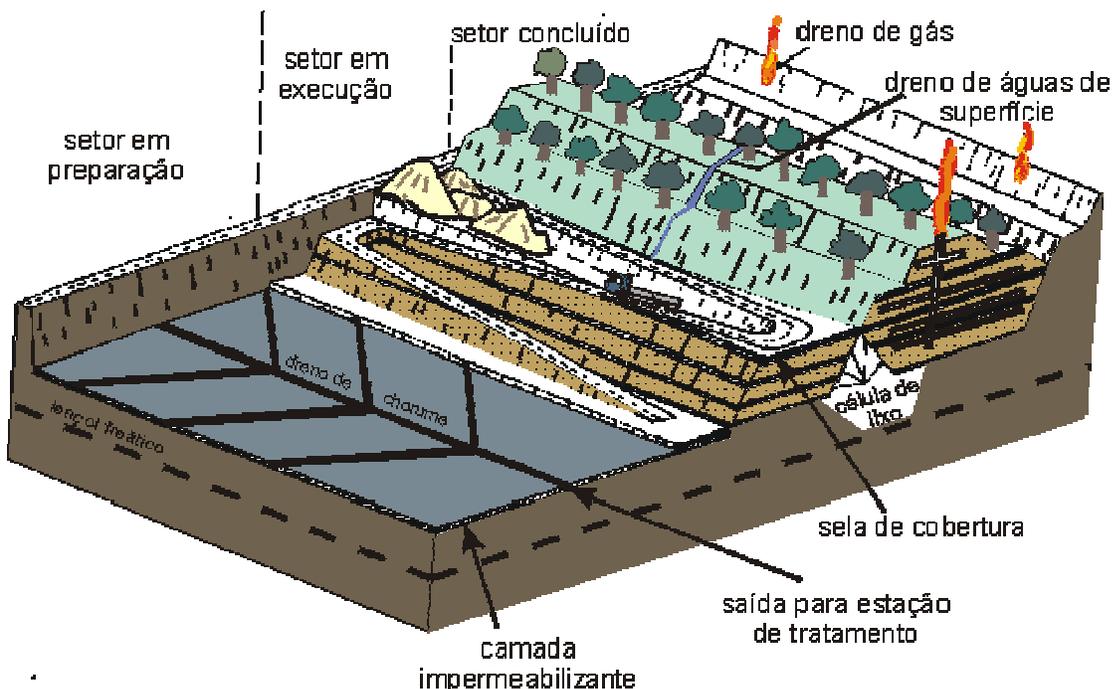
Os gases produzidos por ação biológica são, essencialmente, metano e dióxido de carbono, em concentrações variáveis no decurso da vida do aterro e dependentes da idade deste e da natureza dos resíduos aí depositados (LIPOR, 2008).

O dióxido de carbono tem uma densidade superior à do ar e elevada solubilidade na água, estando a sua drenagem natural associada á circulação dos lixiviados (chorume). O metano, sendo mais leve que o ar, tende a escapar-se ascencionalmente por difusão através da massa de resíduos (LIPOR, 2008).

O biogás captado, que é o conjunto de gases produzido por ação biológica, quando simplesmente queimado no Dreno Vertical, pode chegar a temperaturas de 1200 °C (D'ALMEIDA & VILHENA, 2000), pois o poder calorífico do biogás é aproximadamente 6 kWh/m<sup>3</sup> (BRITO FILHO, 2005).

## 2.8 Sistemas de drenagem dos efluentes

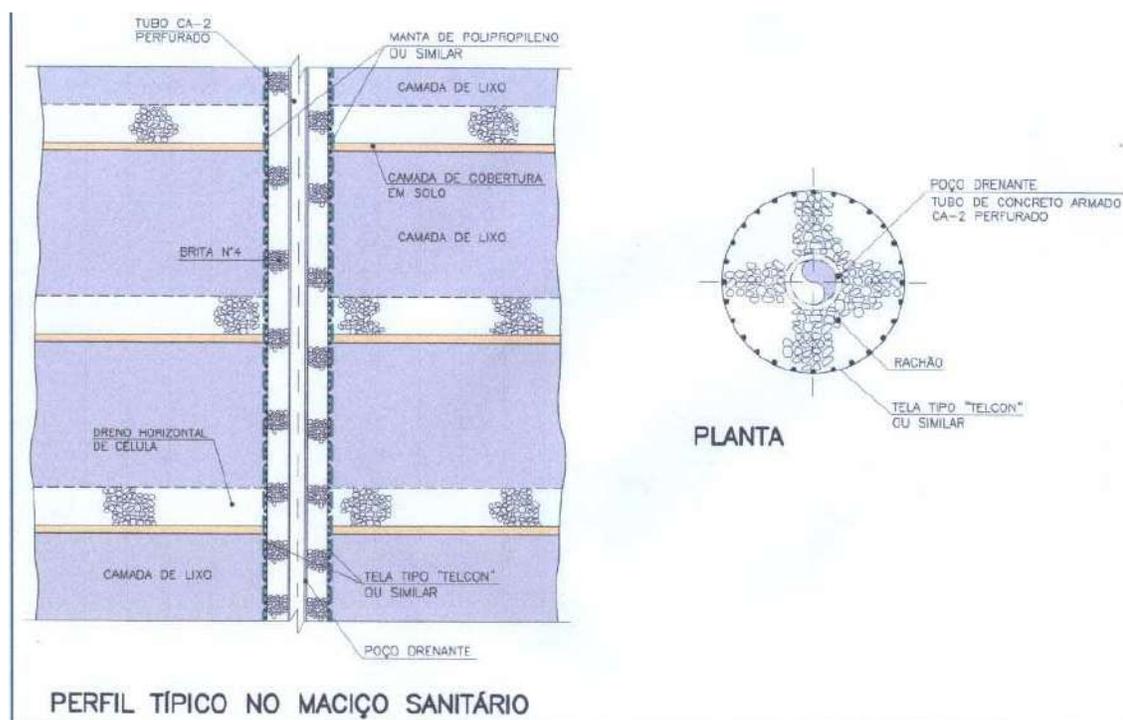
Em muitos aterros sanitários como no LARA, CDR – Pedreira, Terrestre e Bandeirantes os gases são produzidos em lixo compactado em camadas, as quais tem volta de cinco metros de altura. Para cada célula de cinco metros concluída, são construídos drenos horizontais e verticais interligados, formando uma malha de galerias subterrâneas (D'ALMEIDA & VILHENA, 2000).



**Figura 12** Organização de um aterro.

Fonte: AMBSC, 2008.

O sistema de Captação de Biogás exemplificado na figura 13 abaixo:



**Figura 13** Perfil Típico do Maciço Sanitário.

Fonte: Delbin, 2004.

Alguns drenos verticais são constituídos por tubulação de concreto armado perfurado no centro do dreno vertical e pedra rachão envolvida com tela de aço no entorno da tubulação de concreto perfurada. (Vide figura 14 e 17).



**Figura 44 Dreno vertical (PDR) . Fonte: Delbin, 2004.**

Existem drenos verticais que são constituídos por tubulação de Poli Etileno de Alta Densidade perfurado no centro do dreno vertical e pedra rachão envolvida com tela de aço no entorno da tubulação de Poli Etileno de Alta Densidade perfurado. (Vide figura 15).



**Figura 15 Dreno vertical LARA.**

Fonte: LARA, 2008.

Alguns drenos verticais são constituídos por tubulação de aço perfurado no centro do dreno vertical e Pedra Rachão envolvida com tela de aço no entorno da tubulação de aço perfurado. Em alguns aterros sanitários como o LARA para auxiliar a drenagem de efluentes gasosos em drenagens verticais, apresentou-se necessária algumas perfurações para

otimização desta drenagem nos locais mais antigos onde não era projetada a extração do efluente gasoso. (Vide figura 16).



**Figura 16 Perfuração no aterro sanitário Lara. - Fonte: LARA, 2008.**

Na ilustração acima é observada a perfuração do maciço para inserção de uma drenagem vertical que colabora para drenagem de efluentes gasosos.



**Figura 17 Execução de Dreno no aterro sanitário Lara. - Fonte: LARA, 2008.**

A Eficiência destes drenos individuais é baixa (cerca de 20%) e o acendimento é manual. Para Melhorar a eficiência de queima, devem-se captar e unir os drenos a uma unica tubulação que é conectada a sopradores e depois ao flare.

Fonte: Manual de Aterro Sanitário – ICLEI, 2008)

### 3 ESTIMATIVA DA GERAÇÃO DE BIOGÁS EM ATERROS SANITÁRIOS

#### 3.1 Decomposição da matéria orgânica

A decomposição da matéria orgânica complexa é apresentada em Lobo (2003) (apud Borba, 2006), como uma série de etapas de degradação anaeróbia que começam pela hidrólise do sólido orgânico, dando origem a polímeros mais simples como proteínas, carboidratos e lipídios que, por sua vez, são hidrolisados e formam açúcares, aminoácidos e ácidos graxos voláteis de alto peso molecular. Os aminoácidos e açúcares são transformados em produtos intermediários (ácidos voláteis) ou são fermentados produzindo ácido acético, em ambos os casos é gerada amônia. Os ácidos graxos de cadeia longa são decompostos em produtos intermediários e hidrogênio. Os produtos da degradação final são o dióxido de carbono e o metano. A figura 20 resume as etapas de decomposição apresentadas acima (BORBA, 2006).

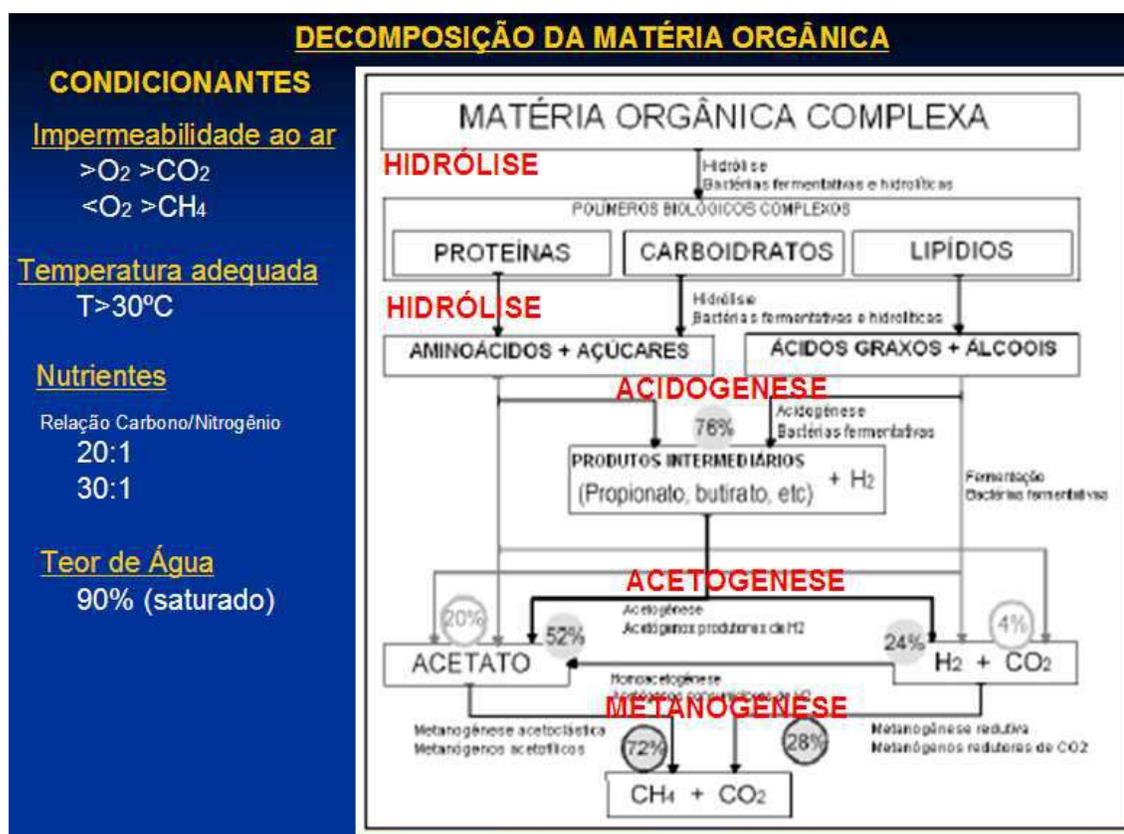


Figura 18 Esquema de reações na digestão anaeróbia de materiais polímeros.

Fonte: BORBA, 2006, p. 02.

### 3.2 Condições indispensáveis à fermentação

As condições ótimas de vida para os microorganismos anaeróbios são (ENSINAS, 2003):

#### a) Impermeabilidade ao ar.

Nenhuma das atividades biológicas dos microorganismos, inclusive seu desenvolvimento, reprodução e metabolismo, não exigem oxigênio,

A decomposição de matéria orgânica na presença de oxigênio produz somente dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>); na ausência de ar (oxigênio) produz metano.

#### b) Temperatura adequada

A temperatura no interior das camadas do aterro afeta sensivelmente a produção de biogás. Todos os microorganismos produtores de metano são muito sensíveis a alterações de temperatura; qualquer mudança brusca que exceder a 30°C afeta a produção (ENSINAS, 2003)

#### c) Nutrientes

Os principais nutrientes dos microorganismos são carbono, nitrogênio e sais orgânicos. Uma relação específica de carbono para nitrogênio de ser mantida entre 20:1 e 30:1. (ENSINAS, 2003)

#### d) Teor de Água

O teor de água deve normalmente situar-se em torno de 90% do peso do conteúdo total. Tanto o excesso, quanto a falta de água são prejudiciais. O teor da água varia de acordo com as diferenças apresentadas pelas matérias-primas destinadas à fermentação (ENSINAS, 2003)

#### e) Substâncias prejudiciais

Materiais poluentes, como NaCl, Cu, Cr, NH<sub>3</sub>, K, Ca, Mg e Ni, são aceitáveis se mantidas abaixo de certas concentrações diluídas em água, por exemplo (ENSINAS, 2003).

### 3.3 Fases de geração de biogás

Tchobanoglous et al (1997), descrevem a geração de gás em aterros de resíduos em cinco fases, ou quatro se for desconsiderada a segunda, por ser uma fase de transição. Estas fases são ilustradas abaixo no gráfico 1 e descritas logo a seguir (BORBA, 2006).

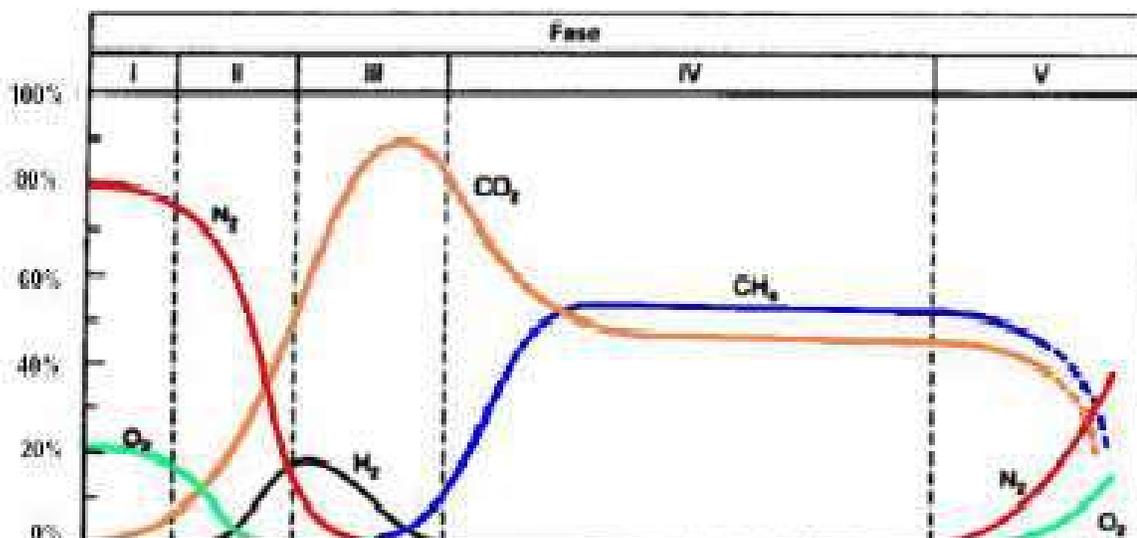


Gráfico 1 Fases de geração de biogás em aterros de resíduos sólidos.

Fonte: BORBA, 2006, p. 9.

- Fase I: Ajuste inicial. Fase em que os resíduos são depositados no aterro e sua fração biodegradável sofre a decomposição biológica em condições aeróbias. A fonte principal de microorganismos aeróbios e anaeróbios, responsável pela decomposição dos resíduos, é o solo empregado na cobertura diária e final. Outras fontes de microorganismos podem ser o lodo de estações de tratamento, depositado em alguns aterros, e a recirculação do chorume. Esta fase, em que a decomposição é aeróbia, se estende por um período de poucos dias após a execução da camada de cobertura, diminuindo a presença de oxigênio.
- Fase II: Transição. Fase em que decrescem os níveis de oxigênio e começa a fase anaeróbia. Enquanto o aterro é convertido em anaeróbio, o nitrato e o sulfato, que podem servir como receptores de elétrons em reações de conversão biológica, frequentemente são reduzidos a gás nitrogênio e sulfuro de hidrogênio. O início das condições anaeróbias pode ser verificado através do potencial de oxidação e redução que possui o resíduo. Com a queda do potencial de óxido-redução os microorganismos responsáveis pela conversão da matéria orgânica em metano e dióxido de carbono iniciam a conversão do material orgânico complexo em ácidos orgânicos e outros produtos intermediários. Nesta fase o pH do chorume começa a cair devido à presença de ácidos orgânicos e pelo efeito das elevadas concentrações de  $\text{CO}_2$  dentro do aterro.

- Fase III: Ácida. Fase que antecede a formação de metano, em que as reações iniciadas na fase de transição são aceleradas com a produção de quantidades significativas de ácidos orgânicos e pequenas quantidades de gás hidrogênio. A acidogênese envolve a conversão microbiológica dos compostos resultantes da primeira etapa em compostos intermediários com baixa massa molecular, como o ácido acético ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) e pequenas concentrações de outros ácidos mais complexos. O dióxido de carbono é o principal gás gerado durante a fase III. Também serão produzidas quantidades menores de hidrogênio. Os microorganismos envolvidos nesta conversão, descritos como não metanogênicos, são constituídos por bactérias anaeróbias e facultativas. As demandas bioquímica (DBO) e química de oxigênio (DQO) e a condutividade do chorume aumentam significativamente durante esta fase devido à dissolução de ácidos orgânicos no chorume. O pH do chorume, se este é formado, é muito baixo (4 – 5), devido à presença de ácidos orgânicos e pelas elevadas concentrações de  $\text{CO}_2$  dentro do aterro. Também devido ao baixo pH, constituintes inorgânicos como os metais pesados serão solubilizados.
- Fase IV: Metanogênica: Nesta fase de produção do metano, predominam microrganismos estritamente anaeróbios, denominados metanogênicos, que convertem ácido acético e gás hidrogênio em  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$ . A formação do metano e dos ácidos prossegue simultaneamente, embora a taxa de formação dos ácidos seja reduzida consideravelmente. O pH do chorume nesta fase ascenderá a valores na faixa de 6,8 a 8,0. A seguir o pH continuará subindo e serão reduzidas as concentrações de DBO5, DQO e o valor da condutividade do chorume. Com valores mais elevados de pH, menos constituintes inorgânicos permanecerão dissolvidos, tendo como consequência a redução da concentração de metais pesados no chorume.
- Fase V: Maturação. Esta fase ocorre após grande quantidade do material ter sido biodegradado e convertido em  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$  durante a fase metanogênica. Como a umidade continua migrando pela massa de lixo, porções de material biodegradável até então não disponíveis acabam reagindo. A taxa de geração do gás diminui consideravelmente, pois a maioria dos nutrientes disponíveis foi consumida nas fases anteriores e os substratos que restam no aterro são de degradação lenta. Dependendo das medidas no fechamento do aterro, pequenas quantidades de nitrogênio e oxigênio podem ser encontradas no gás do aterro.

A duração de cada fase de geração de gás variará conforme a distribuição dos componentes orgânicos no aterro, a disponibilidade de nutrientes, a umidade dos resíduos, a passagem de umidade pelo aterro e o grau de compactação inicial (BORBA, 2006, p. 11)

Em condições normais, a velocidade de decomposição, medida através da produção de gás, chega a um máximo nos dois primeiros anos e logo decresce lentamente por 25 anos ou mais. Porém, as fases de um aterro não podem ser claramente definidas, já que novos resíduos são dispostos diariamente. Desta forma, enquanto alguns locais com resíduos novos estão passando pela fase aeróbia, outros locais com resíduos mais antigos estão passando por fases de geração de metano (BORBA, 2006, p. 11). A possibilidade da utilização deste gás para geração de energia elétrica, pode ser avaliada uma vez que o biogás, geralmente em aterros sanitários, apresentam concentrações iniciais de metano em torno de 50% (alguns meses após o aterramento), estabilizando-se em valores em torno de 60 a 65% (cerca de um a dois anos após aterramento) (ENSINAS, 2003).

### 3.4 Exemplo de estimativa de Geração de Biogás em Aterros Sanitários.

Uma das metodologias mostradas pela United States Environmental Protection Agency - USEPA para calcular os gases emitidos pela degradação de Resíduos Sólidos em aterros destinada a sistemas de disposição sem controle será apresentada.

Para o tipo de disposição sem controle é apresentada a equação cinética de primeira ordem (1) com a qual podem ser calculadas as emissões de metano. Esta metodologia foi publicada pela USEPA (“*Emission factor documentation for AP-42 section 2.4. Municipal Solid Waste Landfills*”) e tem como base a estimativa direta das emissões de metano a partir de um modelo (*Land-Gem: Landfill Gas Emission Model*) (BORBA, 2006, p. 19).

$$Q_{CH_4} = L_0 * R * (e^{-k \cdot c} - e^{-k \cdot t})$$

Em que:

$Q_{CH_4}$  = Metano gerado no ano t, (m<sup>3</sup>/ano).

$L_0$  = Potencial de geração de metano por tonelada de resíduo depositado, (m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> / t resíduo).

R = Média anual de entrada de lixo no vazadouro, (t/ano).

k = taxa de geração de metano, (ano<sup>-1</sup>).

c = anos desde o fechamento, **c = 0** para os ativos, (ano).

t = anos desde o início da atividade, (ano).

Na Tabela 1 abaixo são apresentados os valores que, na ausência de dados, são propostos pela EPA para os coeficientes  $k$  e  $L_0$ .

**Tabela 2** Valores de  $K$  e  $L_0$  propostos pela USEPA.

PLUVIOMETRIA ANUAL	> 635 mm	< 635 mm
$k$	0,04	0,02
$L_0$	100 m <sup>3</sup> /t	100 m <sup>3</sup> /t

Fonte: BORBA, 2006, p. 19.

**Tabela 3** Estimação da densidade do Lixo Depositado

TIPO DE COMPACTAÇÃO	DENSIDADE ((kg/m <sup>3</sup> ))
LIXO COMPACTADO	635 - 831 (MÉDIA 742)
LIXO DEGRADADO COMPACTADO	1.009 - 1.127 (MÉDIA 1.068)
SEM DADOS	688

Fonte: BORBA, 2006, p. 20.

A equação (1) foi concebida inicialmente para estimar a geração de metano e não para estimar emissões, pois parte do metano em sua migração para a atmosfera é captado e degradado nas camadas mais superficiais do terreno. Entretanto, dada a dificuldade em avaliar as emissões, adotando um critério conservador, considera-se que todo o metano gerado é emitido à atmosfera através de fissuras ou vias de evacuação praticadas no terreno (BORBA, 2006, p. 20). Um exemplo do resultado de estudos similares de geração de biogás em aterros sanitários, como no aterro sanitário Lara é a apresentação do Gráfico 2.



Gráfico 2 Estimação Geração de Gás Metano no Aterro Sanitário Lara.

Fonte: Arquipélago Ambiental Engenharia Ambiental, 2008.

A eficiência do sistema de captação não são 100% efetivos, desta forma, parte do biogás gerado é emitido à atmosfera diretamente. Se este dado for desconhecido será utilizado o valor que sugere a USEPA (1998) de 75% de eficácia de captação (BORBA, 2006, p. 21).

#### 4 IMPACTOS GERADOS PELO BIOGÁS

Os gases produzidos nos aterros sanitários, quando não capturados e conduzidos para combustão em queimadores (Flares) para geração de energia elétrica ou mesmo para aquecimento de caldeiras, ainda são queimados em drenos verticais, de maneira incipiente, lançando poluentes na atmosfera (IBAM, 2008).



**Figura 19 Vista do Dreno Vertical Queimando Biogás**

Fonte: Delbin, 2004.

##### 4.1 Odor Gerado pelo Biogás.

O odor é um subproduto resultante da decomposição incompleta da matéria orgânica. Quando as células morrem, elas atraem as bactérias, as quais "quebram" as células do tecido morto, de modo que este possa, então, ser reciclado por um processo natural conhecido como decomposição, produzindo gases, como  $H_2S$ , com odor desagradável ou irritante aos seres humanos (GLOTEC, 2008).

O metano, principal componente do biogás, não tem cheiro, cor ou sabor, mas os outros gases presentes conferem-lhe um ligeiro odor de alho ou de ovo podre. Esta característica olfativa é uma problemática pelo incomodo à sociedade vizinha de um aterro sanitário

No Reino Unido por exemplo, foi implantados desodorizadores pois o mau cheiro era realmente insuportável. Para solucionar o problema e manter boas relações com a vizinhança, no aterro foi instalado um sistema de desodorização temporário, que satisfizesse os residentes. Logo em seguida, quando o sistema se provou bem sucedido, implantou-se um sistema perimetral permanente, capaz de neutralizar os odores indesejáveis (AIRSPECTRUM, 2008).

#### 4.2 Efeito Estufa.

O Efeito Estufa consiste, basicamente, na ação do dióxido de carbono e outros gases sobre os raios infravermelhos refletidos pela superfície da terra, reenviando-os para ela, mantendo assim uma temperatura estável no planeta. Ao irradiarem a Terra, partes dos raios luminosos oriundos do Sol são absorvidos e transformados em calor, outros são refletidos para o espaço, mas só parte destes chega a deixar a Terra, em consequência da ação refletora que os chamados "Gases de Efeito Estufa", GEE, (dióxido de carbono, metano, clorofluorcarbonetos – CFCs - e óxidos de azoto) têm sobre tal radiação reenviando-a para a superfície terrestre na forma de raios infravermelhos (SCHIEL, 2008).

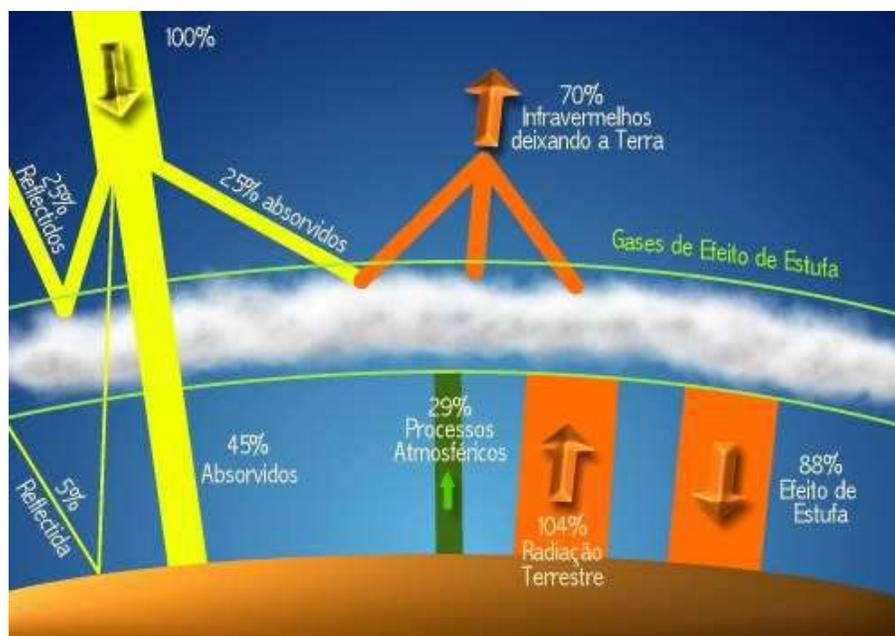


Gráfico 3 Efeito Estufa. - Fonte: Schiel, 2008.

Desde a época pré-histórica que o dióxido de carbono tem tido um papel determinante na regulação da temperatura global do planeta. Com o aumento da utilização de combustíveis fósseis (Carvão, Petróleo e Gás Natural) a concentração de dióxido de carbono na atmosfera duplicou nos últimos cem anos. Neste ritmo e com o abatimento massivo de florestas que se tem praticado (é nas plantas que o dióxido de carbono, através da fotossíntese, forma oxigênio e carbono, que é utilizado pela própria planta) o dióxido de carbono começará a proliferar levando, muito certamente, a um aumento da temperatura global, o que, mesmo tratando-se de poucos graus, levaria ao degelo das calotas polares e a grandes alterações a nível topográfico e ecológico do planeta (SCHIEL, 2008).

A concentração de outros gases que contribuem para o Efeito de Estufa, tais como o metano, sendo este, um dos gases que contribuem muito para o aglomeramento do efeito estufa, o qual é cerca de 21 vezes mais prejudicial do que o CO<sub>2</sub>. Assim como os clorofluorcarbonetos que também aumentaram rapidamente. O efeito conjunto de tais substâncias pode vir a causar um aumento da temperatura global (Aquecimento Global) estimado entre 2 e 6 °C nos próximos 100 anos. Um aquecimento desta ordem de grandeza não só irá alterar os climas em nível mundial como também irá aumentar o nível médio das águas do mar em, pelo menos, 30 cm, o que poderá interferir na vida de milhões de pessoas habitando as áreas costeiras mais baixas (SCHIEL, 2008).

Abaixo segue uma planilha com os gases de efeito estufa com o seu potencial de aquecimento global em 20,100 e 500 anos.

**Tabela 4 Planilha com os gases de efeito estufa com o seu potencial de aquecimento global em 20,100 e 500 anos.**

Espécie	Fórmula Química	Tempo de Vida (anos)	Potencial de aquecimento global (horizontal de tempo)		
			20 anos	100 anos	500 anos
Dióxido de Carbono	CO <sub>2</sub>	Variável	1	1	
Metano	CH <sub>4</sub>	12+/-3	56	21	6.5
Óxido Nitroso	N <sub>2</sub> O	120	280	310	170
Ozônio	O <sub>3</sub>	0.1-0.3	n.d.	n.d.	n.d.
HFC-23	CHF <sub>3</sub>	264	9	11700	9800
HFC-32	CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	5.6	2	650	200
HFC-41	CH <sub>3</sub> F	3.7	490	150	45
HFC-23-10mee	C <sub>5</sub> H <sub>2</sub> F <sub>10</sub>	17.1	3000	1300	400
HFC-125	C <sub>2</sub> HF <sub>5</sub>	32.6	4600	2800	920
HFC-134	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> F <sub>4</sub>	10.6	2900	1000	310

HFC-134a	$\text{CH}_2\text{FCF}_3$	14.6	3400	1300	420
HFC-152a	$\text{C}_2\text{H}_4\text{F}_2$	1.5	460	140	42
HFC-143	$\text{C}_2\text{H}_3\text{F}_3$	3.8	1000	300	94
HFC-143a	$\text{C}_2\text{H}_3\text{F}_3$	48.3	5000	3800	1400
HFC-227ea	$\text{C}_3\text{HF}_7$	36.5	4300	2900	950
HFC-236fa	$\text{C}_3\text{H}_2\text{F}_6$	209	5100	6300	4700
HFC-145ca	$\text{C}_3\text{H}_3\text{F}_5$	6.6	1800	560	170
Hexafluorido de Enxofre	$\text{SF}_6$	3200	16300	23900	34900
Perfluorometano	$\text{CF}_4$	50000	4400	6500	10000
Perfluoroetano	$\text{C}_2\text{F}_6$	10000	6200	9200	14000
Perfluoropropano	$\text{C}_3\text{F}_8$	2600	4800	7000	10100
Perfluorociclobutano	c- $\text{C}_4\text{F}_8$	3200	6000	0.87	12700
Perfluoropentano	$\text{C}_5\text{F}_{12}$	4100	5100	7500	11000
Perfluorohexano	$\text{C}_6\text{F}_{14}$	3200	5000	7400	10700

Fonte: CETESB, 2008.

O IPCC (Painel Intergovernamental para as Mudanças Climáticas, estabelecido pelas Nações Unidas e pela Organização Meteorológica Mundial em 1988) no seu relatório mais recente, diz que a maior parte deste aquecimento, observado durante os últimos 50 anos, se deve muito provavelmente a um aumento dos gases do efeito estufa na atmosfera conforme Gráficos 4 e 5.

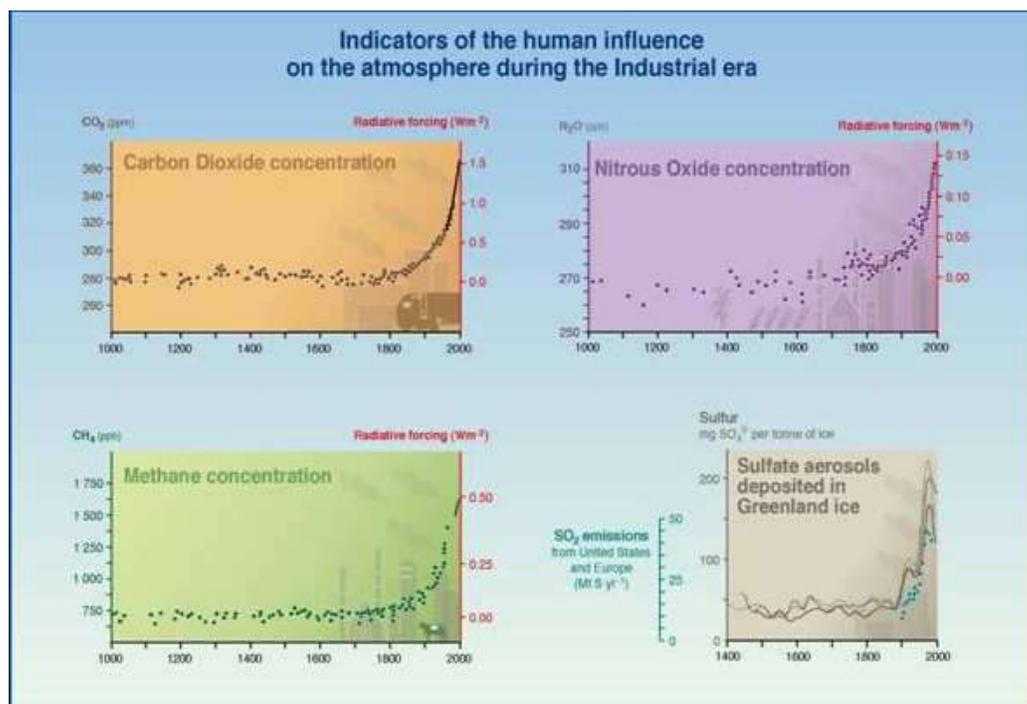


Gráfico 4 Indicadores da influencia humana durante a era de industrialização.

Fonte: IPCC, 2008.

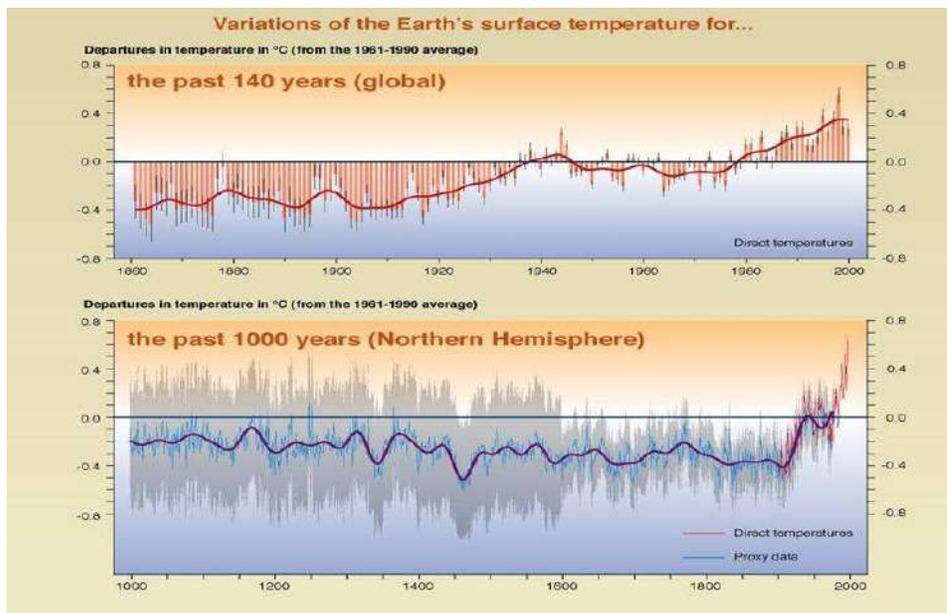


Gráfico 5 Variações da temperatura superficial da Terra.

Fonte: IPCC, 2008.

Durante a decomposição anaeróbia da matéria orgânica nos aterros sanitários é liberado o gás metano que é um potente gás de efeito estufa, com potencial de aquecimento global 21 vezes superior ao CO<sub>2</sub> num período de 100 anos. Seu ciclo de vida na atmosfera é de aproximadamente 12 anos, sendo o 2º gás de Efeito Estufa em ordem de importância, pois responde por aproximadamente 18% de toda a pressão sobre o clima como é indicado em gráfico 6 abaixo (CETESB, 2008).

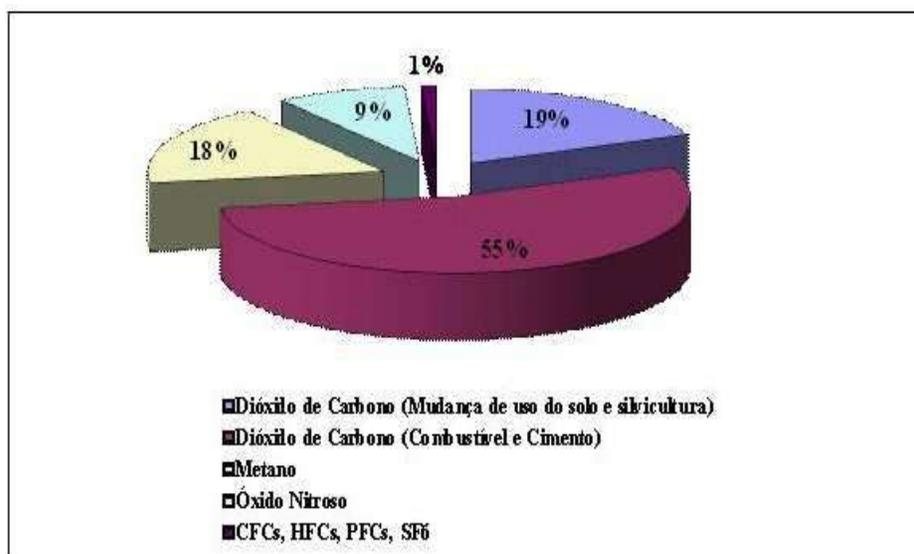


Gráfico 6 Disseminação de gás – Efeito Estufa.

Fonte: Embrapa, 2008.

Os Aterros Sanitários são a 3º maior fonte mundial de emissões antrópicas de Gases do Efeito Estufa respondendo por cerca de 13% desta como é indicado em gráfico 7 abaixo

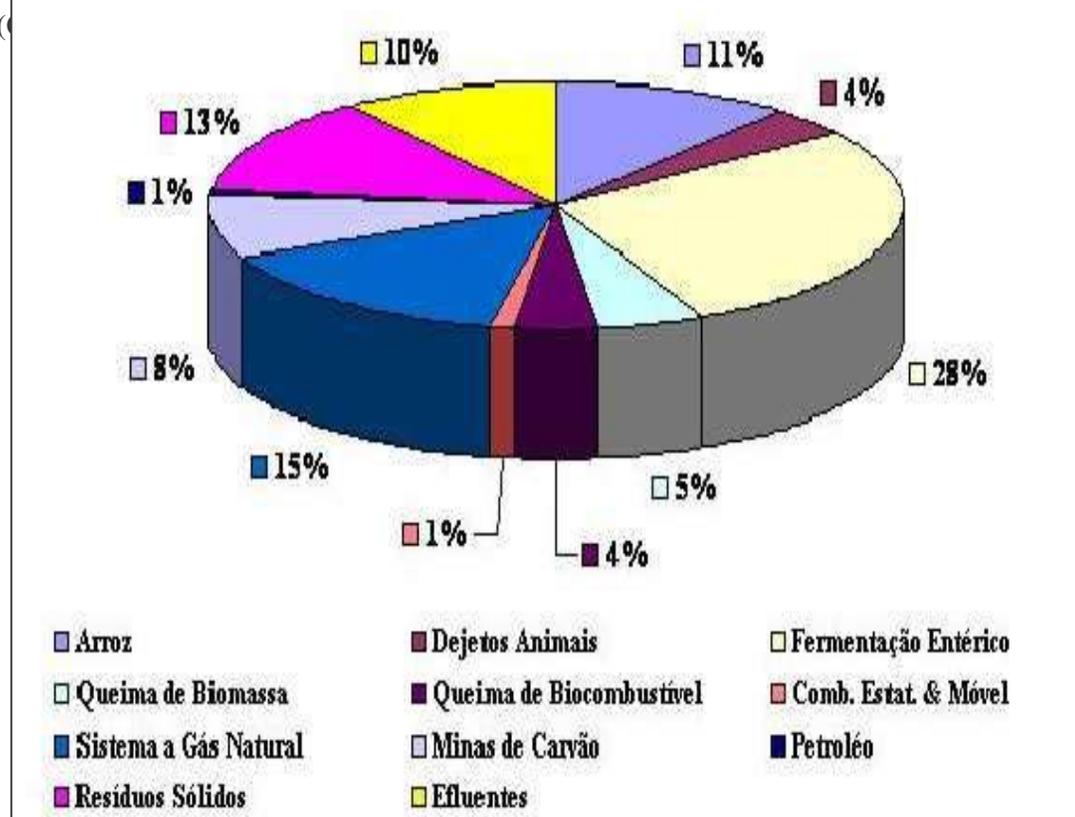


Gráfico 7 Emissões de Metano.

Fonte: CETESB, 2008.

Abaixo, segue um panorama mundial de emissões de gás metano de aterros sanitários

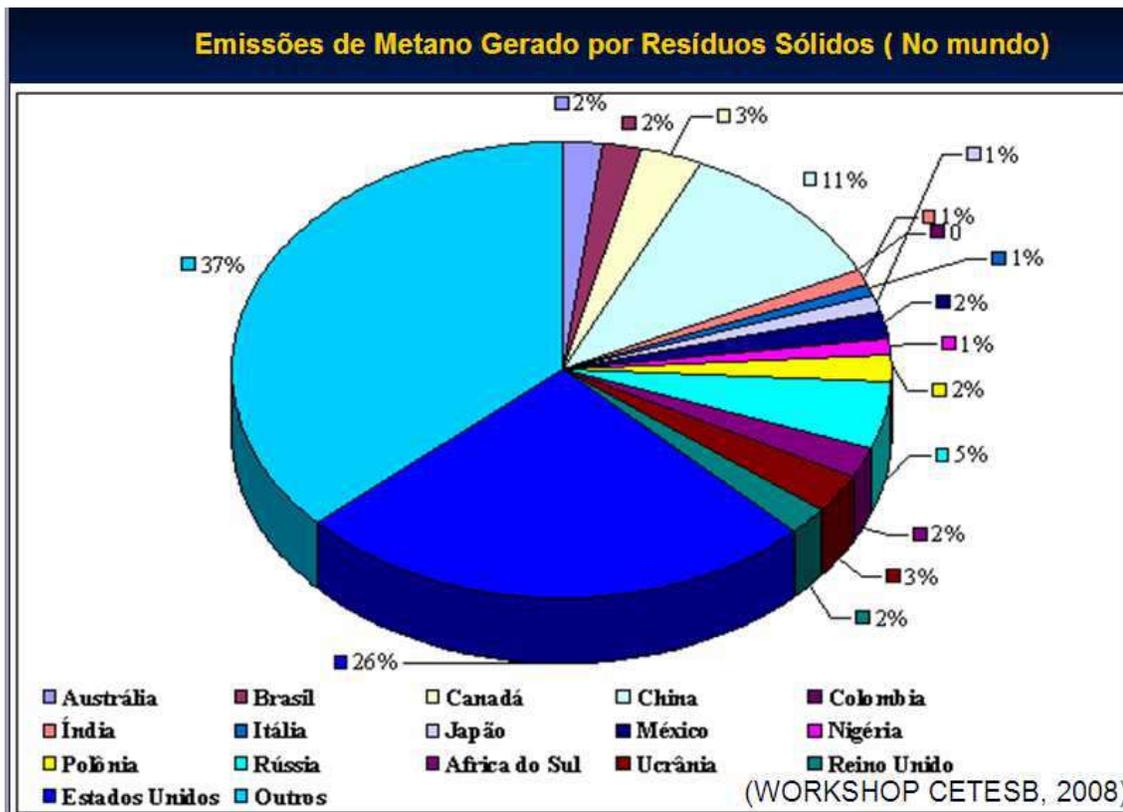


Gráfico 8 Panorama mundial de emissões de gás metano de Aterros Sanitários.

Fonte: CETESB, 2008.

O maior gerador de Metano de aterros sanitários é os Estados Unidos representando 26% de toda emissão, estando a China em 2º lugar representando 11% de toda Emissão e o Brasil representando 2 % de toda Emissão (CETESB, 2008). 37% correspondem a União Européia.

Nota:

Em Aterros Sanitários . A principal forma de reduzir as emissões de metano gerado pelos aterros envolve a coleta e queima ou utilização do gás. As tecnologias de utilização do gás proveniente dos aterros concentram-se na geração de eletricidade e uso direto do gás. Para a geração de eletricidade, é preciso canalizar o metano para os motores e turbinas. As tecnologias de uso direto utilizam o gás proveniente dos aterros diretamente como combustível;

Em virtude das propriedades exclusivas do metano, a redução das emissões globais poderiam ter um efeito positivo rápido e significativo sobre o aquecimento da atmosfera, além de gerar importantes benefícios econômicos e energéticos.

## 5 ANÁLISES PRELIMINARES DE PROJETO DE CAPTURA DE BIOGÁS

### 5.1 Introdução

Para uma avaliação preliminar de projeto de captura de biogás é verificada na maioria dos aterros sanitários, disposição não uniforme dos sólidos depositados, sendo necessário um diagnóstico de geração de gases na região que se pretende capturar biogás.

Sendo a disposição de resíduos orgânicos de forma heterogenia, a produção de biogás também resulta de forma heterogenia apresentando diferentes colorações de chama devida composição e idade dos resíduos depositados. Este diagnóstico só é possível quando um aterro sanitário apresenta um histórico de deposição e disposição dos resíduos recebidos.

### 5.2 Análise das colorações da chama de queima de Biogás

A combustão é a reação do gás metano contido no biogás com o oxigênio do ar e que neste caso, a partir dessa queima completa são produzidas duas substâncias: o gás carbônico e a água. Estes produtos finais possuem uma energia extremamente reativa e que ao perderem parte dessa energia, eles emitem uma luz, que é a cor da chama que vemos sair de drenos verticais de um aterro sanitário.

Quando a chama de alguns drenos verticais sai com cor azul, está ocorrendo uma combustão completa, ou seja, nesse caso, está havendo um balanceamento entre combustível e o oxigênio, o que significa que há combustível, gás metano, suficiente para reação de combustão em relação ao oxigênio que é o comburente.

Se a chama de alguns drenos verticais sai com cor amarela ou vermelha, não está ocorrendo uma combustão completa, ou seja, nesse caso, está havendo um desbalanceamento entre combustível e o oxigênio, o que significa que há combustível, gás metano, insuficiente para reação de combustão em relação ao oxigênio que é o comburente.

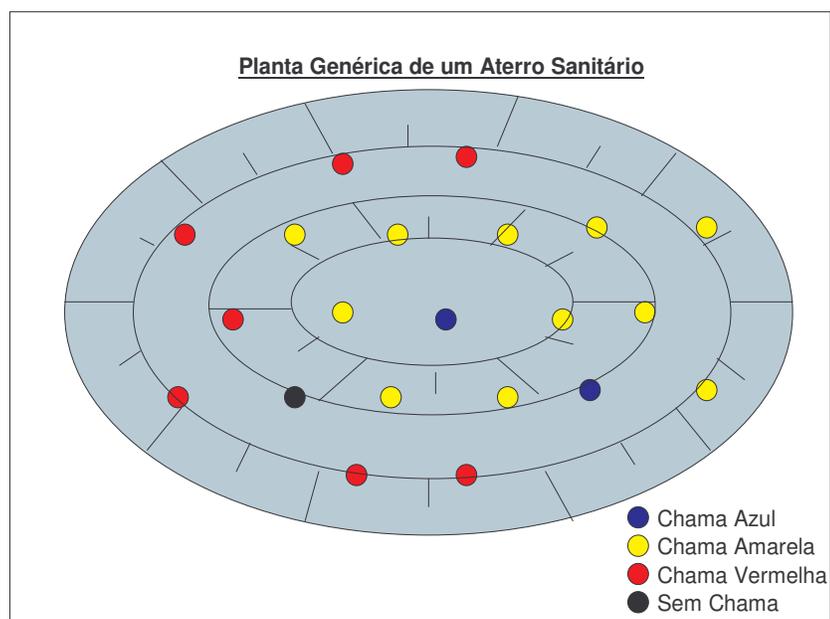
Estas análises de cores de chama de combustão do biogás é melhor observado durante um período noturno, pois a chama de cor azul é melhor observada e também se identificam melhor as cores amarelas e avermelhadas.

Também é importante que seja observado com grande importância drenos que estejam sempre apagados, sem fogo, e também sejam mapeados.

Observadas as cores de chamas dos drenos verticais, mapeiam-se durante um período estas cores de chama por diferentes condições climáticas relacionando dias secos, ter ocorrido

chuvas por uma semana, mapeia-se logo após dias que ocorreram uma seqüência de chuvas durante uma semana e também é aconselhado mapear as cores de chama durante um período de temperaturas mais amenas.

Após mapeadas as cores de chamas dos drenos verticais, pelo menos um mapeamento dos drenos das hipóteses mencionadas acima, executa-se uma planta do aterro sanitário indicando as cores que se repetem durante os períodos e as cores de mais baixa influência, ou seja, se em um mapeamento foi considerado cor azul e em um outro mapeamento foi considerado cor amarela, na planta final o dreno será indicado com cor amarela.



**Figura 50 Croqui de Cores de Chamas de Drenos Verticais**

Fonte: Rodrigo Cabral – Aterro Sanitário Lara, 2008.

Esta metodologia para analisar a qualidade do biogás pelas cores de chama da combustão, somente poderá ser adotada quando os drenos forem comuns entre si, ou seja, não poderão ser de diferentes modelos, concreto e Poli Etileno de Alta Densidade no mesmo aterro sanitário. Também não podem apresentar diferentes diâmetros entre si, pois muda a concepção de drenagem dos gases, podendo resultar em diferentes cores de chama pela diferença das concentrações do combustível.

### 5.3 Análise da Composição Química do Condensado de Biogás

Após executada a planta com as cores de chama, determina-se três drenos verticais de biogás onde apresentam diferentes cores entre si, por exemplo, uma chama azul, uma chama amarela e uma chama vermelha para instalação de um condensador expedito de Biogás.

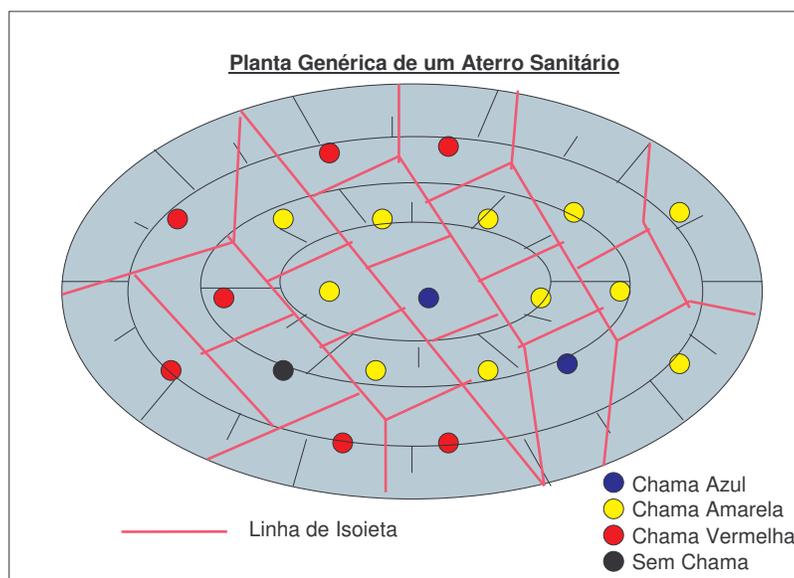
A metodologia de coleta do condensado de biogás será apresentada pelo responsável de um laboratório químico para uma análise completa deste líquido condensado pelo condensador expedito. O percolado do biogás não apresenta qualquer coloração, é transparente, mas o cheiro predominante é de alho com ovo podre e muito forte. Abaixo segue uma tabela de análise química do condensado.

### 5.4 Estudo da Geração de Biogás por Volume de Influência

Em um estudo preliminar mais aprofundado em um aterro sanitário é o volume de influência de resíduos sólidos que geram biogás para cada dreno individualmente, cruzando com as cores da chama com os estados das drenagens horizontais.

Para tal metodologia é seguida das seguintes fases:

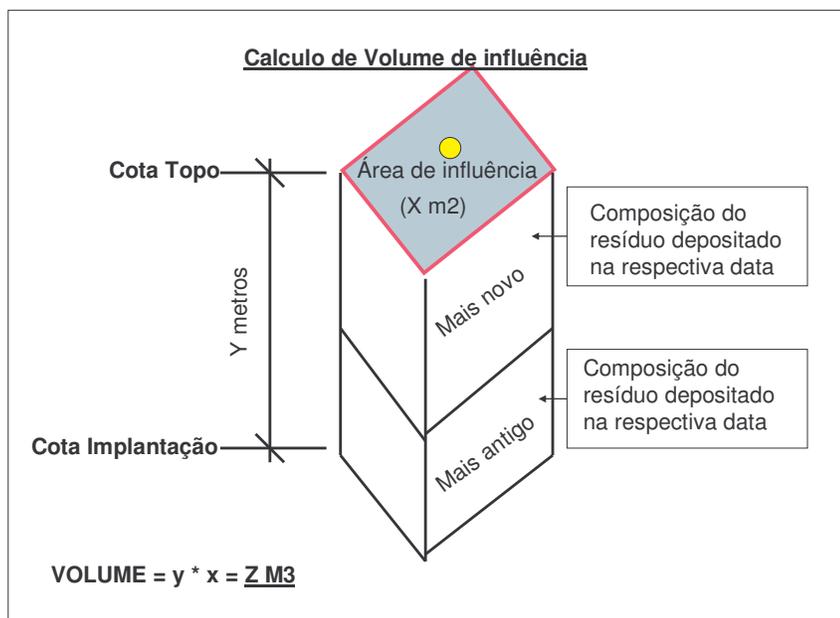
Fase I- Similarmente a forma de isoietas, divide-se as áreas de influência de cada dreno vertical na planta de um aterro sanitário como segue a ilustração abaixo:



**Figura 61 Croqui de Áreas de influência de drenos Verticais.**

Fonte: Rodrigo Cabral – Aterro Sanitário LARA, 2008.

Fase II- Após definidas as áreas de influência de cada dreno vertical, multiplica-se esta área encontrada pela altura com a cota de implantação de um dreno vertical até a cota do topo do dreno vertical conforme ilustração abaixo:



**Figura 22 Croqui de Volume de influência de drenos Verticais.**

Fonte: Rodrigo Cabral – Aterro Sanitário LARA, 2008.

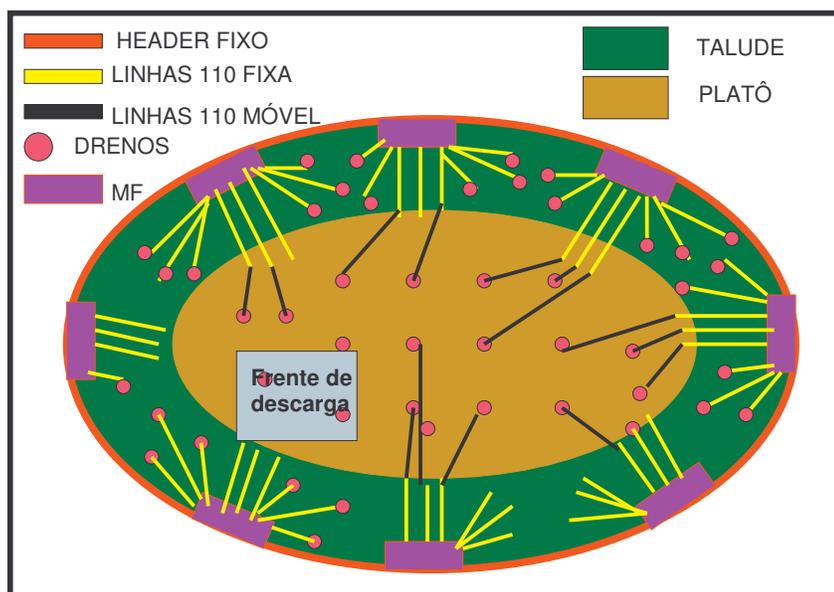
Fase III- Assim calculado o volume de influência e identificado através de levantamentos dos resíduos depositados, segue a projeção de geração de Biogás unitariamente por dreno vertical. Contudo se os drenos apresentarem uma correlação entre a matéria orgânica depositada com sua cor de chama, as drenagens estão em bom estado, podendo-se executar a sucção do biogás nos próprios drenos verticais, sem a implantação de drenos adjacentes.

Fonte: Aterro Sanitário LARA - 2008

## 6 IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA DE CAPTURA E CONDUÇÃO DO BIOGÁS

### 6.1 Distribuição das Malhas de Tubulações condutoras de Biogás

Primeiramente determina-se onde a central de extração de biogás, onde o local mais indicado é a região mais baixa do aterro sanitário devido ao condensado gerado pelo biogás percorrer em mesmo sentido de fluxo do biogás conduzido.



**Figura 23** Croqui de Planejamento de Linhas de Biogás em aterro sanitário.

Fonte: Rodrigo Cabral – Aterro Sanitário LARA, 2008.

Sendo estabelecido o local da planta de extração de biogás, estuda-se o encaminhamento de tubulações principais na tentativa de implantá-la em regiões do aterro sanitário onde não haverão mais disposições de resíduos. Geralmente esta região é encontrada em taludes de periferias do aterro sanitário.

Projetado o encaminhamento das tubulações principais, deve ser avaliada a implantação de estações de regulagens ou Manifold's. A forma mais conveniente de implantações destas estações seria no ponto mais baixo da região que seria capturada biogás por elas, pois assim como as tubulações principais o condensado de Biogás será conduzido no mesmo sentido de fluxo, evitando maiores probabilidades de obstrução de passagem de gás

pela formação de sifão gerado pelo percolado nas tubulações secundárias.



**Figura 24** Vista de implantação de linhas de Biogás no Aterro Sanitário Terrestre

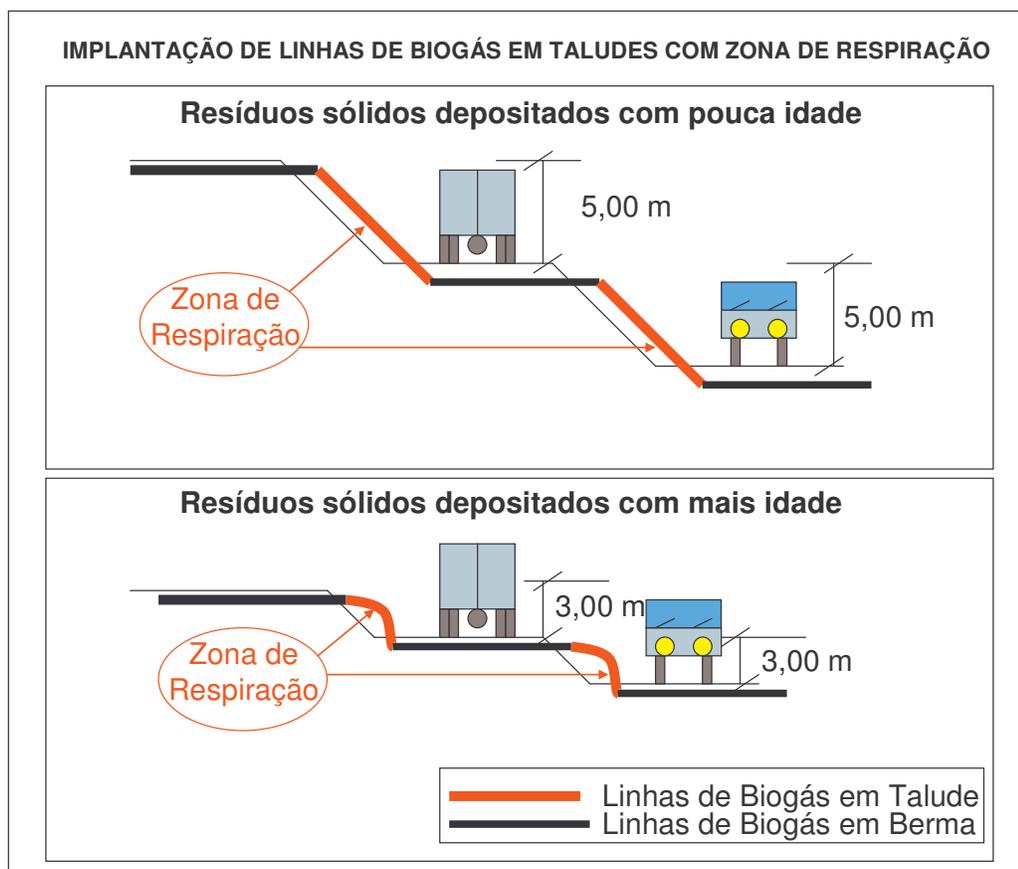
Fonte: PAZIN, 2007.

As vantagens de se implantar a estação reguladora ou Manifold em locais mais baixos e que não receberá deposição de resíduos são:

- A não desativação da estação durante a vida útil do sistema.
- Captura contínua de biogás nas regiões de taludes.

## 6.2 Implantação de Linhas de Biogás em Talude

Conforme verificado nos aterros sanitários, os resíduos sólidos depositados apresentam grandes valores de recalque após a sua deposição. A velocidade de recalque é muitíssimo acelerada nas primeiras idades e mais lentas quando o resíduo depositado apresenta idades mais elevadas.



**Figura 25** Croqui de implantação de linhas em talude.

Fonte: Rodrigo Cabral – Aterro Sanitário LARA, 2008.

Contudo, para implantação de linhas de biogás em taludes, sem que haja grandes manutenções preventivas ou corretivas nestas regiões é a zona de respiração que é criada quando se implantam as tubulações, tanto principais como secundárias sem que estejam enterradas (Vide figura 26).



**Figura 26** Vista de linhas em talude com zona de respiração.

Fonte: LARA, 2008.

Conforme ilustrado acima, como já citado onde um dos materiais mais adequados para a tubulação é o Poli Etileno de Alta Densidade. Conforme Danieletto (2007) nos ensaio de compressão diametral, com aumento da compressão, o tubo deforma mais e mais, de modo que as paredes internas do tubo, chegam a curvar para dentro, unindo-se (como exemplo um tudo amassado) e, pela sua elasticidade, não ocorre trincas no tubo, acompanhando os recalques de um aterro sanitário continuando com a sua função de conduzir biogás.

### 6.3 Implantação de Linhas de Biogás em Platô

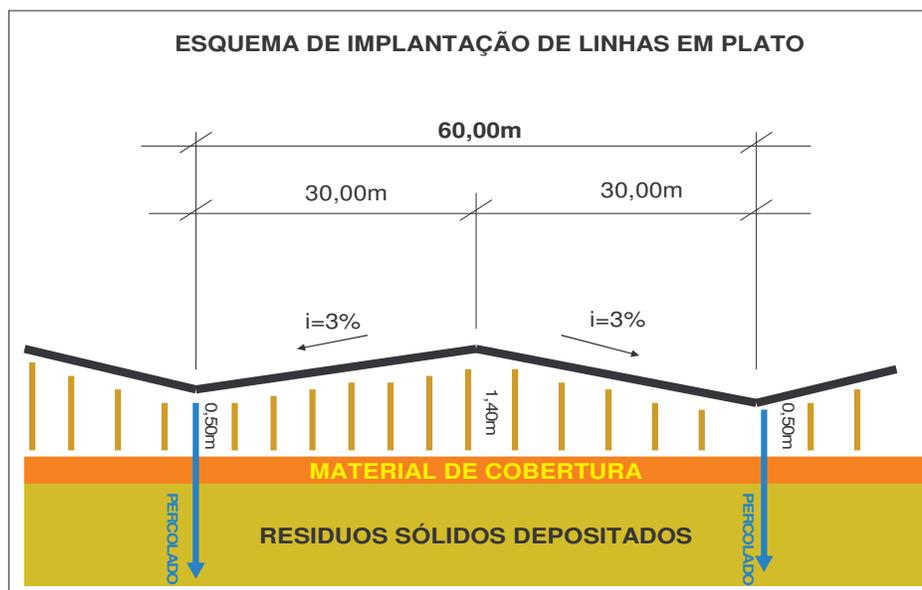
Platôs de aterros sanitários geralmente são regiões muitíssimo planas, obtendo uma declividade média de 1%. Este tipo de aterro após receberem os resíduos e cobertas com camada de terra, são implantadas as tubulações e, caracterizam como provisórias pois são regiões que irão receber mais camadas de resíduos onde será desfeita a tubulação e posterior canalização da tubulação em platô novamente.



**Figura 27** Vista de linhas implantadas em platô.

Fonte: LARA, 2008.

Uma boa regra é a implantação de piquetes com no máximo 1,40 metros de altura do solo resultando em pontos baixos a cada 60,00 metros com altura de 0,50m do solo.



**Gráfico 9** Esquema de implantação de linhas em platô.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2008.

Nestas regiões para respeitar-se uma declividade de 3%, mencionado pela Landtec, é necessária a instalação de piquetes e pontos de drenagem de percolado ao longo da linha.

#### 6.4 Execução de Cabeçotes nos drenos do Biogás.

Cabeçote é um instrumento que encaminha o biogás de drenos verticais de um aterro sanitário à tubulações condutoras de um sistema de redes de tubulações.

##### 6.4.1 Encerramento de fogo de Drenos Verticais.

Muitos aterros sanitários queimam o biogás em drenos verticais de forma incipiente. Para estes poços de queimas já existentes e futura implantação de um sistema novo de captura de biogás é necessário que haja a eliminação do fogo nestes drenos.



**Figura 28** Vista de dreno vertical com fogo.

Fonte: CENTRO DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS, 2007.

Para eliminação de fogo de drenos verticais pode ser executada por injeção de água ou por abafamento do dreno vertical.



**Figura 29** Vista de Encerramento de fogo em Dreno Vertical por água. Fonte: DELBIN, 2004.

O encerramento de fogo por abafamento, permite que não haja choque térmico na tubulação do dreno vertical que pode ocasionar rupturas e desmoronamento da drenagem e não aumenta a vazão de líquidos efluentes do aterro sanitário junto às águas lixiviantes (Chorume).



**Figura 30 Vista de Encerramento de fogo em Dreno Vertical por abafamento.**

Fonte: CENTRO DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS, 2007.

Após o encerramento de fogo é indicado que seja instalada uma tocha provisória, cujo biogás emitido pelo dreno vertical, continua a ser queimado, fazendo com que a maior parcela de gás metano ( $\text{CH}_4$ ) presente no biogás não passe a ser emitido diretamente a atmosfera.



**Figura 31 Vista de tocha provisória implantada.**

Fonte: CENTRO DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS, 2007.

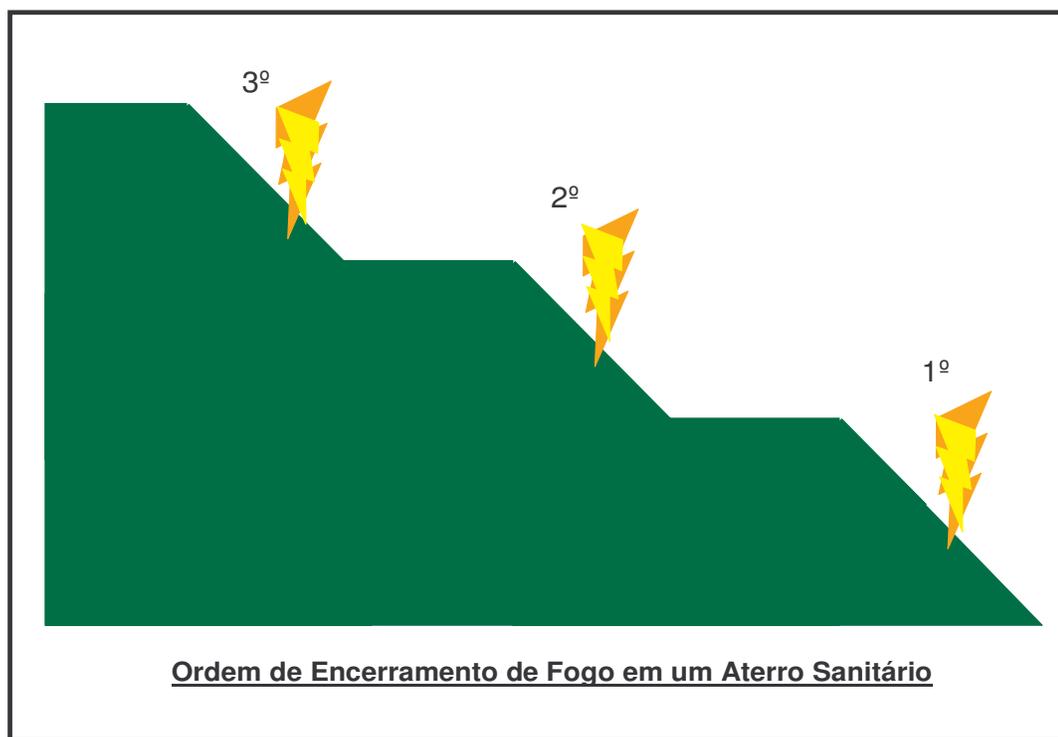
Sendo assim com a queima do o biogás em tocha provisória, ocasiona o resfriamento das paredes do tudo de drenagem vertical e das pedras rachão, estando este dreno pronto para devidas intervenções para instalação de cabeçotes para condução de biogás.

#### 6.4.1.1 Ordem de Encerramento de Fogo

Para o encerramento de fogo de drens verticais em um aterro sanitário, sendo observada que a densidade do biogás, em concentrações médias, é inferior que a densidade do gás atmosférico, a tendência do biogás nas drenagens do maciço do aterro sanitário é a migração para camadas superiores.

Esta forma de encerramento de fogo como ilustrado na figura 32, é aconselhado para que a chama não retorne a drens verticais já apagados, indica-se então que os drens sejam apagados das camadas inferiores para as camadas superiores.

Fonte: Aterro Sanitário Lara, 2008

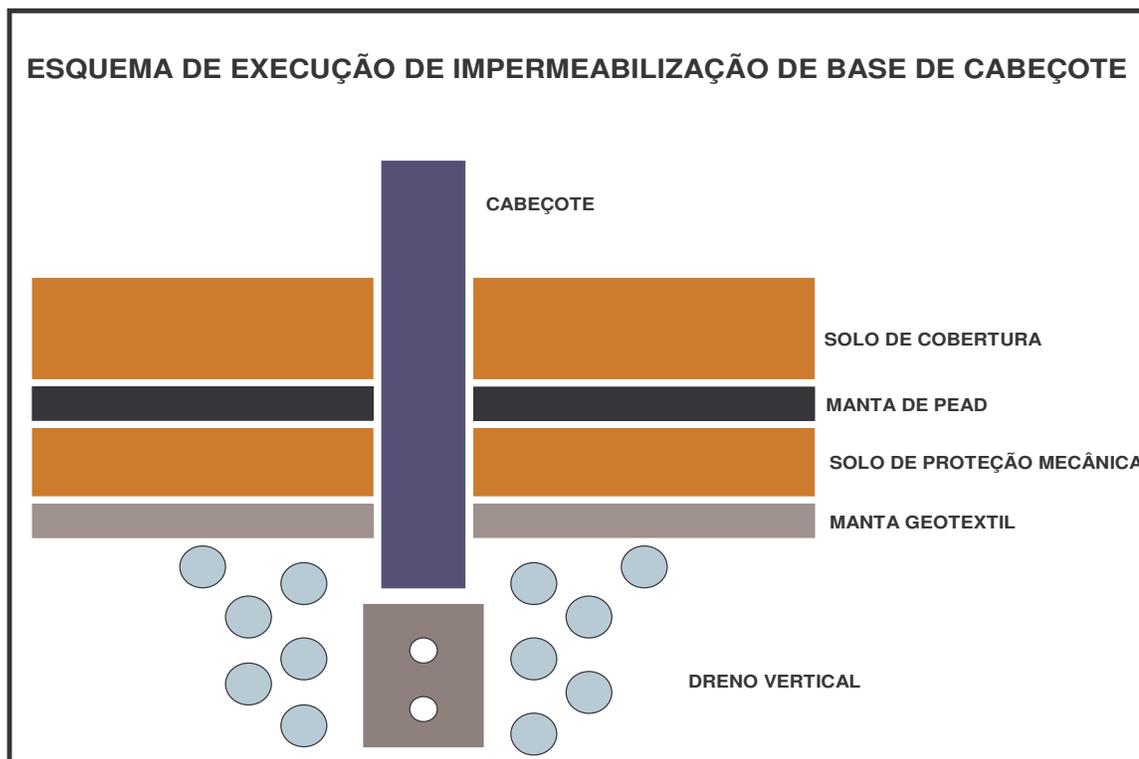


**Figura 32** Esquema de ordem de encerramento de fogo.

Fonte: Rodrigo Cabral – Aterro Sanitário Lara , 2007.

#### 6.4.2 Impermeabilização de Base

Para instalação de cabeçotes é necessária a impermeabilização de base para não haver infiltração de oxigênio nem de águas pluviais que obstruem a passagem de biogás nos drenos verticais.



**Figura 33** Camadas necessárias à impermeabilização de Base de cabeçote.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2007.

Para execução da escavação de drenos verticais é aconselhado que a escavação seja realizada no entorno da drenagem vertical para evitar que particulados sejam carreados para a tubulação da drenagem e ocorra a obstrução de passagem de biogás conforme ilustração acima.

A profundidade de escavação do dreno vertical é no mínimo, duas vezes a camada de cobertura final e o comprimento da escavação é no mínimo quatro vezes o diâmetro da drenagem vertical. Este procedimento serve para se obter melhores proteções da camada impermeabilizante e também, para dificultar a penetração de oxigênio durante a extração de biogás.



**Figura 34** Vista de escavação de dreno vertical.

Fonte: CENTRO DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS, 2007.

Após a escavação no entorno dos drenos, tanto em taludes como em platôs, é instalada a manta geotextil para o material terroso de proteção mecânica da manta de PEAD não penetre nas pedras, geralmente Rachão, que compõe a drenagem vertical.



**Figura 35** Vista de instalação de Manta Geotextil.

Fonte: CENTRO DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS, 2007.

A camada de solo adjacente à manta geotêxtil tem uma importante função de proteção mecânica para a manta de PEAD que será instalada acima desta camada com espessura entre 25 cm, protegendo dos materiais pontiagudos, como pedaços de garrafas de vidro, pregos que podem estar contidos no maciço do aterro. A manta de PEAD é a camada de impermeabilização de oxigênio e de águas pluviais que deve estar protegida. Esta proteção mecânica com solo deve ser executada tanto em drenagens inseridas em taludes como em platôs.



**Figura 36** Vista de execução de camada protetora.

Fonte: LARA, 2008.

A manta de PEAD é instalada tanto em poços instalados em taludes como em platôs.

Em taludes, o comprimento do quadrado da manta, representa de forma geral, o maior comprimento da escavação do dreno vertical em sua base.



**Figura 37** Vista de instalação de Manta PEAD em talude.

Fonte: CENTRO DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS, 2007.

Em Platôs, como referido a manta de PEAD é instalada em todo contorno da área escavada conforme a figura 70 abaixo.



**Figura 38** Vista de instalação de Manta PEAD em platô no Aterro Terrestre.

Fonte: PAZIN, 2007.

Nos aterros sanitários apresentam recalques diferenciais, tanto verticais como horizontais, o cabeçote necessita de uma selagem entre a manta de impermeabilização e seu corpo, para que não seja criado um vazio após o recalque, evitando migração de oxigênio e águas pluviais.

A figura (39) ilustra a inserção de Bentonita, que é um material impermeabilizante, servindo como um selo entre o corpo do cabeçote e a manta de impermeabilização.



**Figura 39** Vista de execução de selo com bentonita.

Fonte: LARA, 2008.



**Figura 40** Vista de anel selante em PEAD.

Fonte: CENTRO DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS, 2007.

Para execução desta selagem entre a manta de impermeabilização, há a possibilidade de inserção de um anel no próprio corpo do cabeçote podendo-se agregar, ou mesmo substituir a utilização da bentonita para constituição do selo.

#### 6.4.3 Cabeçotes de drenagem vertical.

Após a execução de impermeabilização de base de cabeçotes, existem alguns modelos de cabeçotes que apresentam a mesma função de encaminhar o biogás de drenos verticais de um aterro sanitário à tubulações condutoras de um sistema de redes de tubulações.

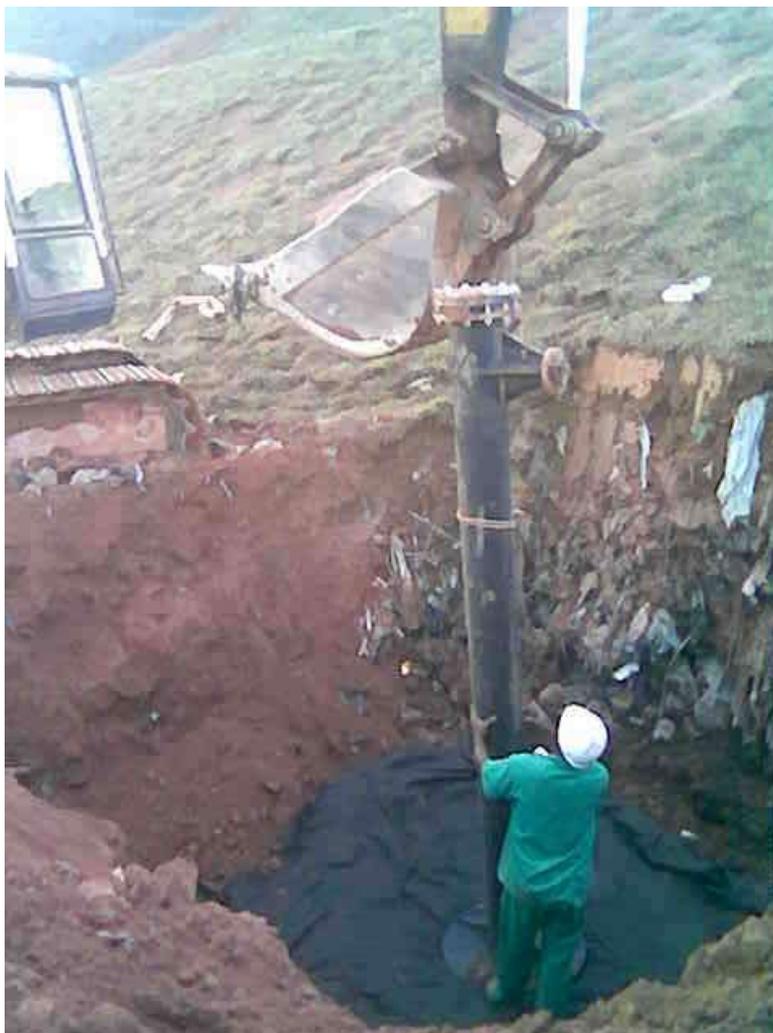
No aterro sanitário Terrestre as grandes maiorias dos drenos verticais, na época da implantação do sistema, estavam em regiões que em pouco tempo seriam depositados resíduos sólidos. O modelo de cabeçote instalado consiste em uma chapa circular que dispensava escavações para execução de impermeabilização de base de cabeçote.



**Figura 41** Vista de instalação de cabeçote no Aterro Sanitário Terrestre.

Fonte: PAZIN, 2007.

Já no Aterro Sanitário CDR-Pedreira, foram instalados cabeçotes que se acoplou às drenagens verticais de concreto (figura 42) , que na maioria da primeira fase de projeto, estes drenos se encontravam em regiões em taludes onde não receberiam mais resíduos sólidos.



**Figura 42** Vista de instalação de cabeçote no Aterro Sanitário CDR-Pedreira.

Fonte: CENTRO DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS, 2007.

Estes cabeçotes (figura 43) contem válvula de verificação de nível de líquidos e tampa removível para possível evacuação de líquidos. Também, esta mesma válvula é a tomada de análises da qualidade do biogás que está sendo capturado onde a regulação da captura é efetuada em nas estações de regulação e em válvulas dispostas nas tubulações entre os drenos verticais e a estação de regulação. Na tubulação acoplada ao dreno existe uma válvula borboleta para regulação da extração e uma válvula esférica que permite a verificação da vazão do biogás extraído, assim como também a qualidade do biogás encaminhado.



**Figura 43** Vista de cabeçote instalado no Aterro Sanitário CDR-Pedreira.

Fonte: CENTRO DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS, 2007.

A empresa Arquipélago Engenharia Ambiental, no Aterro Sanitário LARA, desenvolveu um cabeçote que atende tanto os poços em locais definitivos quanto os locais provisórios. Segundo o Manual de Partida e Operação da Planta Biogás, desenvolvido pela empresa Arquipélago Engenharia Ambiental, a regulagem de captura de Biogás é seguida conforme observado junto aos procedimentos de regulagem descritos no manual pela equipe de operadores. Estes cabeçotes contêm tomadas de análises da qualidade do biogás (figura 44) que está sendo capturado por dreno com sua posterior regulagem de pressão e vazão em seções instaladas nos tubos de 110 mm próximas aos Manifold's que são os pontos de regularização. Também é possível verificação do nível de líquido dentro do dreno com sua possível evacuação.



**Figura 447 Vista de cabeçote instalado no Aterro Sanitário LARA.**

Fonte: LARA, 2008.

Em muitos aterros sanitários no mundo é utilizado o cabeçote da Landtec.



**Figura 45 Vista de cabeçote em teste no Aterro Sanitário LARA.**

Fonte: LARA, 2008.

Com este cabeçote é possível executar todos os controles de captura de biogás de uma drenagem tais como: medições e regulagem de vazão, regulagem da sucção do dreno, além da verificação da qualidade do biogás conduzido. Neste cabeçote já estão inseridas as tomadas de análises e válvula de regulagem de captura de Biogás.

## 7 UTILIZAÇÕES DO BIOGÁS GERADO EM ATERROS SANITÁRIOS

### 7.1 Créditos de Carbono

A preocupação com o meio ambiente levou alguns países a assinarem um acordo que estipulasse controle sobre as intervenções humanas quanto as mudanças climáticas. Este acordo realizado em dezembro de 1997 denomina-se Protocolo de Quioto. Desta forma, o Protocolo de Quioto determina que países desenvolvidos signatários reduzam suas emissões de gases de efeito estufa (GEE) em 5,2%, em média, relativas ao ano de 1990, entre 2008 e 2012. Esse período é também conhecido como primeiro período de compromisso. Para não comprometer as economias desses países, o protocolo estabeleceu que parte desta redução de GEE pode ser feita através de negociação com nações através dos mecanismos de flexibilização.

Um dos mecanismos de flexibilização é o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). O crédito de carbono do MDL é denominado Redução Certificada de Emissão (RCE) - ou em inglês, *Certified Emission Reductions* (CERs). Cada RCE corresponde a uma tonelada de Dióxido de carbono equivalente ( $\text{CO}_2$ ). O  $\text{CO}_2$  equivalente é o resultado da multiplicação das toneladas emitidas do GEE pelo seu potencial de aquecimento global. O potencial de aquecimento global do  $\text{CO}_2$  foi estipulado como 1 e o metano 21.

#### Cotações Créditos de Carbono - 15/03/2010

CER SPOT=13,53 | CER 2010=13,43 | CER 2011=13,03 | CER 2012=12,74

Fonte: Bovespa, 2010

Por exemplo, o potencial de aquecimento global do gás metano é 21 vezes maior do que o potencial do  $\text{CO}_2$ , portanto o  $\text{CO}_2$  equivalente do metano é igual a 21. Portanto, uma tonelada de metano reduzida corresponde a 21 créditos de carbono. Outros gases que também podem ser citados são:

- $\text{N}_2\text{O}$  - Óxido nitroso = 310
- HFCs – Hidrofluorcarbonetos = 140 ~ 11700
- PFCs – Perfluorcarbonetos = 6500 ~ 9200
- $\text{SF}_6$  - Hexafluoreto de enxofre = 23900

Esses créditos de carbono são certificados emitidos quando ocorre a redução de emissão de gases do efeito estufa (GEE) e negociado no mercado internacional, dando um valor monetário à poluição.

O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) nasceu de uma proposta brasileira à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC).

Trata-se do comércio de créditos de carbono baseado em projetos de sequestro ou mitigação.

O MDL é um instrumento de flexibilização que permite a participação no mercado dos países em desenvolvimento, ou nações sem compromissos de redução, como o Brasil.

Os países que não conseguirem atingir suas metas terão liberdade para investir em projetos MDL de países em desenvolvimento. Através dele, países desenvolvidos comprariam créditos de carbono, em tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente, de países em desenvolvimento responsáveis por tais projetos

Fonte: Instituto Carbono Brasil, 2010



**Figura 46 Vista da Usina de Combustão (Flare) de Biogás no Aterro Sanitário Lara.**

Fonte: LARA, 2008.

Como o Protocolo de Quioto determina uma cota máxima que países desenvolvidos podem emitir, alguns países por sua vez criam leis que restringem as emissões de GEE. Desta forma, aqueles países ou empresas que não conseguem atingir as metas de reduções de emissões, tornam-se compradores de créditos de carbono. Por outro lado, aquelas empresas que conseguiram diminuir suas emissões abaixo das cotas determinadas, podem vender o excedente de "redução de emissão" ou "permissão de emissão" no mercado nacional ou internacional.

Cabe ressaltar que esses créditos só poderão ser comercializados a partir do momento que as empresas elaboram um documento de Concepção do Projeto (DCP) ou em inglês Project Design Document (PDD) que é enviado para avaliação ao órgão brasileiro, no caso Ministério da Ciência e Tecnologia e depois ao órgão da ONU responsável denominado *United Nations framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) que contemple a melhoria ambiental em função da redução de emissões de GEE que a empresa deixará de emitir para a atmosfera.

Os créditos gerados podem ser comercializados com empresas privadas, ou através de bolsas de valores como a de São Paulo, Chicago e Europa. Assim como, os valores também podem variar de acordo com a situação do mercado financeiro. A figura 79 elucida o texto acima.

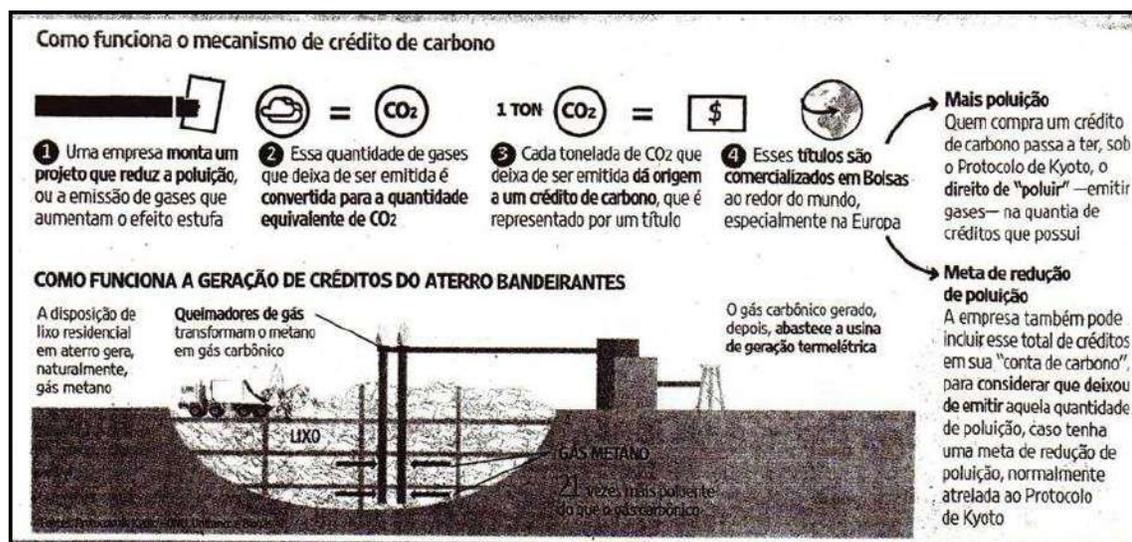


Figura 47 Como funciona o mecanismo de crédito de carbono

Fonte: Jornal Folha de São Paulo, caderno dinheiro, 27 de setembro de 2007.

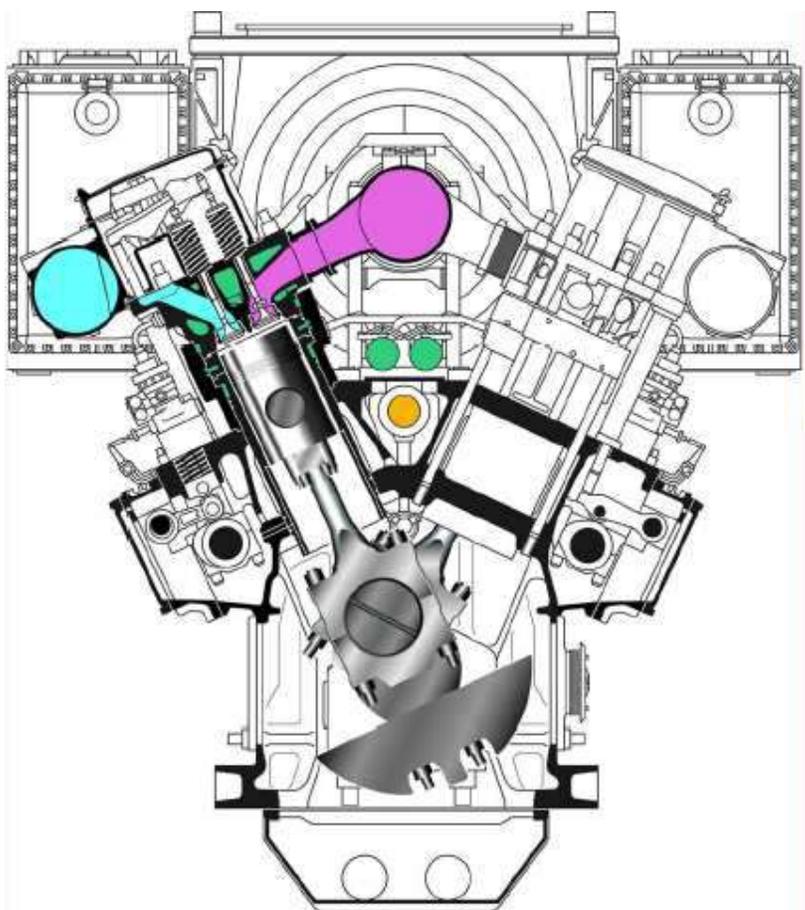
## 7.2 Geração de energia elétrica

As alternativas mais usuais para geração de energia elétrica a partir de biogás são através de motores a combustão interna e turbinas a gás.

O Motor Alternativo de Combustão Interna (figura 48) , apresenta capacidade de Geração de Energia Elétrica entre 100Kw a 3 MW por motor. Abaixo segue uma ilustração conceitual de motor a gás (COELHO, 2007).

Atualmente os motores nacionais variam de 4Kw a 264Kw. Acima deste valores onde valores até 1.54Mw, os motores são importados não sendo produzidos no Brasil.

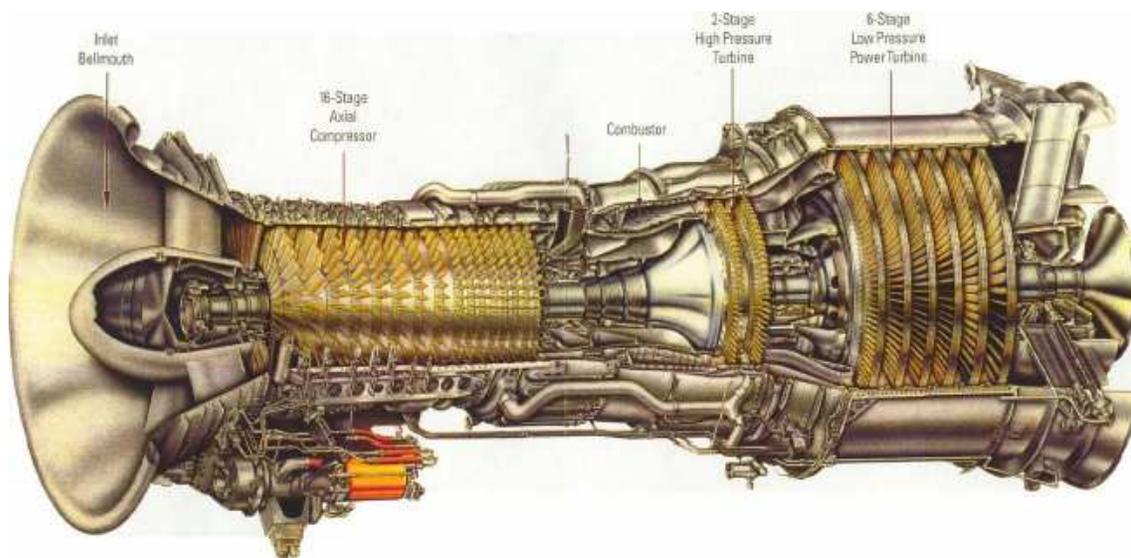
Fonte: Professora Vanessa Pecora – IEE USP, 2010



**Figura 48 Motor a Gás**

Fonte: OLIVEIRA JÚNIOR, 2007.

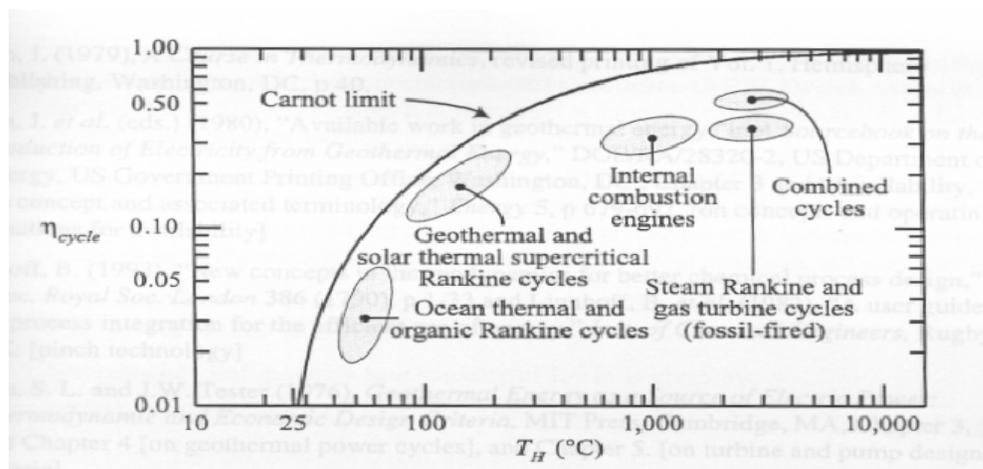
A Turbinas a Gás, apresenta capacidade de geração de energia elétrica entre 30Kw a 10,5MW por turbina. Abaixo segue uma ilustração conceitual de turbina a gás (COELHO, 2007).



**Figura 49 Turbina a Gás.**

Fonte: OLIVEIRA JÚNIOR, 2007.

A figura 50 apresenta um comparativo de rendimento entre sistemas de motores a combustão interna (Internal Combustion Engines) e turbinas a gás (Gas Turbine) pelo ciclo de Carnot.



**Figura 50 Ciclo Carnot.**

Fonte: OLIVEIRA JÚNIOR, 2007.

É observado que pelos motores de combustão interna resulta em uma eficiência de energia elétrica aproximadamente superior comparada a alternativa de turbinas a gás. No caso de Aterros Sanitários, o biogás quando enviado ao sistema gerador de energia elétrica, se adotada a alternativa de motores a combustão interna, resultará em uma eficiência de energia elétrica estimada entre 30 e 34% (COELHO, 2007).



**Figura 51 Grupo Geradores, Motor a Biogás ciclo Otto de Alta Potência.**

Fonte: CENBIO, 2006.

Se adotada a alternativa de turbinas a gás, resultará em uma eficiência estimada entre 20 e 30% da energia do gás bioquímico gerado por resíduos sólidos (COELHO, 2007).



**Figura 52 Turbina a Biogás**

Fonte: COELHO, 2007.

### 7.3 Exemplos de uso direto do biogás.

Além da Geração de Energia elétrica, o biogás pode ser utilizado para geração térmica, aplicação em caldeiras que substitui gás natural, carvão ou óleo combustível, como a empresa;

Aquecimento de Estufas, como é realizado na cidade de Nova York onde o biogás é fonte de Energia Elétrica e aquecimento para estufa;

Uso Térmico Direto (secadores, Fornos), como para produção de Artesanato (Ferraria, cerâmica e Vidro);

Abastecer Frota de caminhões, tratores e veículos com motores adaptados para o uso do biogás

Transformação em Gás Natural Comprimido (GNC) para alimentar equipamentos, como é realizado no Aterro de Puentes Hills na cidade de Los Angeles, na Califórnia

Produção de Metanol como matéria prima para produção de Biodiesel, como será realizado no Condado de Franklin, em Ohio (CETESB, WORKSHOP, 2008).

Fonte: Professora Vanessa Pecora – IEE USP, 2010

## 8 BENEFÍCIOS AMBIENTAIS E ENERGÉTICOS

### 8.1 Benefícios ambientais

As emissões de Biogás gerado pela decomposição de resíduos sólidos em aterros sanitários contribui para formação do efeito estufa, assim como os gases emitidos pela utilização de combustível fóssil os quais contribuem fortemente para o efeito estufa. O gráfico abaixo apresenta um comparativo entre as emissões já convertidas em CO<sub>2</sub> equivalente que é o resultado da multiplicação das toneladas emitidas do Gases de Efeito Estufa pelo seu potencial de aquecimento global.

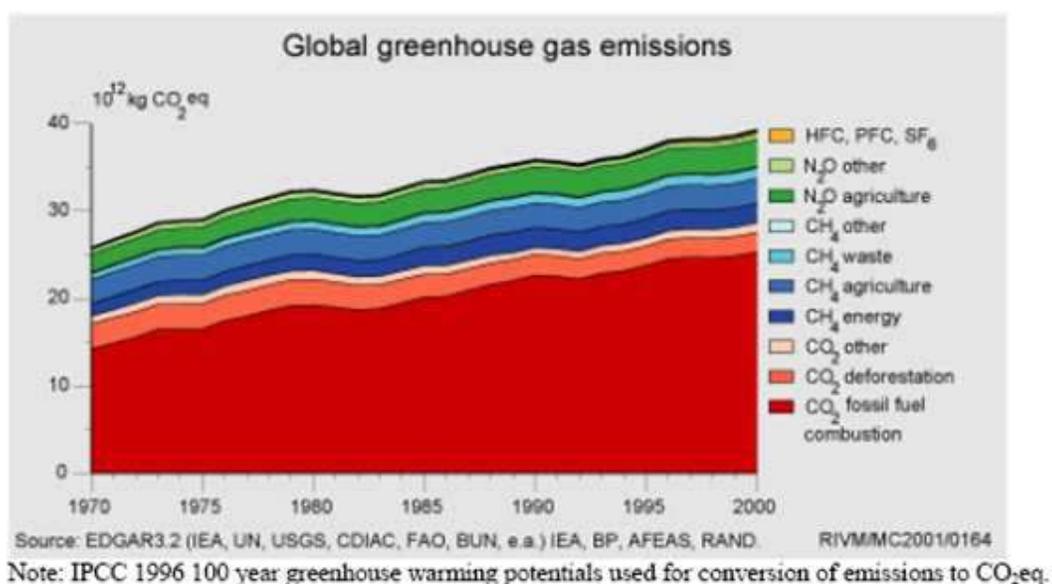


Gráfico 10 Emissão global dos gases do Efeito Estufa.

Fonte: IPCC, 2000.

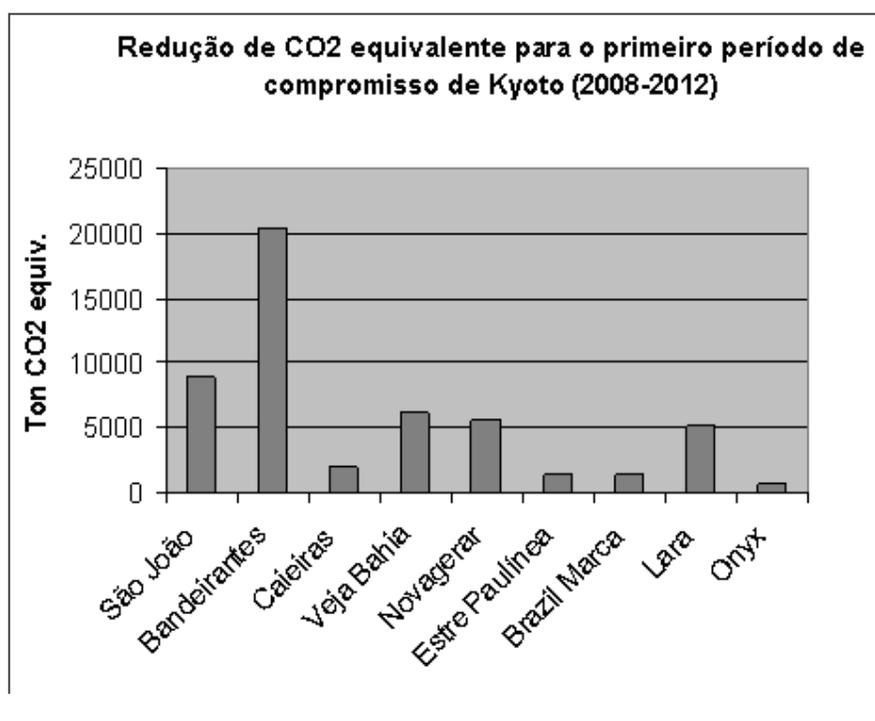
A finalidade de se construir um sistema de extração, condução do biogás gerado pela decomposição de resíduos sólidos, além da destrição pela queima de Gases de Efeito Estufa contido em sua composição, seria a busca da substituição de parte de combustível fóssil pelo biogás. Devido a decomposição da matéria orgânica e posterior transformação em gás metano (biogás) quando utilizado como combustível, não somaria suas emissões com as emissões geradas pela utilização de combustíveis fósseis ou seja, na queima do gás metano ao invés de simplesmente ser lançado in natura na atmosfera, há um ganho expressivo evitando o aquecimento global gerado pelos gases de efeito estufa

Numericamente, analisando o gráfico no ano 2000, mundialmente, cerca de  $40 \times 10^{12}$  Kg CO<sub>2</sub> eq foram emitidos, onde aproximadamente  $1,3 \times 10^{12}$  Kg CO<sub>2</sub> eq foram emitidos

devido a decomposição de resíduos sólidos e aproximadamente  $25 \times 10^{12}$  Kg CO<sub>2</sub> eq foram emitidos devida a utilização de combustíveis fósseis. Analogicamente, as emissões geradas pelos resíduos sólidos representam cerca de 5% das emissões geradas pelos combustíveis fósseis e 3,2% das emissões totais, como já mencionado.

Supondo que todo resíduo sólido do mundo fosse encaminhado a aterros sanitários e executando sistemas de captura, condução e utilização do gás metano presente no biogás, haveria uma redução de emissões de aproximadamente  $1,3 \times 10^{12}$  Kg CO<sub>2</sub> eq, reduzindo cerca de 3% das emissões globais de Gases de Efeito Estufa.

No Brasil, alguns aterros sanitários já contam com projetos de redução de GEE conforme planilha abaixo:



**Gráfico 11 Redução de CO2 eq para o primeiro período de compromisso (2008-2012)**

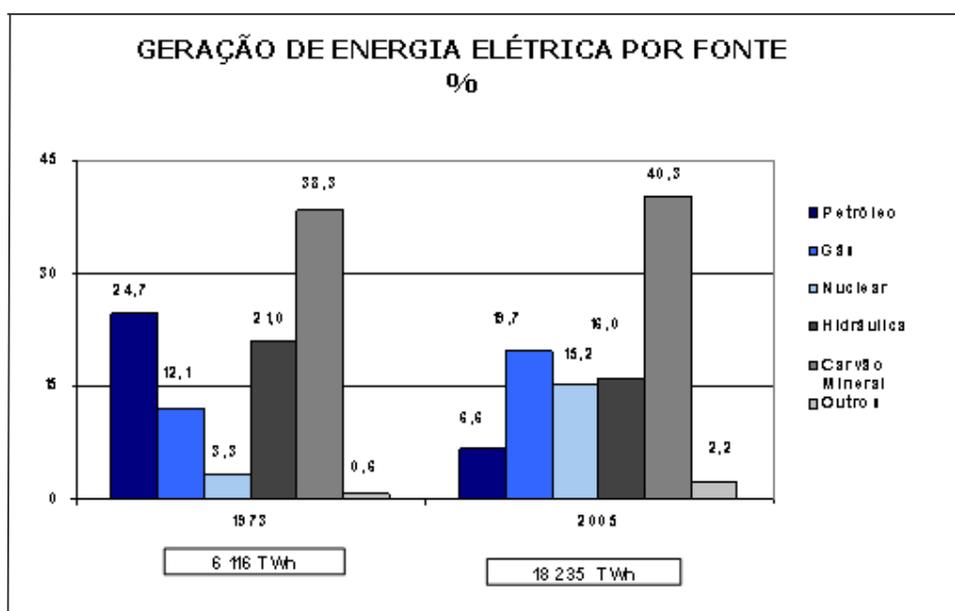
Fonte: Valor Econômico, 8 de novembro de 2006, p. A16.

Contudo é observado que o Brasil já vem buscando reduzir as emissões nos aterros sanitários descritos até 2012 totalizando 51.910,24 Ton CO<sub>2</sub> equivalente com os projetos apresentados no gráfico. (VALOR ECONOMICO, 2006).

## 8.2 Benefícios energéticos

Conforme gráfico 12 abaixo, 19,7% da matriz elétrica mundial, 3.592 TWh em 2005 era devido ao gás natural, cujo poder calorífico de 11 KWh/m<sup>3</sup>, representando um consumo aproximado de  $1,0 \times 10^{12}$  m<sup>3</sup>/h de gás natural para geração de Energia Elétrica que representaria aproximadamente 33% da eficiência energética dos sistemas geradores.

Fonte: MARCHES WOOD ENERGY NETWORK LTD, 2008



**Gráfico 12 Matriz elétrica Mundial**

Fonte: Ministério de Minas e Energia, 2008.

Retro analiticamente a conta de Kg CO<sub>2</sub> eq é a multiplicação por 21 de Kg CH<sub>4</sub> emitidos a atmosfera. Sendo dividido o valor  $1,3 \times 10^{12}$  Kg CO<sub>2</sub> eq., que é o valor de gás metano gerado em aterro convertido em dióxido de carbono, por 21, que é o potencial de aquecimento do gás metano, é observado um valor de aproximadamente  $60 \times 10^9$  Kg CH<sub>4</sub> gerados devida a decomposição biológica dos resíduos sólidos mundial. A densidade do Gás Metano é aproximadamente de 0,7 Kg/m<sup>3</sup> ((IBAM, Instituto Brasileiro de Administração Municipal, 2009) representando então aproximadamente  $85 \times 10^9$  m<sup>3</sup>/ano CH<sub>4</sub>, ou  $10 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/h que são emitidos à atmosfera.

Correlacionando o metano emitido mundialmente devido aos resíduos sólidos com o biogás, que tipicamente apresenta valores em torno de 50% de gás metano e supondo que

todo resíduo fosse destinado a aterros sanitários, observa-se uma estimativa de  $20 \times 10^6 \text{m}^3/\text{h}$  de biogás que seriam emitidos a atmosfera mundialmente. O poder calorífico do biogás é aproximadamente  $6 \text{ KWh}/\text{m}^3$  (BRITO FILHO, 2005), resultando em um possível abastecimento elétrico mundial de aproximadamente  $40 \text{ TWh}$ , já levando em conta 33% de eficiência energética dos sistemas geradores, representando cerca de 1% de todo consumo elétrico na substituição do combustível gás natural pelo biogás gerado em aterros sanitários.

No Brasil, alguns aterros Sanitários já contam projetos de aproveitamento energético a partir do biogás gerado pelos resíduos depositados conforme Tabela 6:

**Tabela 5 Potencia elétrica gerado pelo Biogás de Aterros Sanitários no Brasil.**

<b>Projetos:</b>	<b>Estados:</b>	<b>Potencia Elétrica Instalada: MW</b>	<b>Potencia Elétrica prevista no DCP: MW</b>	<b>Potencia elétrica estimada: MW</b>
Canabrava	BA	0	0	4.25
VegaBahia	BA	0	0	17.29
Manaus	AM	0	18	17.76
Marca	ES	0	11	5.98
Aurá	PA	0	0	6.35
NovaGerar	RJ	0	12	6.68
Sil	RS	0	0	2.14
Pedreira	SP	0	0	4.49
Anaconda	SP	0	0	2.3
Bandeirantes	SP	22	22	25.4
Caieiras	SP	0	0	14.56
Embralixo/Arauna	SP	0	0	1.32
Itapevi	SP	0	0	2.12
Paulinea	SP	0	0	4.21
Santos	SP	0	0	4.66
Lara	SP	0	10	20.45
Onyx	SP	0	0	1.39
Quitauna	SP	0	0	2.25
São João	SP	20	20	20.95
<b>19 Projetos MDL</b>	<b>BR</b>	<b>42</b>	<b>93</b>	<b>164.55</b>

Fonte: CETESB, WORKSHOP, 2008.

Contudo é observado que somente 25% da potência elétrica total estimada estão implantada nos aterros sanitários brasileiros com projetos de MDL e que cerca de 56 % da potência elétrica total é prevista para ser instalada nestes aterros sanitários citados na tabela 9. (CETESB, WORKSHOP, 2008).

### **Política Nacional de Resíduos Sólidos**

*O gás metano pode ser utilizado também como combustível veicular, como substituto do gás de cozinha (GLP) e principalmente para gerar energia elétrica.*

O inventário brasileiro de metano proveniente de resíduos sólidos nos municípios estimou um potencial de geração de 59 mil toneladas de gás por dia, em todo o país. Assim, observa-se que há condições favoráveis para a produção de metano, estimulando-se o desenvolvimento de projetos de recuperação desse gás, cuja liberação para o meio ambiente é prejudicial por causar o "efeito estufa",

O "Potencial de geração e barreiras ao uso de biogás no Brasil", a ausência de leis ou obrigatoriedade de recuperação do gás, a descontinuidade política e falta de coordenação entre os diversos níveis governamentais e a escassez de recursos financeiros contribuiram para que o metano não fosse aproveitado efetivamente até o momento.

Segundo estimativa apresentada pela representante da Associação Brasileira de Limpeza Pública (ABLP), Maria Helena Orth, no município de São Paulo, que gera 12 mil toneladas de lixo diariamente, o potencial de geração de energia elétrica a partir do gás metano é de 48 megawatts, o que daria para atender 96 mil residências.

Potencial brasileiro para recuperação e uso energético do biogás em aterros onde o Brasil possui grande potencial para gerar energia elétrica a partir de resíduos sólidos e a alternativa poderia aumentar a atual oferta do país em 50 milhões de megawatt-hora por ano, o que representa mais de 15% do total atualmente disponível ou cerca de um quarto do que gera a usina hidrelétrica de Itaipu ( $50 * 15\% = 7,5$  milhões de megawatt hora por ano).

O baixo custo da eletricidade tornará esta fonte interessantíssima, sobretudo quando assimilada sua característica de segurança energética, declara

Fonte: (Oliveira, da UFRJ)

## CONCLUSÃO

Encontramos na atmosfera como principal hidrocarboneto e componente do gás natural, o gás metano na proporção aproximada de 1,7 ppm (partículas por milhão). Como ele pode ser produzido através de matéria orgânica, pode ser chamado de biogás. Desta forma, é utilizado como fonte de energia.

Um dos aspectos negativos do metano é que ele participa da formação do efeito estufa (GEE), colaborando desta forma, para o aquecimento global.

Se inalado, o metano pode causar asfixia, parada cardíaca, incoscência e até mesmo danos no sistema nervoso central.

Na escala, o metano é considerado o segundo gás maior causador do efeito estufa, e sua presença na atmosfera, afeta a temperatura e o sistema climático da Terra.

Cerca de 60% das emissões globais de metano são provenientes das fontes antropogênicas (geradas pelo homem) aterros, minas e operações com gás e petróleo e agricultura. O restante provém de fontes naturais, sobretudo de terras úmidas, hidratos gasosos (sólidos cristalinos compostos de moléculas de metano circundadas individualmente por moléculas de água), de subsolo permanentemente congelado (permafrost) e cupins.

O metano proveniente dos aterros sanitários, assim como outros gases poluentes, experimentou um aumento significativo nas suas emissões após as duas revoluções industriais. Nos últimos dois séculos, estima-se que os teores atmosféricos desse gás dobraram. Não obstante, é necessário lembrar que esse também é um dos chamados gases do efeito estufa e que, qualitativamente, apresenta-se com um efeito poluente cerca de 21 vezes mais intenso que o dióxido de carbono.

Na região metropolitana de São Paulo, dois aterros sanitários transformados em usinas em 2003 e 2007 já somam 43 MW de potência. A primeira, construída em 2003, está localizada no aterro Bandeirantes. Após 30 anos em funcionamento, suas 35 milhões de toneladas de lixo acumuladas geram 20 MW. É energia suficiente para abastecer uma cidade de 400 mil habitantes. Já no caso do aterro São João, que funcionou durante 15 anos e acumulou 26 milhões de toneladas de lixo, a usina instalada tem 23 MW de potência.

Com a queima do metano gerando energia elétrica, obtém-se uma redução das emissões de 1,8 milhão de toneladas de gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), contribuindo assim para a mitigação do efeito estufa.

Sabemos que o Ser Humano é o grande causador dos gases de efeito estufa (GEE), onde pela ação do homem, cada vez mais produzimos quantidades de lixo em volumes significativos devido ao crescimento populacional no mundo.

Reduzir as emissões está associado à mudança de hábitos do ser humano, como desligar aparelhos eletrônicos poupando energia, reciclar, andar mais a pé entre outros hábitos que considero difíceis de mudar, mas não com conscientização e compromisso do poder público, é impossível.

Esta Monografia tem como objetivo contribuir para desenvolvimento futuro de avaliações técnicas científicas e aprimoramento da metodologia proposta, propiciando os ganhos ambientais e energéticos citados.

Como benefício econômico, posso concluir que com o aproveitamento do gás metano produzido em aterros sanitários, uma vez utilizando técnicas para sua captação, condução, armazenamento, pode ser aproveitado gerando energia elétrica, aproveitado em caldeiras em indústrias gerando calor, e sem dúvida movimentando frotas de veículos com o propósito de substituir em parte, a utilização de combustíveis fósseis. Quando queimado em Flare, o gás metano comercialmente pode ser negociado em forma de créditos de carbono.

## REFERÊNCIAS

ACEPIL. ACESSÓRIOS PARA INDÚSTRIAS LTDA. *Acervo Técnico*, 2008.

ARCADIS LOGOS ENERGIA. Disponível em: <http://www.logoseng.com.br/logosenergia/>. Acesso em 07 dez., 2008.

AIR SPECTRUM. Disponível em: <http://www.airspectrum.co.uk/casestudy.asp?id=1>. Acesso em 15 de jul de 2008.

AMBIENTEBRASIL. *Portal*. Disponível em: <http://www.ambientebrasil.com.br>. Acesso em 07 de jun de 2008.

AMBSC. Ambiental Saneamento e Concessões. Disponível em: <http://www.ambsc.com.br>. Acesso em 07 de jun de 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *NBR – 100004. Classificação de Resíduos sólidos*. Rio de Janeiro, 2004.

### ARQUIPELAGO AMBIENTAL

*Estimação de Geração de Gás Metano*

BIDONE, F. *Resíduos sólidos provenientes de coletas especiais*. Rio de Janeiro: RiMa, 2001.

BORBA, S. M. Análises de modelos de geração de gases em aterros sanitários: estudos de caso Rio de Janeiro. *Dissertação de Mestrado*. Rio de Janeiro: COOPE/UFRJ, 2006.

BRAGA, B. *Introdução à Engenharia Ambiental*. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

BRITO FILHO, L. F. Estudo de Gases em Aterros. Casos: Nova Iguaçu e Terra Brava. *Dissertação de Mestrado - Programa de Engenharia Civil/COPPE/UFRJ*. Rio de Janeiro: COOPE/UFRJ, 2005.

CETESB. *Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental*. Disponível em <http://www.cetesb.sp.gov.br> Acesso em 25 de jul de 2008.

CETESB. *Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental*. Inventário Nacional de emissões de Metano pelo Manejo de Resíduos - 2005. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br>. Acesso em 12 de dez de 2008.

CETESB. *Eliminação e uso de energético de Biogás de Aterro*. São Paulo: Acervo Técnico (Pessoal) Rodrigo ia. WORKSHOP, realizado em 10-11 de junho de 2008.

COELHO, S. T. Curso de Especialização em gestão Ambiental e Negócios do Setor Energético. *Cogeração*. São Paulo: IEE USP., 2007

D' ALMEIDA, M. O., & VILHENA, A. *Manual de gerenciamento integrado*. São Paulo: IPT / CEMPRE, 2000.

DANIELETTO, J. R. *Manual de Tubulações de Polietileno e Polipropileno*. São Paulo: Linha Aberta, 2007.

DANIELETTO, J. R.. *Tubos de polietileno e polipropileno*. São Caetano do Sul: Medialdea, 1990.

DELBIN, A. C. *Biogás*. São Paulo, julho de 2004.

ENSINAS, A. V. *Estudo da Geração de Biogás no Aterro Sanitário Delta em Campinas*. Campinas: UNICAMP, 2003.

FISCHER, G. *Manual de operação Máquina de solda Topo KL 315*.

FOKAL SOLUSÕES CONFIÁVEIS. Disponível em: <http://www.fokal.com.br/index.php>. Acesso em 06 de jun de 2008.

FRANCISCO, C. S. *Portal São Francisco*. Disponível em: <http://www.colegiosaofrancisco.com.br>. Acesso em 06 de jun de 2008.

GARCÍA, H. R. Comparison of anaerobic treatment of Leachates from an Urban-Solid-Waste Landfill at Ambient Temperature and at 35°C. *Bioresource Technology*, pp. 273-27, 1997.

GLOTEC. Disponível em: <http://www.glotec.com.br>. Acesso em 12 de jul de 2008.

IBAM. *Instituto Brasileiro de Administração Municipal*. Disponível em <http://www.iban.org.br/publique/media/boletim2a.pdf>. Acesso em 01 de jan de 2009.

IPCC. INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/graphics/graphics/2001syr/small/05.16jpg>. Acesso em 03 de jun de 2008.

JORNAL FOLHA DE SÃO PAULO. *Caderno Dinheiro*, 27 de setembro de 2007.

LANDTEC. *Projetos de Engenharia de Sistemas de Gás de Aterros Sanitários: enfoque práticos*, 2006.

LARA. *Central de Tratamento de Resíduos LTDA*. Disponível em <http://www.lara.com.br>. Acesso em 02 de jan de 2008.

LAKATOS, E M; MARCONI, M A. *Fundamentos de Metodologia Científica*. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

LIPOR. *Serviço Intermunicipalizado de Gestão de Resíduos do Grande Porto*. Disponível em: <http://www.lipor.pt>. Acesso em 07 de jun de 2008.

LOBO, A. Herramienta para la Evaluación. *LOBO, A. Desarrollo de MODUELO 2: Herramienta para la Evaluación de la contaminación producida em vertederos de residuos solidos urbanos*. Santander, España: Tesis Doctoral, 2003.

*MARCHES WOOD ENERGY NETWORK LTD*. Disponível em [http://www.mwen.org.uk/energy\\_conversions.htm](http://www.mwen.org.uk/energy_conversions.htm). Acesso em 12 de dez de 2008,

MME. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Disponível em: <http://www.mme.gov.br>. Acesso em 12 de dez de 2008.

NBR 8160/99 *sistemas prediais de esgoto sanitário*, 2008.

NUNESMAIA, M. *Lixo: soluções alternativas*. Feira de Santana: UEFS, 1997.

OLIVEIRA JÚNIOR, S. Curso de Especialização em Gestão Ambiental e Negócios do Setor Energético. *Geração Termoelétrica e Cogeração*. São Paulo: IEE USP, 2007.

PAZIN, A. *Acervo Técnico*, 2007.

POLIERG. *Catálogo de tubos de Poli Etileno de Alta Densidade*. 2007.

SANTEC. SANTEC - RESÍDUOS. Disponível em:  
<http://www.santecresiduos.com.br/classe.php>. Acesso em 07 de jun de 2008,

SCHIEL, D. Educar/USP. Disponível em:  
[http://educar.sc.usp.br/licenciatura/2003/ee/Efeito\\_estufa.html](http://educar.sc.usp.br/licenciatura/2003/ee/Efeito_estufa.html). Acesso em 12 de dez de 2008.

SISINNO, C., & ROSÁLIA, M. *Resíduos sólidos, ambiente e saúde: uma visão multidisciplinar*. . Rio de Janeiro: Fiocruz, 2000.

TARTARI, L. C. Avaliação do processo de tratamento do chorume do aterro sanitário de Novo Hamburgo. *Dissertação de Mestrado*. ULBRA - Universidade Luterana do Brasil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia, 2003.

TCA. TECNOLOGIA EM CONTROLE AMBIENTAL. *Boletim de Exames de Água Residuária*. Centro de Disposição de Resíduos LTDA, 2006.

TCHBANOGLOUS, G. T. *Composicion y características, generacion, movimiento y control de los gases de Vertedoro. Gestion Integral de liquidos*. s/l: McGraw Hill, 1994.

UNESP. *Universidade Estadual Paulista*. Disponível em  
<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/residuos>. Acesso em 06 de jun de 2008.

USEPA. *United States Environmental Protection Agency*. Disponível em: [www.epa.gov](http://www.epa.gov). Acesso em 06 de jun de 2008.

VALOR ECONÔMICO. (2006). *Valor Econômico* , A16.

LIXOENERGIA. Samy Farghaly (<http://lixoenergia.blogspot.com/> )