

**Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC**  
**Centro Tecnológico - CTC**  
**Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - ENS**  
**Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental**

**ESTUDO DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS NO ATERRO  
SANITÁRIO CANHANDUBA - ITAJAÍ/SC, E O POTENCIAL PARA  
APROVEITAMENTO ENERGÉTICO**

**MATHEUS ZAGUINI FRANCISCO**

**FLORIANÓPOLIS (SC)**  
**DEZEMBRO/2009**

**Universidade Federal de Santa Catarina**  
**Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental**

**ESTUDO DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS NO ATERRO  
SANITÁRIO CANHANDUBA - ITAJAÍ/SC, E O POTENCIAL PARA  
APROVEITAMENTO ENERGÉTICO**

**MATHEUS ZAGUINI FRANCISCO**

**Trabalho apresentado à Universidade Federal  
de Santa Catarina para Conclusão do Curso  
de Graduação em Engenharia Sanitária e  
Ambiental**

**Orientador**  
**Prof. PhD. Armando Borges de Castilhos Junior**

**Co-orientadora**  
**MSc. Débora de Oliveira Machado**

**FLORIANÓPOLIS, (SC)**  
**Dezembro/2009**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**  
**CENTRO TECNOLÓGICO**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**

**ESTUDO DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS NO ATERRO  
SANITÁRIO CANHANDUBA - ITAJAÍ/SC, E O POTENCIAL PARA  
APROVEITAMENTO ENERGÉTICO**

**MATHEUS ZAGUINI FRANCISCO**

**Trabalho submetido à Banca Examinadora como  
parte dos requisitos para Conclusão do Curso de  
Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental**

**BANCA EXAMINADORA:**

\_\_\_\_\_  
Prof. PhD. Armando Borges de Castilhos Junior  
(Orientador)

\_\_\_\_\_  
MSc. Débora Machado de Oliveira  
(Co-orientadora)

\_\_\_\_\_  
Eng. Mário Pegoraro  
(Membro da Banca)

\_\_\_\_\_  
Prof. Narciso Arroyo  
(Membro da banca)

FLORIANÓPOLIS, (SC)

FRANCISCO, M. Z. *Estudo da produção de biogás no aterro sanitário Canhanduba - Itajaí/sc, e o potencial para aproveitamento energético*. 2009. 66 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

## RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo estimar o potencial de produção de biogás no aterro sanitário de Canhanduba, localizado na cidade de Itajaí, estado de Santa Catarina – Brasil. Para alcançar este objetivo foi realizada uma estimativa teórica da produção de biogás ao longo dos anos. Utilizou-se o método conhecido por Decaimento de Primeira Ordem, além disso, foram realizadas medições em campo para verificar a disponibilidade atual de biogás para possível aproveitamento energético. Foram realizadas 10 campanhas de monitoramento de vazão e concentração dos gases dos drenos. Para as amostragens realizadas, a média da produção de biogás do aterro sanitário de Canhanduba foi de 22.598 Nm<sup>3</sup>/d, tendo uma média de 807 Nm<sup>3</sup>/d para cada dreno amostrado. Os resultados indicam um elevado potencial de aproveitamento energético, sendo atualmente possível fornecer energia para 3.140 residências, considerando um consumo médio de 250 kWh/mês.

**Palavras chave:** Biogás de Aterros Sanitários, Análise da Produção do Biogás, Potencial Energético.

FRANCISCO, M. Z. *Study of production of biogas in landfill Canhanduba - Itajaí / SC, and the potential for energy recovery*. 2009. 66 f. Final year project (Sanitary and Environmental Engineering) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

## ABSTRATC

This study aimed to estimate the potential production of biogas in landfill Canhanduba, located in the city of Itajaí, state of Santa Catarina - Brazil. To achieve this goal was made a theoretical estimate of biogas production over the years. It was used the method known as the First Order Decay and also been carried out field measurements to verify the current availability of biogas for energy use. 10 campaigns were carried out monitoring the flow and concentration of the drains. For the samples taken, the average production of biogas from landfill Canhanduba was 22,759.9 Nm<sup>3</sup>, with an average of 812.8 Nm<sup>3</sup> / day for each drain. For the qualitative analysis of the biogas, it was observed that more than half of the wells sampled had concentrations of methane between 40 and 60%. Based on the flow of biogas and methane concentration was calculated the flow of methane in the landfill. The average flow rate is 371.1 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/day while the total produced in a day is 10,762.2 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/day. The results indicate a high potential for energy uses, and can provide power for 5.760 homes, whereas an average consumption of 250 kWh/month.

**Key Words:** Biogas from Landfill, Biogas Analysis, Energy Potencial.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à minha família pelo carinho, amor e confiança depositados em mim durante o meu percurso. Meu pai Mauro, minha mãe Joceli, minha irmã Martina e a minha namorada Thuany.

Ao professor Armando Borges de Castilhos Jr. por ter acreditado em meu trabalho e fazer o convite para entrar para o grupo do LARESO, que me proporcionou a realização desta pesquisa. Ao pessoal do Laboratório, Iracema, Paulo (Preto), Haical e, especialmente, à Débora de Oliveira Machado, por todo tempo dedicado a tirar dúvidas e transmitir seus conhecimentos.

Ao CNPq e FINEP pelo apoio financeiro do projeto “Aproveitamento Energético do Biogás no Aterro Sanitário de Itajaí-SC para geração de energia elétrica e térmica”, bem como seus coordenadores professor Narciso Angel Ramos Arroyo e Armando Borges de Castilhos Junior realizando a união entre os dois departamentos, Engenharia Mecânica e Engenharia Sanitária.

Aos professores do Curso de Graduação de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC, pelos ensinamentos passados durante todos esses anos.

Aos meus amigos da faculdade, toda a raça, porque sem vocês esse caminho seria muito mais difícil. E também aos meus amigos de Itajaí, por entenderem a “ausência” durante esses anos.

Ao Edevaldo da Engenharia Mecânica por tornar possível a realização das medições através da criação de equipamentos muito úteis.

À empresa Ambiental Saneamento e Concessões (AMBSC), por dispor o Aterro Sanitário Canhanduba para pesquisa. Em especial, ao pessoal que fazia companhia durante o intervalo nas medições, Eng. Everton, Elaine, Sidnei e trabalhadores do aterro.

Muito Obrigado.

*"Não sabendo que era impossível, foi lá e fez."*

***Jean Cocteau***

## Lista de Abreviaturas e Símbolos

**ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas  
**AMBSC** – Empresa Ambiental Saneamento e Concessões  
**ANA** – Agência Nacional das Águas  
**CETESB** - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo  
**CH<sub>4</sub>** - Gás Metano  
**CNTP** - Condições Normais de Temperatura e Pressão  
**CO<sub>2</sub>** – Gás Dióxido de Carbono  
**CO<sub>2</sub>e** - Carbono Equivalente  
**COP-3** - Conferência entre as Partes III  
**DCP** - Documento De Concepção De Projeto  
**EOD** - Entidade Operacional Designada  
**EPAGRI** - Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina  
**Famai** - Fundação Municipal de Amparo ao Meio Ambiente de Itajaí  
**GEE** – Gases de Efeito Estufa  
**GPS** – *Global Position System*, em português “Sistema de Posicionamento Global”  
**H<sub>2</sub>** – Gás Hidrogênio  
**H<sub>2</sub>O** – Vapor de Água  
**IBGE** – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
**IUPAC** - *International Union of Pure and Applied Chemistry*, em português “União Internacional de Química Pura e Aplicada”  
**k** - Constante da decaimento (ano<sup>-1</sup>)  
**L<sub>0</sub>** – Potencial de Geração de Metano (m<sup>3</sup>/ton)  
**MDL** – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo  
**MME** – Ministério de Minas e Energia  
**MW** – MegaWatts (unidade de potência)  
**N<sub>2</sub>** – Gás Nitrogênio  
**NBR** – Norma Brasileira  
**Nm<sup>3</sup>/dia** – Normal Metro Cúbico por Dia  
**NMOC** – *Nom Methane Organic Components*, em português “Componentes Orgânicos Não-Metano”  
**PCH** – Pequena Central Hidrelétrica  
**PDD** – *Project Design Document*, em português “Documento de Projeto de Design”  
**PEAD** – Polietileno de Alta Densidade  
**pH** – Potencial Hidrogeniônico  
**PMI** – Prefeitura Municipal de Itajaí  
**PNMC** – Plano Nacional sobre Mudanças do Clima  
**PNSB** – Pesquisa Nacional de Saneamento Básico  
**PPP** – Participação Público Privada  
**PROINFA** – Programa Brasileiro de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica  
**PVC** – Cloreto de Polivinila  
**Res./ano** – Resíduos Sólidos Urbanos Depositados por Ano  
**RSU** – Resíduos Sólidos Urbanos  
**SIN** – Sistema Integrado Nacional



**SNIS** – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

**t CO<sub>2</sub>/ano** – Toneladas de Dióxido de Carbono por Ano

**ton** - Toneladas

**USEPA** – *United States Environmental Protection Agency*, em português  
“Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos”

**UTM** - Universal Transversa de Mercator

## Lista de Figuras

FIGURA 1 - OFERTA INTERNA DE ENERGIA NO BRASIL, EM PORCENTAGEM (%) .....	<b>ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b>
FIGURA 2 - EVOLUÇÃO DA DISPOSIÇÃO FINAL .....	10
FIGURA 3 - PERCENTUAL DE VOLUME DE LIXO COLETADO .....	11
FIGURA 4 - ETAPAS DAS ATIVIDADES DE UM ATERRO .....	13
FIGURA 5 - CONCENTRAÇÃO DE GASES DE ACORDO COM AS FASES, EM FUNÇÃO DO TEMPO .....	15
FIGURA 6 - NÚMERO DE ATIVIDADES DE PROJETO NO ÂMBITO DO MDL NO MUNDO .....	23
FIGURA 7 - PARTICIPAÇÃO NO TOTAL DE ATIVIDADES DE PROJETO NO ÂMBITO DO MDL NO MUNDO .....	23
FIGURA 8 - DISTRIBUIÇÃO DAS ATIVIDADES DE PROJETO NO BRASIL POR ESCOPO SETORIAL .....	24
FIGURA 9 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA CIDADE DE ITAJAÍ .....	25
FIGURA 10 - FOTO AÉREA DO ATERRO SANITÁRIO CANHANDUBA .....	26
FIGURA 11 - MAPA DO ATERRO COM OS DRENOS DE BIOGÁS .....	27
FIGURA 12 - PLANTA DE CAD COM POSIÇÃO DOS DRENOS DO ATERRO SANITÁRIO CANHANDUBA .....	27
FIGURA 13 - EQUIPAMENTO DE MEDIÇÃO DE CONCENTRAÇÃO, MARCA DRÄGER .....	<b>ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b>
FIGURA 14 - APARELHO TERMO-ANEMÔMETRO UTILIZADO EM CAMPO PARA MEDIÇÃO DE VELOCIDADE E TEMPERATURA .....	<b>ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b>
FIGURA 15 - MEDIÇÃO DE VELOCIDADE E TEMPERATURA COM BOCAL REDUZIDO .....	33
FIGURA 16 - EQUIPE MEDINDO VAZÃO DO BIOGÁS, COM DRENO VEDADO, BOCAL COM CURVA NORMALIZADA E UTILIZANDO O APARELHO DRÄGER .....	34

## Lista de Tabelas

TABELA 1 - VELOCIDADE DE DEGRADAÇÃO DOS COMPONENTES DOS RESÍDUOS ORGÂNICOS .....	8
TABELA 2 - COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA (%) DOS RSU DE ALGUMAS CIDADES BRASILEIRAS .....	9
TABELA 3 - CARACTERIZAÇÃO GRAVIMÉTRICA DO ATERRO SANITÁRIO CANHANDUBA .....	9
TABELA 5 - TIPOS E CUSTOS DE DESTINAÇÃO FINAL .....	11
TABELA 6 - CONSTITUIÇÃO DOS GASES NO BIOGÁS .....	16
TABELA 7 - PAÍSES INTEGRANTES DO ANEXO I .....	21
TABELA 8 - HISTÓRICO DE DEPOSIÇÃO DE RESÍDUOS .....	28
TABELA 9 – CENÁRIOS PROPOSTOS COM DIFERENTES VALORES PARA OS COEFICIENTES K E LO .....	30
TABELA 10 - LEVANTAMENTO DE DADOS LOCAIS .....	36
TABELA 11 - PROJEÇÃO DO RECEBIMENTO DE RESÍDUOS ATÉ O ANO DE FECHAMENTO DO ATERRO, E O VOLUME DE RESÍDUOS ACUMULADOS .....	36
TABELA 12 - NÚMERO DE OCORRÊNCIA DAS PORCENTAGENS DE METANO PRESENTE NO BIOGÁS .....	39
TABELA 13 – DADOS MÉDIOS DAS MEDIÇÕES DE VAZÃO DO BIOGÁS PRODUZIDO NOS DRENOS .....	40
TABELA 14 - DADOS MÉDIOS DAS MEDIÇÕES DE VAZÃO DE METANO PRODUZIDO NOS DRENOS .....	41
TABELA 15 – TABELA RESULTANTE DE CAMPANHA DE 06 DE MARÇO DE 2009 .....	54
TABELA 16 - TABELA RESULTANTE DE CAMPANHA DE 27 DE MARÇO DE 2009 .....	55

TABELA 17 - TABELA RESULTANTE DE CAMPANHA DE 14 DE ABRIL DE 2009 .....	56
TABELA 18 - TABELA RESULTANTE DE CAMPANHA DE 27 DE ABRIL DE 2009 .....	57
TABELA 19 - TABELA RESULTANTE DE CAMPANHA DE MEDIÇÃO DE 22 DE MAIO DE 2009 .....	58
TABELA 20 - TABELA RESULTANTE DE CAMPANHA DE MEDIÇÃO DE 29 DE MAIO DE 2009 .....	59
TABELA 21 - TABELA RESULTANTE DE CAMPANHA DE MEDIÇÃO DE 05 DE JUNHO DE 2009 .....	60
TABELA 22 - TABELA RESULTANTE DE CAMPANHA DE MEDIÇÃO DE 19 DE JUNHO DE 2009 .....	61
TABELA 23 - TABELA RESULTANTE DE CAMPANHA DE MEDIÇÃO DE 26 DE JUNHO DE 2009 .....	62
TABELA 24 - TABELA RESULTANTE DE CAMPANHA DE MEDIÇÃO DE 03 DE JULHO DE 2009 .....	63

## **Lista de Gráficos**

GRÁFICO 1 - CURVA DE GERAÇÃO DE METANO NO ATERRO, DE ACORDO COM OS DIFERENTES CENÁRIOS ADOTADOS .....	37
GRÁFICO 2 - RESULTADOS DOS CENÁRIOS CONFRONTADOS COM A MEDIÇÃO EM CAMPO, NO ANO DE 2009.....	38
GRÁFICO 3 – ANÁLISE DA MÉDIA DE BIOGÁS MEDIDO NO ATERRO DURANTE 10 CAMPANHAS.....	42
GRÁFICO 4 - ANÁLISE DA MÉDIA DE BIOGÁS MEDIDO NO ATERRO DURANTE 10 CAMPANHAS .....	43
GRÁFICO 5 - VAZÕES MÉDIA DE METANO POR DRENO, CONCENTRAÇÃO DE METANO EM CADA DRENO E VAZÃO DE METANO .	44
GRÁFICO 6 - POTÊNCIA ELÉTRICA DISPONÍVEL, POTÊNCIA ELÉTRICA ÚTIL E A POTÊNCIA DO GERADOR ELÉTRICO.....	45

## **Lista de Equações**

EQUAÇÃO 1 - DEGRADAÇÃO DA CELULOSE .....	14
EQUAÇÃO 2 - DECAIMENTO DE PRIMEIRA ORDEM.....	29
EQUAÇÃO 3 – VAZÃO DE GASES PARA CONDIÇÕES NORMAIS DE TEMPERATURA E PRESSÃO (CNTP) .....	32
EQUAÇÃO 4 - POTÊNCIA ELÉTRICA A PARTIR DO BIOGÁS .....	34
EQUAÇÃO 5 - POTÊNCIA ELÉTRICA ÚTIL POR ANO.....	35

# Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1 APRESENTAÇÃO DO TEMA	1
1.2 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO	2
1.3 OBJETIVOS DO TRABALHO	4
1.3.1 <i>Objetivo Geral</i>	4
1.3.2 <i>Objetivos Específicos</i>	4
1.4 FINALIDADE	4
1.5 ESTRUTURA	4
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>6</b>
2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS	6
2.1.1 <i>Definição e Classificação</i>	6
2.1.2 <i>Composição dos Resíduos Urbanos</i>	8
2.1.3 <i>Tratamento dos resíduos sólidos urbanos</i>	10
2.2 PRODUÇÃO DE BIOGÁS	14
2.2.1 <i>Produção de Biogás no Aterro</i>	14
2.2.2 <i>Composição do Biogás</i>	16
2.2.3 <i>Fatores que alteram a produção do Biogás</i>	18
2.3 PRODUÇÃO DE ENERGIA ATRAVÉS DA QUEIMA DO BIOGÁS	19
2.4 PROJETOS DE MDL	20
2.4.1 <i>Introdução ao assunto MDL</i>	20
2.4.2 <i>MDL no Brasil e no mundo</i>	22
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>25</b>
3.1 LOCAL DE ESTUDO	25
3.1.1 <i>Características do Aterro</i>	27
3.2 ESTIMATIVA TEÓRICA DE PRODUÇÃO DO BIOGÁS	29
3.2.1 <i>Levantamento de dados preliminares</i>	29
3.2.2 <i>Métodos para geração da curva de produção</i>	29
3.3 CARACTERIZAÇÃO DOS GASES MEDIDOS NOS DRENOS	31
3.3.1 <i>Metodologia para a obtenção dos dados em campo</i>	32
3.4 DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA DISPONÍVEL PARA GERAÇÃO DE ENERGIA	34
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>35</b>
4.1 DADOS PRELIMINARES DO ATERRO	36
4.2 ESTIMATIVA TEÓRICA DA PRODUÇÃO DE GASES	37
4.3 MEDIÇÕES EM CAMPO DOS GASES PRODUZIDOS NOS DRENOS	38

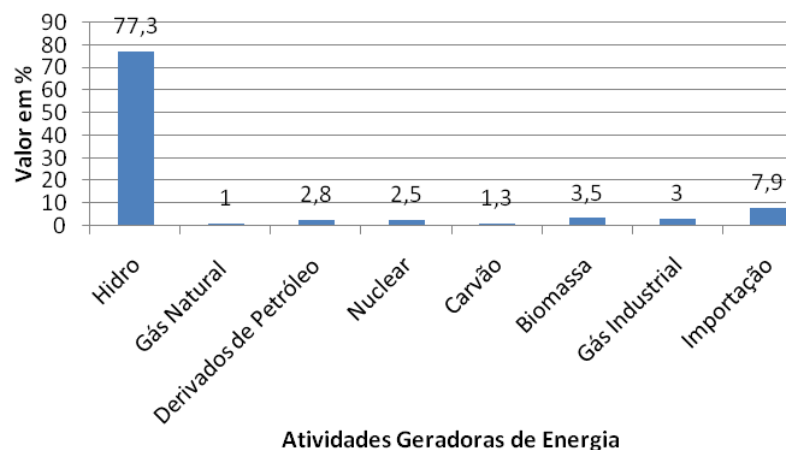
4.4	POTÊNCIA DISPONÍVEL PARA APROVEITAMENTO ENERGÉTICO .....	44
<b>5.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>47</b>
<b>6.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>49</b>
<b>7.</b>	<b>APÊNDICES .....</b>	<b>54</b>
7.1	APÊNDICE A – TABELAS RESULTANTES DAS MEDIÇÕES EM CAMPO .....	54
7.2	APÊNDICE C – PLANTA DE LOCALIZAÇÃO DOS DRENOS NO ATERRO SANITÁRIO .....	64
<b>8.</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>65</b>
8.1	ANEXO A – FASES DO ATERRO SANITÁRIO CANHANDUBA.....	65

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 Apresentação do Tema

No Brasil, o método mais utilizado para tratamento e disposição final dos resíduos sólidos urbanos (RSU) é o de aterros sanitários. Isto se deve, também, ao fato do método apresentar certa simplicidade na execução e operação e, conseqüentemente, baixos custos (CASTILHOS JR. et al., 2003). O método de aterramento é pouco viável a países que dispõe, atualmente, de pequenas porções de terras livres. Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, realizada em 2000 pelo IBGE, 69% (em peso) dos RSU são dispostos de alguma forma adequada de aterramento no solo.

No ramo de energia, dados do Plano Nacional sobre Mudança no Clima (PNMC) de 2007, retratam a oferta interna de energia elétrica extremamente dependente da fonte hidrelétrica, sendo que 77% da energia utilizada no país provém de fontes hídricas. A Figura 1 ilustra estes dados.



Atividades Geradoras de Energia  
Figura 1 - Oferta interna de energia no Brasil, em porcentagem (%)

FONTE: (PNMC, 2007)

Outro ponto que vamos abordar é o aquecimento global. Este assunto está mundialmente difundido e a preocupação ganha cada vez mais espaço nos meios de comunicação. As emissões antrópicas de gases de efeito estufa (GEE) tendem a ter um

incremento junto com o desenvolvimento da população mundial. Após a Conferência do Clima em Kyoto, Japão, países desenvolvidos assinaram um protocolo que visa reduzir as emissões de carbono na atmosfera a valores da década passada. Com esta ambiciosa meta, Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL) foram criados para que países possam compensar suas emissões de carbono, reduzindo as emissões em outro local, por exemplo, em países em desenvolvimento que não se enquadraram no tratado. Assim os países “ricos” investem em projetos de redução de emissões em países “pobres” e contabilizam para si o corte de emissão de GEE.

Projetos de MDL estão sendo desenvolvidos no mundo em diferentes áreas da ciência, por exemplo, plantio de árvores, queima ou aproveitamento do biogás de aterros sanitários, estações de tratamento de efluentes anaeróbias, biodigestores entre outros sistemas. Entretanto, abordaremos neste trabalho o aproveitamento do biogás de aterro sanitário. O biogás pode ser aproveitado como fonte de energia elétrica, quando queimado em motores de combustão e ligados a geradores de eletricidade, ou também, simplesmente queimados.

No entanto, para que um projeto de aproveitamento energético em um aterro sanitário tenha viabilidade econômica, são necessários estudos para conhecimento das reais potencialidades de geração, coleta, tratamento, aproveitamento deste gás e a comprovação de redução nas emissões através da criação de uma linha de base.

O trabalho realizado visa obter dados qualitativos e quantitativos referentes à produção de biogás, e então, estimar a produção energética possível no local. Para tornar possível a pesquisa foi feito, primeiramente, a estimativa teórica a partir do método *decaimento de primeira ordem* e também medições em campo da vazão dos drenos de biogás, bem como, medidas de concentração dos gases presentes nos gases efluentes dos drenos. Ao final dos estudos, foi possível determinar a vazão instantânea de biogás no ano de 2009, a produção nos anos seguintes com a curva mais próxima da realidade e o potencial do aproveitamento energético.

## 1.2 **Justificativa do Trabalho**

### Justificativa Ambiental

A crise da energia que assola o país desde 2001, quando foi realizado o programa de racionamento, juntamente com a necessidade de tratamento dos resíduos sólidos

urbanos e mais a mitigação das emissões de gases de efeito estufa, são problemas ambientais recorrentes na vida urbana atual. Todos esses impasses são mitigados com a implantação de projetos de aproveitamento energético em aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos.

#### Justificativa Legal e Normativa

A constituição federal de 1988 delega aos municípios a responsabilidade sobre os resíduos sólidos urbanos (RSU), seja no recolhimento e/ou no tratamento, através do Capítulo VI, Artigo 225, Parágrafo 1º e item descrito a seguir:

“V - controlar a produção, a comercialização e o emprego de técnicas, métodos e substâncias que comportem risco para a vida, a qualidade de vida e o meio ambiente.”

Contudo uma prática que cresce a cada ano é a parceria entre o poder público municipal e companhias privadas, esta união recebe o nome de PPP (Parceria Público Privada) e tem mostrado excelentes resultados. A lei federal no 11.079, de 30 de dezembro de 2004 institui normas gerais para licitação e contratação das parcerias público-privadas no âmbito da administração pública.

As NBRs sobre disposição final dos RSU, que auxiliam na confecção de projetos de aterros sanitários, NBR 8419 (ABNT, 1996) e a NBR 13.896 (ABNT, 1997). Já as NBR 10.004 a 10.007/2004 estabelecem critérios para classificação, ensaios de lixiviação, solubilização e amostragem de resíduos.

O Decreto n.6.263 de 21 de novembro de 2007, institui o Plano Nacional sobre Mudanças no Clima. O plano cria dispositivos para auxiliar nos projetos de redução de emissões de gases nocivos ao clima do planeta, que contribuem com aumento do potencial de aquecimento global.

Criado em 26 de abril de 2002, pela Lei nº 10.438, o PROINFA é um importante instrumento para a diversificação da matriz energética nacional, garantindo maior confiabilidade e segurança ao abastecimento. O Programa, coordenado pelo Ministério de Minas e Energia (MME), estabelece a contratação de 3.300 MW de energia no Sistema Interligado Nacional (SIN), produzidos por fontes eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas (PCHs), sendo 1.100 MW de cada fonte. (PROINFA)



### Justificativa Social

A implantação de aterros sanitários acaba com a ação de catadores dando-lhes oportunidades de emprego no aterro sanitário instalado no local do antigo lixão ou vazadouro. Além disso, a implantação de um projeto de aproveitamento energético reduz o risco de explosões e melhora a qualidade do ar no entorno do aterro.

## 1.3 **Objetivos do Trabalho**

### 1.3.1 *Objetivo Geral*

Elaborar um diagnóstico, qualitativo e quantitativo, da produção de biogás gerado no Aterro Sanitário Canhanduba, localizado na cidade de Itajaí, Santa Catarina.

### 1.3.2 *Objetivos Específicos*

→ Estimar através do modelo teórico *Decaimento de Primeira Ordem* a curva de produção de biogás ao longo do tempo no Aterro Sanitário Canhanduba – Itajaí/SC.

→ Monitorar a vazão e concentração dos gases nos drenos do aterro sanitário, visando um levantamento da produção atual de biogás (vazão instantânea).

→ Avaliar os coeficientes  $k$  e  $L_0$  mais adequados, de acordo com o cruzamento de dados da medição em campo com a curva teórica produzida.

→ Estimar a disponibilidade de energia elétrica passível de aproveitamento no aterro sanitário.

## 1.4 **Finalidade**

Subsidiar tecnicamente a possível instalação de uma usina de geração de energia renovável através de um moto-gerador de combustão interna, a partir do biogás resultante da decomposição anaeróbica da biomassa depositada no aterro.

## 1.5 **Estrutura**

O trabalho está dividido, em 8 capítulos. O primeiro, e presente, capítulo aborda os assuntos introdutórios como Apresentação do Tema, Objetivos, Justificativa e

Finalidade. O segundo capítulo traz a revisão da bibliografia sobre os temas Resíduos Sólidos, Produção de Biogás, Projetos de MDL e Geração de Energia. No capítulo 3 será apresentada a metodologia empregada para que os objetivos específicos fossem alcançados. No capítulo 4, apresentar-se-ão os resultados obtidos através da metodologia implantada. O quinto capítulo abordará os Resultados e realizará a Discussão pertinente, no sexto será realizada a Conclusão com base nos resultados obtidos e, finalmente, as Referências Bibliográficas, os Apêndices e Anexos.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A seguir será apresentada a revisão da literatura necessária para o entendimento geral da pesquisa realizada. A pesquisa bibliográfica se baseou em estudos a respeito de aterros sanitários, produção de biogás, aproveitamento de biogás em aterros sanitários, projetos de MDL e aproveitamento energético do biogás. Na primeira seção será apresentada a revisão teórica sobre os Resíduos Sólidos, assim como sua Classificação, Composição, Taxa de Geração e Disposição Final, abordando, também, Aterros Sanitários. Na seção seguinte será abordado o tema de Biogás, bem como sua produção, composição e fatores que ocasionam a variação da produção. Na próxima seção será apresentado o tema que engloba Créditos de Carbono e Mecanismos de Desenvolvimento Limpo, mais conhecido por MDL. Por último, será feita uma revisão sobre a geração de energia elétrica em aterros sanitários.

### 2.1 Resíduos Sólidos

#### 2.1.1 *Definição e Classificação*

Por definição da ABNT (2004), resíduos sólidos são aqueles “resíduos no estado sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, comercial, hospitalar, agrícola, de serviços e de varrição.” Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de águas, ou qualquer outro gerado em equipamentos de controle de poluição, ou também líquidos que devido à suas peculiaridades são inviáveis de serem lançados na rede de esgoto ou em corpo de água receptor.

O termo “resíduo” é empregado em substituição ao termo “lixo” e utilizado constantemente no meio acadêmico e técnico. A mudança se deve ao fato de lixo caracterizar, devido ao uso popular durante séculos, algo sem valor agregado, algo a ser descartado. Para Calderoni (1998), na linguagem corrente o termo resíduo é sinônimo de lixo, sendo lixo todo material inútil cuja existência em um dado meio é tida como nociva, devendo ser descartado e disposto em local correto pelo poder público. A partir desta afirmação, o lixo passa de um bem de consumo particular, ou seja, de domínio privado, para o domínio público. Representando um problema para toda a sociedade.

Existem diferentes formas para serem classificados os resíduos sólidos. Será apresentado a seguir duas formas distintas classificação. A classificação segundo a NBR 10004 da ABNT (2004) se faz pela periculosidade do resíduo. Os resíduos enquadrados como Resíduos Classe I, são denominados Perigosos e apresentam alguma das características listadas abaixo:

- Inflamabilidade;
- Corrosividade;
- Reatividade;
- Toxicidade;
- Patogenicidade;

Os Resíduos Classe II são apontados como Não Perigosos, e se subdividem em duas categorias A e B. As categorias são explicadas na seqüência.

→ Classe II A – Não Inertes: Podem ter propriedades como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água, contudo, que não se enquadrem como Classe I ou II B.

→ Classe II B – Inertes: Não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água.

Por fim, a classificação feita pela origem do resíduo conforme D'almeida & Vilhena (2000). Os resíduos são divididos nas demais classes:

- Domiciliar: originário das atividades diárias das residências;
- Comercial: produzido nos diversos estabelecimentos comerciais e de serviços;
- Público: produzido pelos serviços de limpeza urbana;
- Serviços de Saúde e Hospitalar: produzidos em hospitais, clínicas, laboratórios, farmácias, etc.;
- Portos, Aeroportos e Terminais Rodoviários e Ferroviários: originários dos respectivos serviços;
- Industrial: produzidos por atividades dos diversos ramos da indústria, como metalúrgica, química, petroquímica, alimentícia, etc.;
- Agrícola: produzidos nas atividades agrícolas e pecuárias;
- Entulho: originários da construção civil;

### 2.1.2 Composição dos Resíduos Urbanos

Os resíduos diferem muito na sua composição dependendo de sua origem, como foi classificado anteriormente por D'almeida & Vilhena (2000). Outro fator que acarreta diferenças na composição do lixo é a estratificação social do produtor, variando na quantidade de resíduos produzidos por pessoa e na porcentagem de material orgânico e inorgânico. Uma análise, realizada por Tchobanoglous, Theisen e Vigil (1993), divide os constituintes dos resíduos orgânicos em rapidamente biodegradáveis e lentamente biodegradáveis. De 3 meses a 5 anos para os rapidamente biodegradáveis e de 5 anos em diante para o outro, conforme a Tabela 1 a seguir.

**Tabela 1 - Velocidade de degradação dos componentes dos resíduos orgânicos**

<b>Componentes dos resíduos orgânicos</b>	<b>Rapidamente biodegradáveis</b>	<b>Lentamente biodegradáveis</b>
Restos de alimentos	X	
Papel	X	
Papelão	X	
Têxteis		X
Borracha		X
Couro		X
Resíduos de jardim	X <sup>(a)</sup>	X <sup>(b)</sup>
Madeira		X

(a) Folhas e capim, cerca de 60% dos resíduos de jardim

(b) Frações de madeira dos resíduos de jardim

FONTE: TCHOBANOGLIOUS, THIESEN & VIGIL (1993)

A informação sobre a composição dos resíduos sólidos urbanos é importante na otimização de alternativas de sistemas como: equipamentos necessários, planos, programas de gerenciamento e tratamento. Prováveis mudanças na composição física e química dos resíduos são apontadas para o futuro. Essas mudanças vão acompanhando o desenvolvimento no estilo de vida das pessoas, que está intimamente ligado as condições climáticas local, e também, o poder aquisitivo como já foi citado anteriormente e é reforçado pela literatura (TCHOBANOGLIOUS, THIESEN &

ELIASSEN, 1977). Na Tabela 2, é possível observar a composição gravimétrica de algumas cidades do Brasil.

**Tabela 2 - Composição gravimétrica (%) dos RSU de algumas cidades brasileiras.**

<b>Cidade</b>	<b>Matéria Orgânica</b>	<b>Papel e Papelão</b>	<b>Plástico</b>	<b>Metais</b>	<b>Vidros</b>	<b>Outros</b>
<b>Rio de Janeiro (RJ)</b>	44,0	23	12	4	2	15
<b>Botucatu (SP)</b>	74,1	7,6	8,4	3,9	2,0	4,0
<b>Criciúma, Içara e Nova Veneza (SC)</b>	45,2	21,1	17,1	2,1	2,1	11,2
<b>Florianópolis (SC)</b>	46,4	14,2	14,9	2,6	1,3	13,7
<b>Porto Alegre (RS)</b>	52,1	15,0	12,4	2,5	1,9	16,0
<b>Média</b>	55,0	16,0	12,0	2,9	2,4	11,6
<b>Desvio Padrão</b>	9,4	4,8	3,3	0,9	1,0	4,1

FONTE: Orofino (2002)

os dados originais foram apresentados distintamente entre as estações de primavera e outono. Na Tabela 3 será apresentada a média da proporção de materiais encontrada no quarteamento dos resíduos do aterro. A soma de todos os materiais ultrapassa 100%, isto se deve ao fato de ter sido realizada uma média entre as duas estações do ano.

**Tabela 3 - Caracterização gravimétrica do aterro sanitário Canhanduba**

**Média caracterização gravimétrica Canhanduba**

<b>Papel</b>	4,76	%
<b>Papelão</b>	8,23	%
<b>Vidro</b>	3,55	%
<b>Material Org.</b>	37,26	%
<b>Metal Ferroso</b>	2,04	%
<b>Metal Não Ferroso</b>	0,36	%
<b>Plástico Duro</b>	7,16	%
<b>Plástico Filme</b>	8,65	%
<b>PET</b>	2,33	%
<b>Cerâmica</b>	0,17	%
<b>Borracha</b>	1,26	%
<b>Pano/Trapo</b>	4,50	%
<b>Couro</b>	0,03	%
<b>Madeira</b>	0,94	%
<b>Poda de Jardim</b>	0,62	%
<b>Outros/Rejeito</b>	22,64	%

FONTE: Modificado de Formighieri (2007)

O conhecimento da composição dos resíduos traz, também, informações úteis para recuperação e aproveitamento dos resíduos sólidos – a reciclagem.

### 2.1.3 Tratamento dos resíduos sólidos urbanos

O tratamento pode ser entendido como o processamento dos resíduos gerados em uma cidade. Uma unidade de processamento é uma instalação, com ou sem equipamentos eletromecânicos, com a finalidade de processar os resíduos sólidos urbanos (SNIS, 2006).

Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, realizada pelo IBGE em 2000, atualmente 47,1% dos resíduos gerados nas cidades urbanas são depositados em aterro sanitário, 22,3% em aterros controlados e apenas 30,5% em vazadouros a céu aberto. Ao total de 69% dos resíduos que recebem algum tipo de tratamento, quando analisados por peso. Contudo o cenário não é tão otimista quando se faz a análise por municípios: 63,6% utilizam lixões, 18,4% utilizam aterros controlados e 13,8% utilizam aterros sanitários, o restante não informou onde destina seus resíduos. Esta preferência por disposição no solo se deve ao fato dos aterros sanitários e controlados serem a técnica de disposição adequada mais barata hoje em dia (CASTILHOS JR. et al., 2003).

O figura 2, abaixo, evidencia a evolução da destinação final dos resíduos sólidos urbanos no Brasil.

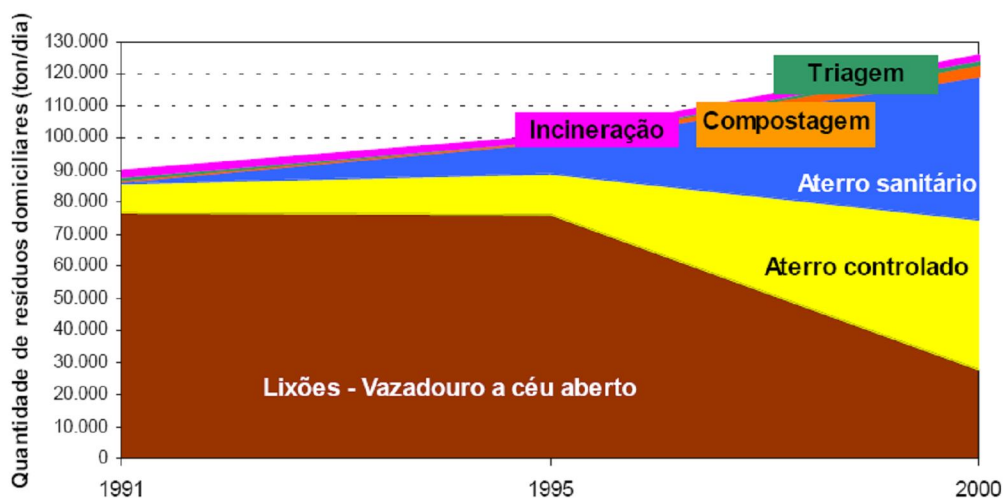


Figura 2 - Evolução da destinação final  
FONTE: Jucá (2003)

A figura 3 indica o percentual de volume de lixo coletado, por tipo de destino final, segundo os estratos populacionais dos municípios de 2000.

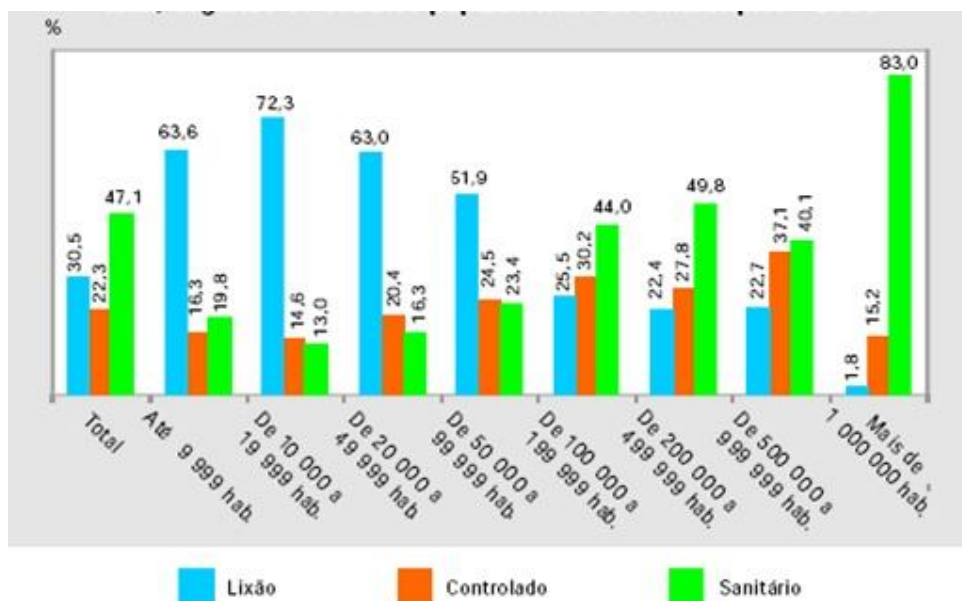


Figura 3 - Percentual de volume de lixo coletado.

FONTE: Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, IBGE (2000).

A tabela 5 mostrada a seguir, traz informações sobre os diferentes custos, por tonelada de resíduo, em aterros sanitários do país. Pode-se observar a quantidade de gestões terceirizadas, ou privadas.

Tabela 4 - tipos e custos de destinação final

CIDADE	TIPO DISPOSIÇÃO FINAL	GESTÃO	RS/Ton
Recife-PE	Aterro Controlado da Muribeca	Municipal	6,04 <sup>1</sup>
Biguaçu - SC	Aterro Sanitário da Formaco	Terceirizada	Não informado
Rio de Janeiro-RJ	Aterro Controlado de Gramacho	Terceirizada	5,06 <sup>1</sup>
Rio de Janeiro-RJ	Aterro Controlado Zona Oeste	Municipal	6,78 <sup>1</sup>
Fortaleza-CE	Aterro Sanitário de Caucaia	Terceirizada	5,80 <sup>1</sup>
Fortaleza-CE	Aterro Sanitário de Aquiraz	Terceirizada	7,20 <sup>1</sup>
Goiania-GO	Aterro Controlado de Goiania	Terceirizada	10,00 <sup>1</sup>
Belo Horizonte-MG	Aterro Remediado de BH	Municipal	10,82 <sup>1</sup>
Porto Alegre-RS	Aterro Sanitário da Extrema	Municipal	18,00 <sup>2</sup>
Porto Alegre - RS	Aterro Sanitário Metropolitano Santa Tecla	Municipal	18,00 <sup>2</sup>
Itaquaquecetuba - SP	Aterro Sanitário de Itaquaquecetuba	Terceirizada	Não informado
Mauá- SP	Aterro Sanitário de Mauá	Terceirizada	Não informado
São Paulo-SP	Aterro Sanitário São João	Terceirizada	18,00 <sup>1</sup>
Santo André-SP	Aterro Sanitário	Municipal	13,00 <sup>1</sup>
União da Vitória-PR	Aterro Sanitário	Municipal	17,46 <sup>1</sup>
Salvador-BA	Aterro Sanitário Metropolitano	Municipal	15,00 <sup>1</sup>
Palmas - TO	Aterro Sanitário	Municipal	7,89 <sup>2</sup>
Araguaína - TO	Aterro Sanitário	Municipal	41,67 <sup>2</sup>
Guarai-TO	Aterro Sanitário	Municipal	33,33 <sup>2</sup>
João Pessoa-PB	Aterro Controlado	Municipal	4,00 <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dados fornecidos em março de 2001

<sup>2</sup> Dados fornecidos em agosto de 2002



FONTE: Jucá (2003)

No Brasil, a geração de resíduos sólidos urbanos é de aproximadamente 54 mil toneladas por dia, e a geração *per capita* média nas cidades brasileiras varia entre 0,4 e 0,7 de lixo/habitante/dia. Um dado um tanto razoável quando comparado com a taxa dos Estados Unidos que varia em torno de 1,08 a 1,2 lixo/habitante/dia. Mesmo com referência antiga sobre a disposição de resíduos norte americanos, o valor supera largamente o apresentado para o Brasil, em uma pesquisa mais recente. (VIEIRA & ALVES, 2002 e SMITH, 1975)

### **Aterros**

A definição segundo a NBR 8419 (ABNT, 1992) para aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos é a

*“técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário.”*

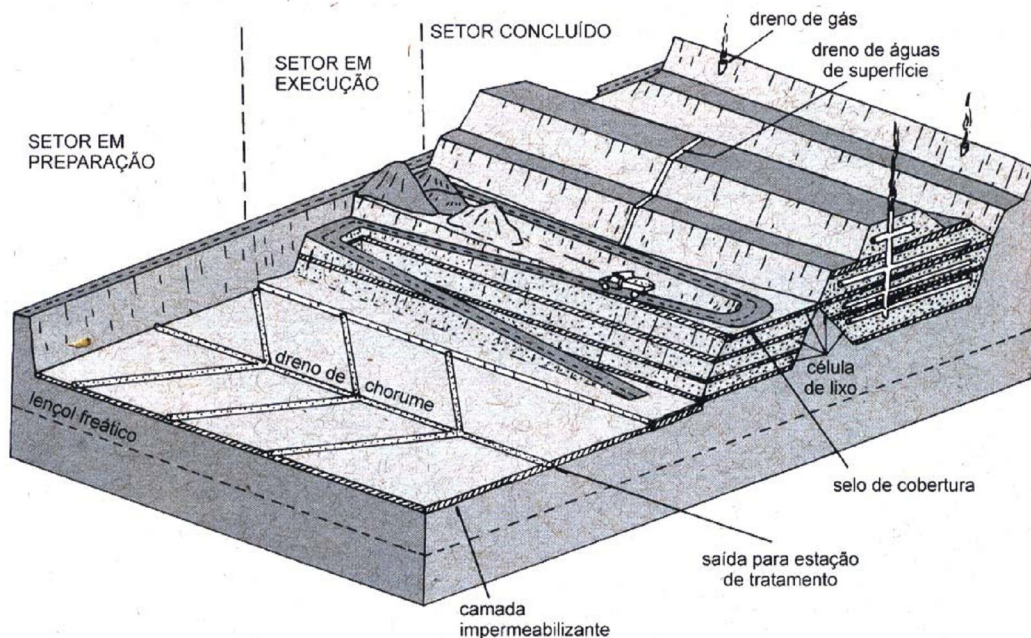
Os aterros sanitários são enormes reatores bioquímicos anaeróbios, devido a isso necessitam de técnicas de engenharia que os possibilitam operar com os mínimos riscos a saúde pública e ao ambiente em geral. Os riscos ambientais estão associados a contaminação por lixiviado no solo e na água, liberação de biogás para a atmosfera e risco de explosão pelo biogás confinado sem a devida drenagem.

Como forma de minimização dos riscos algumas medidas são adotadas na implantação e operação de um aterro sanitário, são elas: (TCHOBANOGLIOUS, THIESEN & ANDERSEN, 1977)

- Escolha do local: Dados que devem ser considerados na avaliação do potencial de escolha incluem área viável para construção, distância de centros urbanos, condições do solo e topografia, condições climáticas, distância de cursos de água

- Preparo da área: Terraplanagem seguida de impermeabilização com mantas de Polietileno de Alta Densidade (PEAD), para proteção do lençol;
- Drenagem de lixiviado: Construção de canaletas horizontais, na base do local destinado a deposição dos resíduos, para o escoamento do lixiviado causado pela degradação da matéria orgânica e infiltração da água pluvial;
- Drenagem de biogás: Construção de dutos verticais, e em alguns casos horizontais também, para a fuga do biogás gerado na fase de degradação anaeróbia da matéria orgânica;
- Drenagem da água pluvial: Construção de canaletas que circundam o maciço a fim de desviar a água da chuva para que não haja excesso de umidade dentro das células;
- Operação: Dispor e compactar diariamente o lixo na forma de células, com técnicas corretas para evitar recalques, recobrir diariamente o resíduo com uma camada de terra de aproximadamente 30cm, para evitar a presença de vetores como ratos, urubus e outros;

A recorrente figura 4 a seguir ilustra as fases de operação de um aterro até o encerramento completo das atividades de disposição.



**Figura 4 - Etapas das atividades de um aterro.**  
 FONTE: D'almeida & Vilhena, 2000.

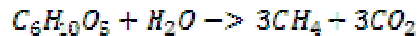
## 2.2 Produção de Biogás

### 2.2.1 Produção de Biogás no Aterro

Os resíduos sólidos urbanos podem gerar uma grande quantidade de gás durante sua degradação. A geração de biogás a partir do aterro sanitário é um processo biológico, no qual, microorganismos decompõem os resíduos orgânicos para produzirem dióxido de carbono, metano e outros gases.

O biogás é composto por alguns gases que estão presentes em larga escala (chamados de gases principais) e inúmeros gases presentes em pequena escala (chamados de gases traço). Os gases principais produzidos pela decomposição da fração orgânica do RSU são metano (CH<sub>4</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Uma simples representação da equação da degradação da celulose, segue abaixo, como exemplo da reação química de decomposição da matéria orgânica:

#### Equação 1 - Degradação da celulose



Alguns dos gases traços, apesar de presentes em pequenas quantidades, podem ser tóxicos e apresentarem riscos para saúde pública. (MCBEAN, ROVERS, & FARQUHAR, 2005)

A produção do biogás no aterro ocorre em diferentes fases, como mostrado na figura 5, a seguir.

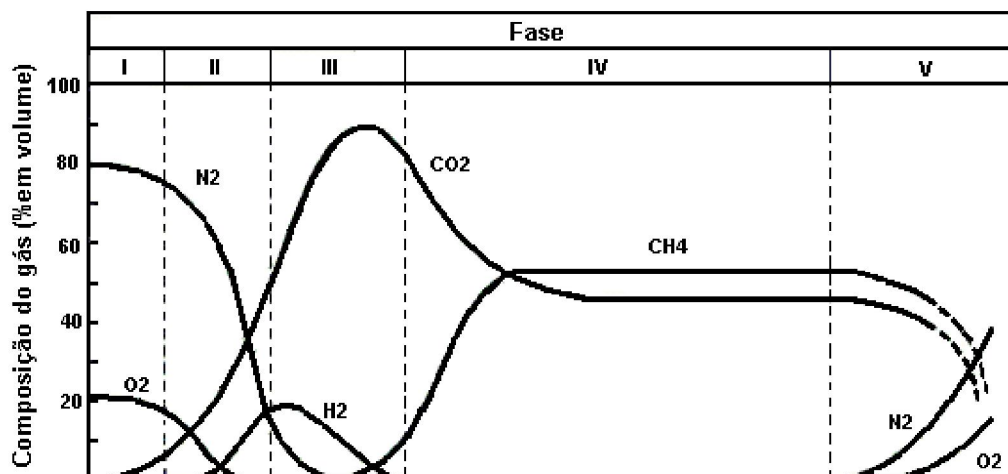


Figura 5 - Concentração de gases de acordo com as fases, em função do tempo  
 FONTE: Tchobanocloud, Thiesen & Vinil, 1993

Descrição das Fases de acordo com McBean, Rovers & Farquhar (2005).

- Fase I – Aeróbica: O oxigênio que foi depositado juntamente com o resíduo é consumido na fase aeróbica. Então, por causa do oxigênio limitado dentro da célula, a fase aeróbica da biodegradação dura apenas alguns dias (um pouco mais se o resíduo estiver seco). Nesta fase ocorre um incremento na temperatura do resíduo disposto entre 10 °C e 20°C. Este incremento de temperatura pode ser mais elevado se houver umidade, também, elevada.
- Fase II – Anóxica, Não Metanogênica: Durante a fase II, ocorre o crescimento exagerado de CO<sub>2</sub>, resultado da fermentação ácida. Também existe a formação de gás hidrogênio. Ocorre o decaimento acentuado de H<sub>2</sub>. A duração desta fase dura em torno de 11 dias, em situações saturadas e ocorre a produção de 70% do CO<sub>2</sub> em volume.
- Fase III – Anaeróbica, Metanogênica Instável: A produção de metano inicia na fase III. O tempo necessário para que o CH<sub>4</sub> atinja 50% do volume, nesta fase, é de no máximo 3 meses nos casos de resíduos úmidos. E no caso de resíduos secos, talvez, nunca atinja 50%.

- Fase IV – Anaeróbica, Metanogênica Estável: Durante a fase IV a produção de metano continua entre 40% a 70% em volume. Eventualmente pode ocorrer o declínio da produção do metano caso o resíduo orgânico, da unidade base, se esgote. Contudo a lenta degradação de produtos orgânicos pode produzir CH<sub>4</sub> por décadas (ex. celulose orgânica como madeira e papel). Há vários relatos de CH<sub>4</sub> sendo produzido por mais de 30 anos, porém com quantidade reduzida.
- Fase V - grande quantidade de material orgânico foi biodegradado e convertido em CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>. Segundo Tchobanoglous, Theisen e Vinil (1993), como a umidade continua a migrar pela massa de lixo, porções de material biodegradável, ainda não convertidos, acabam reagindo. Contudo, a taxa de geração diminui drasticamente. Esta fase tem duração de 1 a 40 anos ou mais, temperatura inferior a 30°C. O pH varia entre 7,0 e 7,2.

### 2.2.2 Composição do Biogás

O biogás de aterros sanitários, geralmente, são compostos por quantidades parecidas de Metano (CH<sub>4</sub>) e Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>). Porém uma análise mais detalhada traz uma quantidade maior de CH<sub>4</sub>. O gás metano, assim como o gás carbônico, é listado pelo Inventário de GEE como gás com potencial de aquecimento global. No caso do CH<sub>4</sub>, 21 vezes maior que o CO<sub>2</sub>. (CETESB, 2006)

A tabela 6, na sequência, traz um resumo da constituição típica de gases no biogás gerado em aterros sanitários de RSU.

**Tabela 5 - Constituição dos gases no biogás**

<b>Componentes</b>	<b>Porcentagem</b>
Metano CH <sub>4</sub>	45 a 58
Dióxido de Carbono CO <sub>2</sub>	35 a 45
Nitrogênio N <sub>2</sub>	<1 a 5
Oxigênio O <sub>2</sub>	<1 a 5
Hidrogênio H <sub>2</sub>	<1 a 5
Vapor de Água H <sub>2</sub> O	1 a 5
Constituintes Traço*	<1 a 3

### **Metano (CH<sub>4</sub>)**

O metano é subproduto da decomposição anaeróbica. É um gás incolor, inodoro e insípido. Mais leve que o ar, relativamente insolúvel e pode ser altamente explosivo em concentrações entre 5% e 25% no ar, “a faixa explosiva”.

### **Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)**

O Dióxido de Carbono é subproduto de ambas as fases aeróbica e anaeróbica. É também incolor e inodoro, porém mais pesado que o ar, não combustível e altamente solúvel em água. Em técnicas de beneficiamento do biogás, a retirada do CO<sub>2</sub> é feita passando o biogás na água, e assim, retirando o CO<sub>2</sub> que ficou dissolvido no líquido. O CO<sub>2</sub> irá aumentar a dureza da água e abaixar o pH.

### **Nitrogênio (N<sub>2</sub>) e Oxigênio (O<sub>2</sub>)**

Os dois gases são freqüentemente encontrados em amostras de biogás de aterros. A presença deles é o resultado da entrada de ar pela camada de cobertura, vazamentos de ar nos drenos de biogás, entradas de ar durante coletas de amostras de biogás, ou como resultado de sucção ou recalque de bombas para drenar lixiviado. Normalmente os dois gases juntos somam menos que 10%. Se há a presença em proporções maiores que a citada anteriormente, pode indicar o vazamento de ar nos coletores de gás.

### **Hidrogênio (H<sub>2</sub>)**

Nos aterros, o hidrogênio é produzido somente durante a decomposição aeróbica e nos estágios iniciais da decomposição anaeróbica. Se o hidrogênio se apresentar maior que os constituintes traço em um aterro maduro, pode ocorrer de o aterro não estar atendendo a fase madura de geração de biogás. Estas variações serão abordadas no sub-capítulo seguinte.

## **Vapor de Água**

O biogás é geralmente saturado de vapor de água. O vapor vem da água presente nos resíduos, e também da água da chuva infiltrada nas células do aterro. O vapor de água presente no biogás é o componente primário da condensação. Considerações devem ser feitas, para a operação e disposição adequados, sobre condensação, como parte dos esforços de manejo do biogás. De acordo com as medições em campo, o biogás presente no aterro estudado apresentava-se saturado de água, com 99% de umidade relativa.

## **Constituintes Traço**

O biogás também contém pequenas quantidades (normalmente menos de 1%) de componentes orgânicos não-metano (NMOCs), assim como outros componentes. A presença desses gases se deve ao fato do resíduo contê-los antes de descartado no aterro. Outrora, podem ser também resultados de processos naturais de decomposição no aterro, como no caso do gás sulfídrico ( $H_2S$ ) decorrente por causa da degradação de gesso. Existem mais de 150 gases diferentes, a maioria com concentrações em escalas de baixa magnitude, apresentados nas medições em partes por milhão (ppm) e, às vezes, partes por bilhão. (QIAN, KOERNER & GRAY, 2002).

### *2.2.3 Fatores que alteram a produção do Biogás*

A habilidade de gerar gases pelo aterro sanitário depende de vários fatores, incluindo entre eles composição do resíduo, umidade do material disposto, gravimetria do lixo, idade do resíduo, quantidade de resíduo depositado, altura da camada de resíduos, pH, temperatura e outros. A decomposição e a produção de gases podem chegar de 30 a 100 anos, mas na prática, elas ocorrem, em um nível elevado, por um período mais curto de tempo (MCBEAN, ROVERS, & FARQUHAR, 1995).

### 2.3 Produção de Energia através da queima do Biogás

De acordo com Silva e Cavaliero (2004), o interesse pela geração de energia a partir de fontes renováveis, principalmente as alternativas (energia solar, eólica e biomassa) vem experimentando uma nova fase de crescimento no Brasil. Até bem pouco tempo, o apelo ambiental era o único argumento utilizado para incentivar tais fontes, não sendo, no entanto, suficiente para atingir seu objetivo. Com a crise da energia elétrica e o plano de racionamento de 2001, chamou-se a atenção para um outro fator importante: a necessidade de diversificar as fontes de energia. Como resultados, vêm sendo criados mecanismos legais para regulamentar o uso destas fontes, tal como a lei que cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica, conhecido como PROINFA. Este programa tem como objetivos: incentivar a geração de energia elétrica a partir da energia eólica, da biomassa (entre elas o biogás dos resíduos sólidos) e de pequenas centrais hidroelétricas, diversificar a matriz energética do país e dar maior confiabilidade e segurança ao abastecimento elétrico.

Segundo Miguel (2009) o consumo crescente e o impacto ambiental causados pelas fontes de energia tradicionais levam o governo e a sociedade a pensar em novas alternativas para geração de energia elétrica. Segundo o Balanço Energético Nacional (MME, 2003), mais de 70 % da matriz energética do Brasil é renovável, enquanto a média mundial não chega a 14 %. No entanto, 90 % da energia elétrica renovável do país é gerada em grandes usinas hidrelétricas, o que provoca grande impacto ambiental, tais como o alagamento dessas áreas, onde a água fica represada, e a conseqüente perda da biodiversidade local. Os problemas sociais não são menores com a remoção de famílias das áreas atingidas. Atualmente a energia hidrelétrica é considerada uma fonte de energia renovável, porém não se descarta o imenso impacto causado na fauna, flora e, não menos importante, nas comunidades locais que habitavam locais, hoje, alagados.

Para o mesmo autor, diante deste cenário, as fontes alternativas de energia como além de causarem impactos ambientais menores, ainda evitam a emissão de toneladas de gás carbônico na atmosfera. Dentre as fontes alternativas citadas, enquadra-se a utilização do biogás proveniente da decomposição dos resíduos sólidos urbanos como uma fonte alternativa da biomassa.

As oportunidades começaram a surgir para este tipo de projeto no mercado internacional com os projetos da Vega Bahia e Nova Gerar, que tiveram a metodologia



de linha de base aprovadas no Painel metodológico do MDL. O Projeto Nova Gerar pretende evitar cerca de 11,8 milhões T CO<sub>2</sub> no período 2003/2023 e o da Vega Bahia cerca de 14,5 milhões T CO<sub>2</sub> no período 2003/2019. Baseado nos dados dos PDDs desses projetos pode-se então estimar que para o primeiro período de crédito o projeto Nova Gerar evita cerca de 0,220 milhões T CO<sub>2</sub>/ano e o Vega Bahia 0,653 milhões T CO<sub>2</sub>/ano. Uma outra iniciativa já em andamento é a geração de energia elétrica pelo Consórcio Biogás no aterro Bandeirantes, com uma estimativa preliminar de cerca de 1,4 milhões T CO<sub>2</sub>/ano evitadas, considerando o primeiro período de crédito. Dados do PROINFA disponível no site do Ministério de Minas e Energia.

## **2.4 Projetos de MDL**

### *2.4.1 Introdução ao assunto MDL*

De acordo com Chan (2006), o Protocolo de Quioto surgiu em 1997, na cidade de Quioto – Japão, durante a realização do COP-3 (Conferência entre as Partes III) quando fora apresentado um projeto que transformava as reduções voluntárias em obrigatórias. Com o surgimento do Protocolo de Quioto, os países pertencentes ao Anexo I (países desenvolvidos) teriam até 2008 para reduzir suas emissões de GEE em relação ao ano de 1990. Sendo que essas reduções deveriam ser comprovadas entre os anos de 2008 e 2012. Em março de 2001, os Estados Unidos declararam oposição ao protocolo alegando que a redução nas emissões comprometeria o desenvolvimento do país e declarando-o falho por isentar os países em desenvolvimento da redução ou limitação de emissão de gases. O tratado entrou em vigor no dia 16 de fevereiro de 2005, após diversos impasses, mais precisamente, após a ratificação da Rússia no dia 18 de novembro de 2004.

Os países integrantes do Anexo I estão listados na tabela 7, abaixo, bem com suas metas de redução.

**Tabela 6 - Países integrantes do Anexo I**

<i>Países integrantes do Anexo I do Protocolo de Quioto</i>	<i>Metas de Emissão de CO2</i>
Áustria, Bélgica, Bulgária, República Tcheca, Dinamarca, Estônia, Comunidade Européia, França, Alemanha, Grécia, Itália, Liechtenstein, Lituânia, Luxemburgo, Mônaco, Finlândia, Portugal, Eslováquia, Eslovênia, Espanha, Países Baixos, Irlanda, Romênia, Suécia, Suíça, Letônia, Reino Unido da Grã Bretanha e Irlanda do Norte	-8%
Estados Unidos*	-7%
Canadá, Hungria, Japão e Polônia	-6%
Croácia	-5%
Nova Zelândia, Federação Russa, Ucrânia	0%
Noruega	1%
Austrália	8%
Islândia	10%

\* País que não ratificou o Protocolo de Quioto

Tabela 1 - Anexo I e metas de emissão<sup>1</sup>

No Protocolo de Quioto foram definidos três mecanismos para auxiliar os países a reduzirem suas emissões de GEE:

→ Implementação Conjunta (IC): é prevista no artigo 6º do tratado, que é estabelecido que somente os países do Anexo I podem fazer o uso deste mecanismo. A IC tem como objetivo permitir que os países possam adquirir ou transferir de qualquer outro país do Anexo I unidades de redução de emissões resultantes de projetos que visem reduções das emissões antrópicas por fontes ou aumento das remoções antrópicas por sumidouros.

→ Comércio Internacional de Emissões (CIE): é prevista no artigo 17º do Protocolo de Quioto, onde por meio dele os países do Anexo I poderiam negociar o limite de emissões com outros países com o objetivo de cumprir suas metas de redução.

→ Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL): é previsto no artigo 12º do tratado, sendo o único mecanismo que permite participação dos países emergentes. Com base neste artigo, os países em desenvolvimento poderiam se beneficiar de investimentos oriundos de países do Anexo I para a implantação de projetos de controle de emissões e o desenvolvimento sustentável, os quais dão origem aos Créditos de Carbono.

O instrumento de troca do MDL são as Reduções Certificadas de Emissões (RCE), que poderão ser utilizadas pelos países do Anexo I, mesmo quando implantadas em países em desenvolvimento, como comprovação da redução das emissões de GEE. Dessa forma os países desenvolvidos poderão comprar os créditos de carbono que corresponderão em abono nas suas metas de redução. As transações tem como moeda

padrão o carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e), quantidades de carbono, em quilogramas, correspondente ao gás que está não está sendo emitido (GUIMARÃES, 2007).

#### 2.4.2 MDL no Brasil e no mundo

Segundo Marchezi *et al.* (2008), o Brasil não tem compromissos formais de redução ou limitação de suas emissões antrópicas de GEE, no entanto, o Protocolo de Quioto se torna ferramenta importante para países em desenvolvimento porque possibilita a aplicação de responsabilidades comuns adotada na Convenção. Até o momento no Protocolo, que vigora desde 16 de fevereiro de 2005, cabe aos países industrializados assumirem os compromissos relativos ao controle de aquecimento global.

Este quadro de responsabilidade exclusiva dos países em desenvolvimento tende a sofrer alterações na próxima Conferência do Clima, que acontecerá em Copenhague nos dias 7 a 18 de dezembro de 2009.

Uma atividade de projeto entra no sistema do MDL quando o seu documento de concepção de projeto (DCP) correspondente é submetido para validação a uma Entidade Operacional Designada (EOD). Ao completar o ciclo de validação, aprovação e registro, a atividade registrada torna-se efetivamente uma atividade de projeto no âmbito do MDL. A figura 6 e 7 mostram o status atual das atividades de projeto em estágio de validação, aprovação e registro. Um total de 5340 projetos encontrava-se em alguma fase do ciclo de projetos do MDL, sendo 1.794 já registrados pelo Conselho Executivo do MDL e 3.546 em outras fases do ciclo. Como pode ser verificado nas figuras 5 e 6, o Brasil ocupa o 3º lugar em número de atividades de projeto, com 405 projetos (7,58%), sendo que em primeiro lugar encontra-se a China com 1987 (37,21%) e, em segundo, a Índia com 1422 projetos (26,63%) (CQNUMC, 2009).



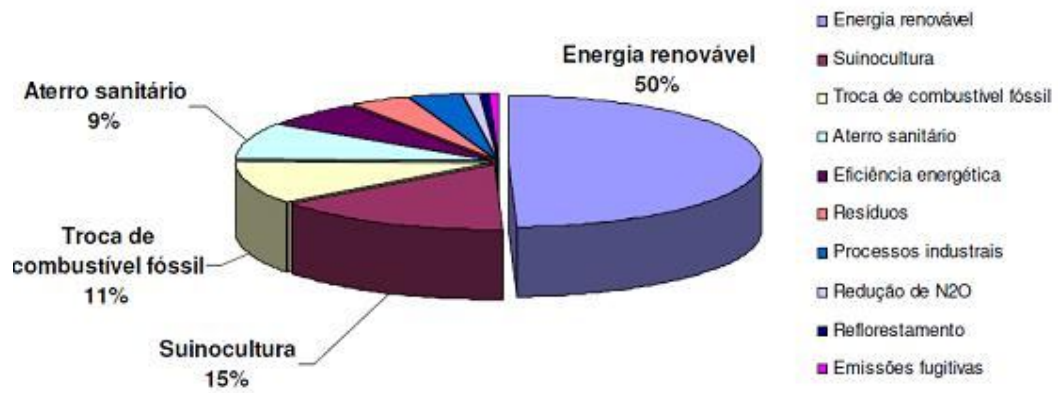


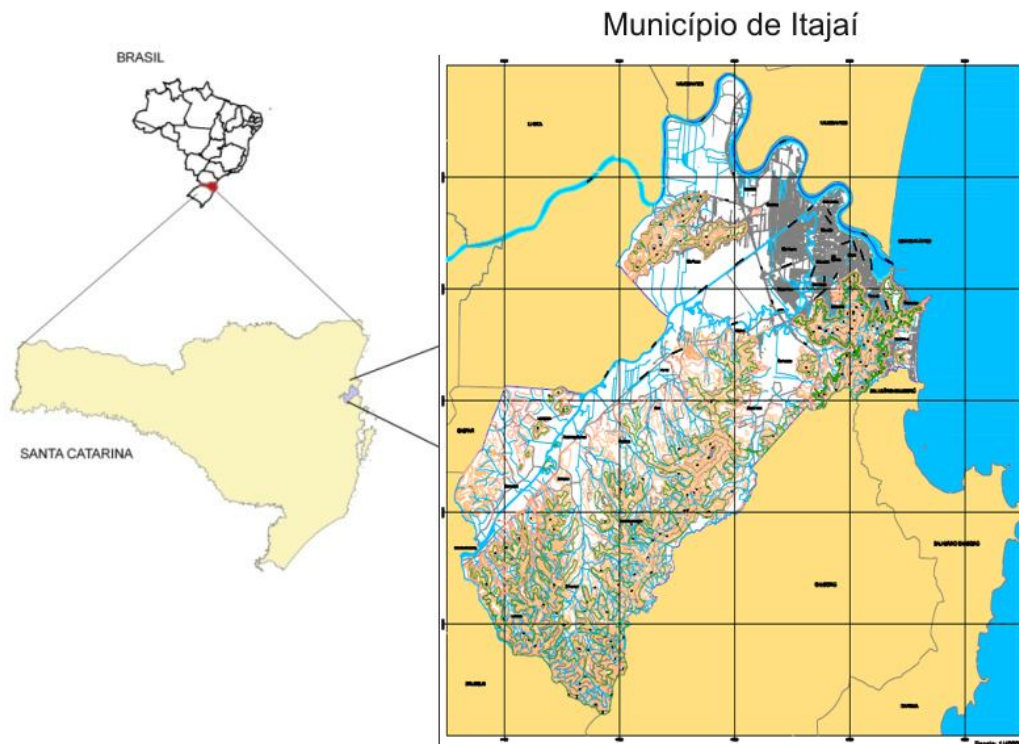
Figura 8 - Distribuição das atividades de projeto no Brasil por escopo setorial.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

No capítulo que segue serão apresentados os materiais e métodos utilizados para que os objetivos específicos fossem alcançados. Inicialmente será apresentado o local onde foi desenvolvida a pesquisa, nos itens seguintes serão apresentados os métodos, juntamente com os materiais, necessários em cada etapa.

#### 3.1 Local de Estudo

A metodologia deste trabalho foi empregada no Aterro Sanitário de Canhanduba, localizado na cidade de Itajaí, estado de Santa Catarina – Brasil. As coordenadas do local são 728173.76m E e 7013853.09m S, coordenadas no sistema métrico Universal Transversa de Mercator - UTM. A figura 9 é o mapa de localização da cidade.



**Figura 9 - Mapa de localização da cidade de Itajaí.**

O motivo da escolha foi devido a esta pesquisa fazer parte do projeto aprovado pelo CNPq, no âmbito do CT-Energ, destinado ao levantamento e aproveitamento do biogás gerado em aterros sanitários, bem como disponibilização do local de estudo pela empresa responsável pela operação do aterro sanitário de Canhanduba. Abaixo na figura

10, a foto aérea do aterro antes do início das atividades de deposição de resíduos no local de estudo, com a base preparada com material impermeabilizante, a manta de Polietileno de Alta Densidade (PEAD). A implantação do aterro foi realizada em uma área distinta do antigo lixão, observa-se que a área do aterro atual não sofreu impactos devido a disposição incorreta dos resíduos.



**Figura 10 - Foto aérea do Aterro Sanitário Canhanduba**  
FONTE: Foto cedida pela empresa AMBSC.

A figura 11 mostra um mapa elaborado a partir de foto de satélite adquirido de Google e modificado pelo Autor, encontra-se a área do antigo lixão a sudeste da nova etapa, e a etapa atual de disposição de resíduos. O local da etapa atual encontra-se com os drenos de biogás plotados através de georreferenciamento. A localização dos drenos foi adquirida em visita a campo com aparelho GPS, da marca Garmin, modelo eTrex. Abaixo esta um mapa criado por programa de geoprocessamento com imagem do Google modificada, para ilustrar a posição dos drenos do aterro sanitário em estudo.

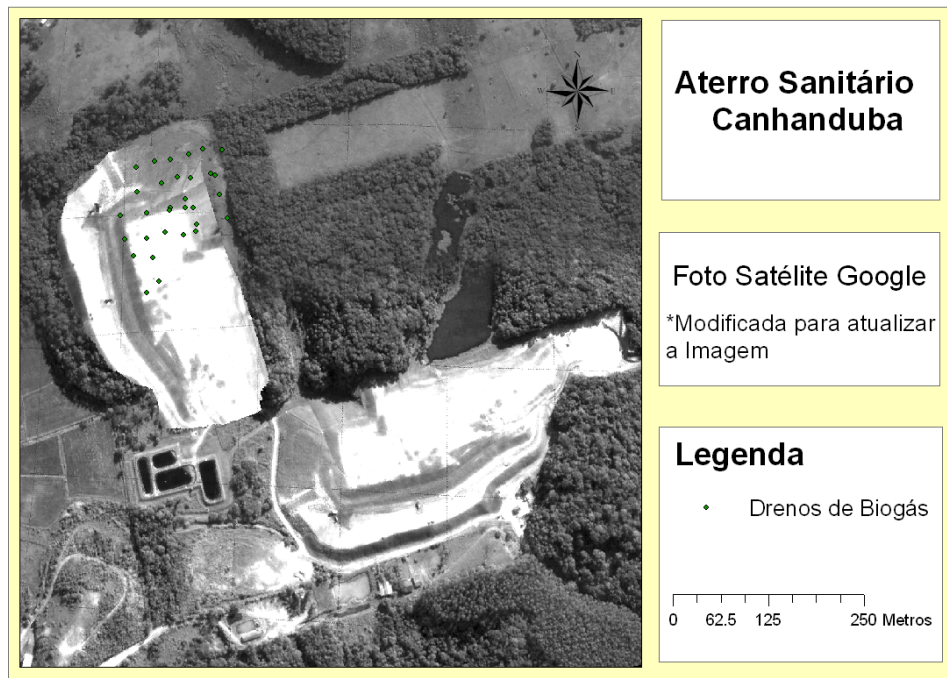


Figura 11 - Mapa do aterro com os drenos de biogás  
 FONTE: Imagem Google, Mapa Autor.

Localização dos drenos em planta cedida pela empresa AMBSC e modificada pelo autor. A imagem a abaixo é meramente ilustrativa, sendo que os drenos podem ser melhores observados no capítulo 8 (Anexo).



Figura 12 - Planta de CAD com posição dos drenos do aterro sanitário Canhanduba

### 3.1.1 Características do Aterro

Os dados sobre as características do aterro sanitário de Canhanduba foram coletados com a empresa gestora dos serviços de coleta e disposição.



Segundo Formighieri (2007) *apud* Relatório Mensal das Obras de Implantação do Aterro Sanitário Canhanduba (2005), a área onde foi implantado o Aterro Sanitário Canhanduba era inicialmente formada por vegetação em estágio médio de regeneração, vegetação de capoeirão, com sub-bosque dominado por bambus e samambaias. O bosque encontrava-se completamente pisoteado, resultado da constante entrada e circulação de animais domésticos, principalmente, gado bovino. O desmatamento foi realizado de maneira a evitar ilhas onde os animais ficassem isolados.

O recebimento de resíduos no aterro sanitário está explicitado na tabela 8, abaixo, cedida pela empresa AMBSC, responsável pelo aterro. O aterro foi implantado na área do antigo lixão da cidade de Itajaí, e recebe atualmente resíduos das cidades de Itajaí e da cidade vizinha, Balneário Camboriú. A empresa assumiu o controle do antigo lixão em 2003, fazendo a recuperação da área com técnicas de engenharia e transformando o antigo depósito em aterro sanitário. Os dados de deposição de resíduos datam de 2006, visto que este é o ano que se iniciaram as atividades na nova etapa do aterro, local onde foi realizada as medições, e também para o qual foi estimada a produção futura de biogás.

**Tabela 7 - Histórico de deposição de resíduos**

Mês/ano	Cidade		Total	Mês/ano	Cidade		Total
	Itajaí	BC			Itajaí	BC	
jul/06	2.134,5	1.466,0	3.600,5	dez/07	4.506,0	4.882,0	9.388,0
ago/06	4.395,0	2.871,0	7.266,0	jan/08	3.326,0	5.941,0	9.267,0
set/06	4.010,0	2.976,0	6.986,0	fev/08	4.364,9	4.746,0	9.110,9
out/06	4.308,0	3.380,0	7.688,0	mar/08	4.338,0	4.270,0	8.608,0
nov/06	4.294,0	3.481,0	7.775,0	abr/08	4.177,0	3.712,0	7.889,0
dez/06	4.627,0	4.609,0	9.236,0	mai/08	4.092,5	3.321,0	7.413,5
jan/07	4.788,0	6.109,0	10.897,0	jun/08	3.799,9	2.936,0	6.735,9
fev/07	4.729,0	4.442,0	9.171,0	jul/08	4.077,7	3.474,0	7.551,7
mar/07	5.053,0	4.190,0	9.243,0	ago/08	4.229,6	3.180,0	7.409,6
abr/07	5.008,0	3.651,0	8.659,0	set/08	4.020,7	3.281,0	7.301,7
mai/07	4.524,0	3.304,0	7.828,0	out/08	4.450,6	3.505,0	7.955,6
jun/07	4.154,0	3.074,0	7.228,0	nov/08	4.828,2	3.979,0	8.807,2
jul/07	4.145,0	3.036,0	7.181,0	dez/08	6.593,3	5.097,0	11.690,3
ago/07	4.020,0	3.034,0	7.054,0	jan/09	4.960,0	6.274,0	11.234,0
set/07	4.289,0	3.179,0	7.468,0	fev/09	6.038,4	5.083,0	11.121,4
out/07	4.583,0	3.635,0	8.218,0	mar/09	5.852,1	4.708,0	10.560,1
nov/07	4.248,0	3.624,0	7.872,0	<b>TOTAL</b>		<b>142.043,9</b>	

A vida útil do aterro é de 23 anos, segundo informações da AMBSC e segundo cálculos apresentados no estudo de Formighieri (2007). No capítulo final, anexos, está a

figura retirada do trabalho de Formighieri e cedida pela Famaí (Fundação Municipal de Amparo ao Meio Ambiente de Itajaí) que ilustra as 4 fases do aterro sanitário Canhanduba.

### 3.2 Estimativa teórica de produção do biogás

#### 3.2.1 Levantamento de dados preliminares

O levantamento de dados preliminares foi realizado com o auxílio da própria empresa responsável pelo gerenciamento do aterro sanitário estudado. Os dados iniciais necessários para ser compilada a estimativa teórica de produção de biogás, são basicamente, os seguintes:

- Ano de Abertura e Fechamento do Aterro (Vida Útil do Aterro);
- Quantidade de Resíduos Disposta por Mês (Histórico do Aterro);
- Geração *per capita* e/ou Crescimento Populacional (Estimativa de deposição futura);
- Dados climáticos do local (índice de pluviosidade médio anual);

O dado referente ao crescimento populacional foi obtido com dados da Prefeitura Municipal de Itajaí (PMI) no site do mesmo, enquanto os dados do índice pluviométrico foram compilados através da série histórica, obtida no site da Agência Nacional das Águas (ANA) da estação mais próxima ao aterro, localizada em Itajaí. Com os dados da série histórica encontrou-se a média anual de chuvas para a região.

#### 3.2.2 Métodos para geração da curva de produção

- Para a construção da curva de geração de biogás ao longo dos anos utilizou-se o método *decaimento de primeira ordem* por ser relativamente simples e objetivo. Este método de previsão da geração de biogás é um modelo de primeira ordem que considera que há uma fração constante de material biodegradável no aterro por unidade de tempo. O modelo é definido pela Equação 2 (DIAS, 2009).

**Equação 2 - Decaimento de Primeira Ordem**

$$Q_{CH_4} = L_0 R (e^{-kc} - e^{-kt})$$

Onde:

- $Q(\text{CH}_4)_i$  = Produção de gás metano no ano corrente ( $\text{Nm}^3/\text{ano}$ );
- $k$  = Constante da geração de metano ( $\text{ano}^{-1}$ );
- $L_0$  = Potencial da geração de metano dos resíduos ( $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{t}$ );
- $R$  = Taxa de deposição média anual de resíduo durante a vida útil do aterro ( $\text{t}/\text{ano}$ );
- $c$  = Tempo desde o fechamento do aterro, ano ( $c = 0$  para aterros ativos);
- $t$  = Tempo desde o início de deposição do resíduo, ano.

Os valores de massa de resíduos depositados no aterro, após o ano de estudo, foram estimados considerando um aumento de 2% em relação ao ano anterior. O valor é o mesmo utilizado por Dias (2009) e que fora sugerido pelas empresas responsáveis pelos aterros do referido estudo, este valor fica próximo a taxa de crescimento da população da cidade de Itajaí, que é de 2,24%.

Em relação à constante de decaimento ( $k$ ) e ao potencial de geração de metano ( $L_0$ ) foram adotados 3 cenários com valores distintos para o cálculo da estimativa teórica de produção de metano. No cenário inicial utilizaram-se os dados sugeridos pela USEPA (1991) e o segundo cenário recebeu os dados propostos por ESMAP (2004). No terceiro, e último, cenário os dados utilizados são referentes as condições climáticas locais e as características dos resíduos sólidos recebidos pelo aterro. As faixas de valores referentes ao cenário 3 são sugeridas por ESMAP (2004) e referem-se a um índice pluviométrico anual maior que 1000mm e os resíduos moderadamente degradáveis. A tabela 9, abaixo, mostra os valores adotados para cada cenário.

**Tabela 8 – Cenários propostos com diferentes valores para os coeficientes K e  $L_0$**

Cenários	Valores	
	$k$ ( $\text{ano}^{-1}$ )	$L_0$ ( $\text{m}^3/\text{ton}$ )
1	0,04	100
2	0,06	170
3	0,06	180

Justifica-se a escolha dos dados do terceiro cenário por meio dos dados obtidos junto às séries históricas de estações pluviométricas da cidade de Itajaí e também por meio de dados repassados pela funcionária do Ciram/EPAGRI, Vera Lúcia. A precipitação média anual da cidade de Itajaí é de 1700mm. O estudo da composição

gravimétrica do aterro sanitário de Canhanduba aponta proporções de material altamente biodegradável, matéria orgânica, papel e papelão, na ordem de 4,76, 8,24 e 37,27 respectivamente. Resultando em um total de 50,27% valor este inferior que a maioria das cidades listadas na tabela 2.

Na apresentação dos resultados será plotado junto à curva de geração de biogás as medições em campo para analisar qual cenário adequou-se melhor aos valores reais do aterro.

Considerou-se que os drenos de biogás do aterro em estudo coletam 75% das emissões de gases, valor este proposto Abreu *et al.* (2006).

### 3.3 Caracterização dos gases medidos nos drenos

A caracterização dos gases foi feita qualitativamente e quantitativamente. A análise qualitativa partiu das medições de concentração dos gases presentes no biogás, enquanto a análise quantitativa foi realizada com base nas medições de velocidade e temperatura, sendo posteriormente convertidas em vazão.

As medições das concentrações dos gases presentes no biogás foram realizadas através de um aparelho medidor de concentração modelo X-am 7000 da marca alemã Dräger. O aparelho capta as concentrações a partir de sensores acoplados no interior do mesmo. Os gases de interesse foram metano (CH<sub>4</sub>), oxigênio (O<sub>2</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), também foi feita a medição de gás sulfídrico (H<sub>2</sub>S), importante na avaliação do processo de corrosão quando se busca a conversão de biogás em energia elétrica por meio de moto-gerador de combustão interna. Na figura 13, a seguir, encontra-se a ilustração do aparelho Dräger.



**Figura 13 - Equipamento de medição de concentração, marca Dräger.**

As vazões de biogás nos drenos foram obtidas com dados de velocidade e temperatura do gás, mensurados em campo, considerando as Condições Normais de Temperatura e Pressão (CNTP), recomendadas pela IUPAC (*International Union of*

*Pure and Applied Chemistry*) e apresentada por Mills et al. (1993), conforme a equação 3.

**Equação 3 – Vazão de gases para condições normais de temperatura e pressão (CNTP)**

$$Q = (V \times A) \times \frac{273,15}{273,15 + T} \times \frac{P}{P_{CNTP}}$$

Sendo que:

- Q é a vazão de biogás, em Nm<sup>3</sup>/s;
- V é a velocidade de saída do biogás, em m/s;
- A é a área da seção de passagem do biogás, em m<sup>2</sup>;
- T é a temperatura do biogás na saída do dreno, em °C;
- P é a pressão atmosférica, em bar;
- P<sub>CNTP</sub> é a pressão do gás na saída do dreno, em bar;

O aparelho utilizado para a mensuração de velocidade e temperatura foi um Termo-Anemômetro digital com sensor de fio quente compensado da empresa Dwyer, modelo 471-2, ilustrado na figura 14 abaixo.



**Figura 14 - Aparelho termo-anemômetro utilizado em campo para medição de velocidade e temperatura**

### 3.3.1 Metodologia para a obtenção dos dados em campo

No aterro foram adotados alguns procedimentos para minimizar os erros na obtenção de dados de campo. Os erros poderiam ser agravados pela velocidade do vento, no caso da obtenção do valor de velocidade de escoamento do gás pelo dreno, e pela má vedação do dreno, no caso de medição da concentração de gases presentes no biogás.

Para ambos os casos descritos anteriormente os drenos foram isolados por uma lona plástica de 4,0m<sup>2</sup>, dimensões de 2,0m x 2,0m, com um orifício no centro de aproximadamente 0,2m de diâmetro. Os drenos presentes no aterro sanitário têm diâmetro interno de 0,5m e externo de 0,6m e para ser possível acoplar o bocal era necessária a disposição de um objeto circular de madeira com um orifício no centro. Este dispositivo de madeira tinha diâmetro de 0,6m para encaixar no dreno, e orifício de 0,3m para que o bocal fosse instalado.

Para tornar a seção conhecida, utilizou-se um bocal de vazão tipo  $\beta$  reduzido (Figura 15) seguindo as recomendações da *American Society of Mechanical Engineers* (DELMÉE, 1982). A peça moldada foi fixada em um tubo de PVC de 200 mm de diâmetro com parafusos nas laterais os quais servem para fixar o bocal nos drenos a serem estudados. Na saída do bocal, com diâmetro de 80 mm, foi feito um furo lateral de 12 mm de diâmetro para a introdução do termo-anemômetro e obtenção dos valores de velocidades e temperaturas de cada dreno. Nesta saída do bocal o perfil de velocidades é uniforme facilitando a obtenção da velocidade dos gases produzidos.



**Figura 15 - Medição de velocidade e temperatura com bocal reduzido.**

Após a obtenção dos dados com o termo-anemômetro, o tubo de PVC era recolhido e no bocal era acoplado um “cap” de PVC, para evitar perda por escape dos gases, com um orifício no centro de aproximadamente 2cm. Neste orifício era acoplada a mangueira do aparelho Dräger, que fazia a sucção dos gases para o aparelho e realizada a medição. De acordo com as especificações técnicas do aparelho, esperava-se 5 minutos para que o aparelho se estabelecesse e realizasse as medições de concentração de gases presentes no biogás. A figura 16, a seguir, ilustra o procedimento descrito neste item.



Figura 16 - Equipe medindo vazão do biogás, com dreno vedado, bocal com curva normalizada e utilizando o aparelho Dräger.

### 3.4 Determinação da potência disponível para geração de energia

Com dados da produção de metano foi possível calcular a potência disponível no aterro para a instalação de um gerador de energia elétrica, as equações utilizadas a seguir, bem como, as considerações de rendimento dos motores a combustão interna e da geração elétrica foram extraídas mediante consulta ao *software* “Biogás – Geração e Uso Energético” da CETESB.

Para a realização da estimativa da potência elétrica disponível através do metano, utilizou-se a equação 4, abaixo.

**Equação 4 - Potência elétrica a partir do biogás**

$$Pot_{ano} = \frac{Q_{metano} \times PCI_{metano} \times 4.1868}{31.536.000} \quad (3)$$

Onde:

- $Pot_{ano}$  é a potência disponível a cada ano, em kWh/h;
- $Q_{metano}$  é a vazão do metano a cada ano,  $Nm^3 CH_4/ano$ ;
- $PCI_{metano}$  é o poder calorífico inferior,  $8.600 kcal/m^3 CH_4$ ;
- 4,1868 é o fator de conversão de kcal (quilo caloria) para kJ (quilo Joule), sendo que  $kJ/s = kWh/h$ ;
- 31.536.000 é o fator de conversão (s/ano);

A potencia disponível para o aproveitamento elétrico é realizada pela mesma fórmula, porém adicionando os fatores de eficiência do motor de combustão interna e do gerador elétrico. A fórmula está apresentada na equação 5, abaixo.

**Equação 5 - Potência elétrica útil por ano**

$$Pot_{ano} = \frac{Q_{metano} \times PCI_{metano} \times 4,1868}{31.536.000} \times \eta_{motor} \times \eta_{elétrico}$$

Onde:

- $Pot_{ano}$  é a potência disponível a cada ano, em kWh/h;
- $Q_{metano}$  é a vazão do metano a cada ano,  $Nm^3 CH_4/ano$ ;
- $PCI_{metano}$  é o poder calorífico inferior,  $8.600 kcal/m^3 CH_4$ ;
- 4,1868 é o fator de conversão de kcal (quilo caloria) para kJ (quilo Joule);
- 31.536.000 é o fator de conversão (s/ano);
- $kJ/s = kWh/h$ ;
- $\eta_{motor}$  é o rendimento do motor, 30%;
- $\eta_{elétrico}$  é o rendimento do gerador elétrico, 90%;

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo abordará os resultados obtidos com a pesquisa no aterro sanitário e as discussões sobre os mesmos. Os resultados apresentados tratarão sobre a estimativa teórica da produção de biogás ao longo dos anos, o potencial de geração de energia



elétrica através de um gerador e a caracterização qualitativa e quantitativa do biogás analisado através das campanhas feitas em campo.

#### 4.1 Dados preliminares do aterro

Os resultados referentes ao levantamento dados são descritos na tabela 10, a seguir. Os dados foram obtidos junto a empresa que gerencia o aterro sanitário, a Agência Nacional das Águas (ANA) e a Prefeitura Municipal de Itajaí (PMI).

**Tabela 9 - Levantamento de dados locais**

Média de deposição mensal relatada pela empresa	8.345,9	ton
Precipitação média anual na cidade de Itajaí	1700	mm
Ano de abertura do aterro	2006	
Ano de fechamento do aterro	2029	
Crescimento da população na cidade de Itajaí	2,24	%

A projeção de recebimento de resíduos até o ano de encerramento das atividades de deposição de resíduos no aterro sanitário de Canhanduba foi realizada com um incremento de 2% ao ano e os resultados se encontram na tabela 11, a seguir.

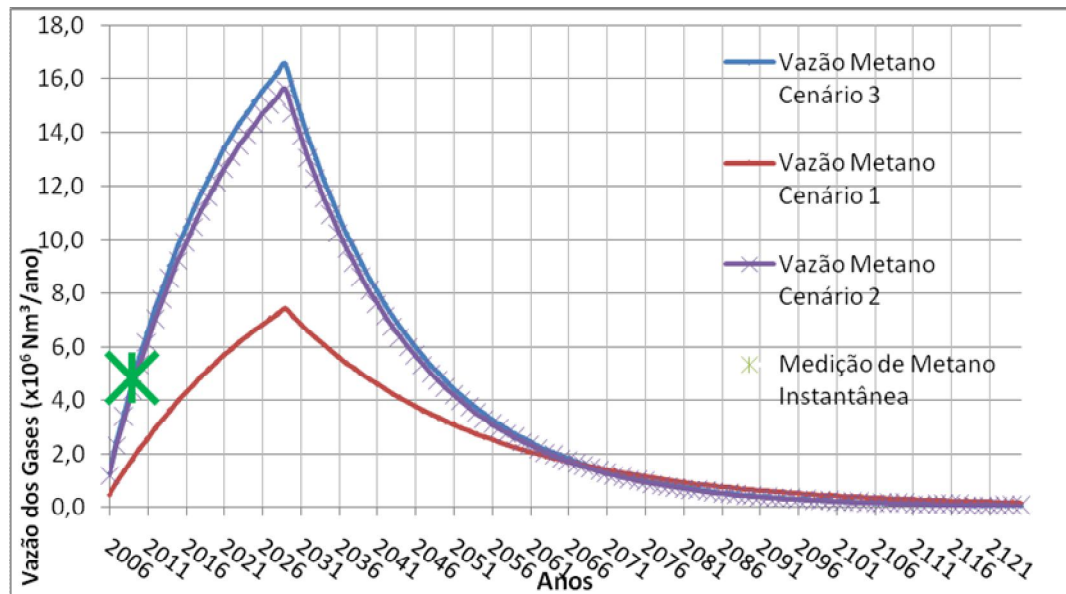
**Tabela 10 - Projeção do recebimento de resíduos até o ano de fechamento do aterro, e o volume de resíduos acumulados**

Ano	Resíduos/T/Ano ton	Acum. ton	Ano	Res/Ano ton	Acum. ton
2006	42.551,5	42.551,5	2018	122430,2	1.352.883,7
2007	100.207,0	142.758,5	2019	125172,6	1.478.056,3
2008	99.740,4	242.498,9	2020	127976,5	1.606.032,8
2009	100.300,0	342.798,9	2021	130843,2	1.736.876,0
2010	102546,7	445.345,6	2022	133774	1.870.650,0
2011	104843,8	550.189,4	2023	136770,6	2.007.420,6
2012	107192,3	657.381,7	2024	139834,2	2.147.254,8
2013	109593,4	766.975,0	2025	142966,5	2.290.221,4
2014	112048,3	879.023,3	2026	146169	2.436.390,4
2015	114558,1	993.581,4	2027	149443,2	2.585.833,5
2016	117124,2	1.110.705,7	2028	152790,7	2.738.624,2

2017	119747,8	1.230.453,5	2029	156213,2	2.894.837,4
------	----------	-------------	------	----------	-------------

#### 4.2 Estimativa teórica da produção de gases

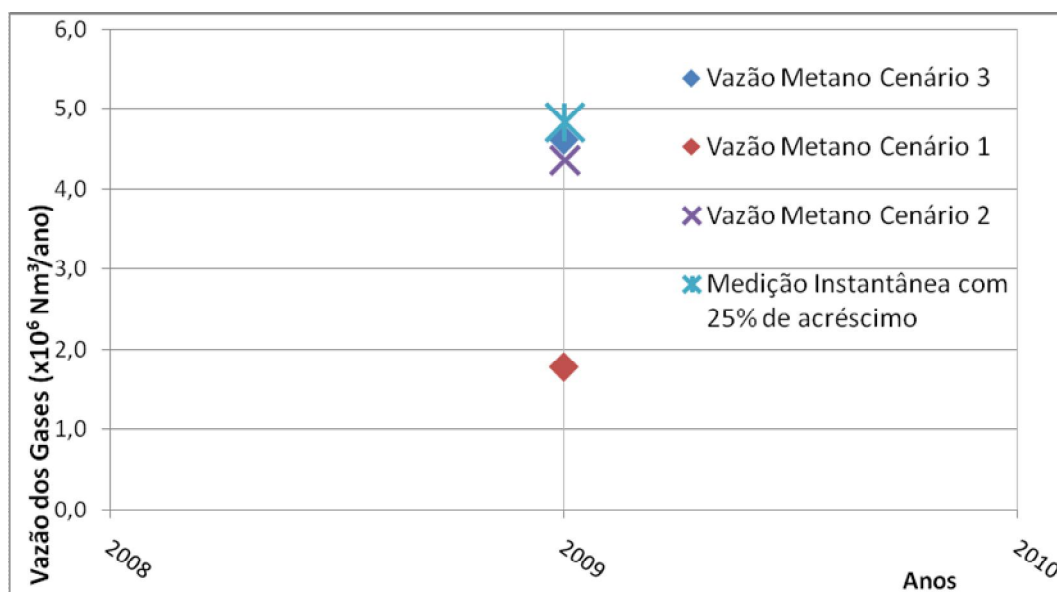
Pela estimativa teórica observou-se o comportamento da produção de metano no Aterro Sanitário de Canhanduba desde o ano de abertura, 2006, até o ano de 2125. Os resultados formam a curva de produção de metano apresentada no gráfico 1, na seqüência.



**Gráfico 1 - Curva de geração de metano no aterro, de acordo com os diferentes cenários adotados**

De acordo com a tabela 7, apresentada no capítulo 3, Item 3.2.2, os dados propostos pela USEPA são próximos aos adotados pelo autor, referentes a qualidade dos resíduos e condições climáticas locais. Isto explica a proximidade das curvas geradas pelo cenário 2 e 3. A medição em campo aproximou-se do cenário 3 quando considerado um acréscimo de 25% na medição. Este acréscimo explica-se pelo fato da drenagem de gases capturar em média 75% dos gases gerados pelo aterro. O restante dos gases é perdido por emissões fugitivas na camada de cobertura e falha na vedação nos drenos (Abreu *et al.* 2006).

No gráfico 2 abaixo, temos uma visão mais detalhada do resultado da medição da vazão instantânea em campo, juntamente com os 3 cenários propostos, referente ao ano de 2009.



**Gráfico 2 - Resultados dos cenários confrontados com a medição em campo, no ano de 2009**

#### 4.3 Medições em campo dos gases produzidos nos drenos

Foram realizadas 10 campanhas para análise da vazão e concentração dos gases efluentes de 28 drenos situados no aterro sanitário. A ilustração de localização dos drenos encontra-se no Anexo A, capítulo 9. Em alguns casos houveram problemas para a realização das medições, como por exemplo, drenos danificados pela ação prolongada do calor da queima do biogás, drenos em combustão, que não foi possível apagar a chama, e drenos que não apresentaram vazão de gás suficiente para que fossem realizadas as medições. De acordo com os dados coletados foi realizado o cálculo da vazão média de cada dreno, que resultou no dado de 798,46 Nm<sup>3</sup>/dia de biogás, totalizando uma vazão média de 22.356,76 Nm<sup>3</sup>/dia, no total dos drenos medidos no aterro. Finalmente, adotando esta média diária estimou-se para o ano de 2009 uma produção de, aproximadamente, 8 milhões de Nm<sup>3</sup>/ano.

Após as medições de vazão do biogás foi realizada a caracterização dos gases em relação a porcentagem de concentração dos gases presentes no biogás. A pesquisa focou no aproveitamento energético, sendo assim, o principal gás analisado foi o metano (CH<sub>4</sub>). Na tabela 12 a seguir encontram-se faixas de valores e o número de ocorrência de drenos medidos, totalizando 28 drenos. Os valores dispostos na coluna “faixa de valores” foram escolhidos de acordo com a bibliografia, que descreve um valor máximo

até 60%, um valor ótimo para aproveitamento energético entre 40% e 60% e as demais faixas de valores foram criadas para agrupar os drenos menos favorecidos de metano.

Os drenos que estão localizados entre 40% e 60% são os drenos localizados no centro do aterro e que também apresentam maior vazão de biogás.

**Tabela 11 - Número de ocorrência das porcentagens de metano presente no biogás**

Faixa de valores	Número de Ocorrência	Porcentagem
Acima de 60%	0	0,00%
de 40% - 60%	15	53,57%
de 20% - 40%	8	28,57%
de 10% - 20%	0	0,00%
de 0% - 10%	5	17,86%
Número de drenos medidos	28	100,00%

As medidas referentes as vazões de biogás e de metano nos drenos enumerados de 1 a 28 (Anexo A – capítulo 9) são apresentadas a seguir (Tabelas 13 e 14). Nas tabelas encontram-se as médias, desvios padrão e valores máximos e mínimos para cada dreno. Os cálculos de vazão total foram obtidos com a soma das vazões de cada dreno observado. Os valores de vazão de metano foram obtidos pelo produto entre as concentrações de metano e os valores de vazão de biogás para cada dreno através da média ponderada. Os valores obtidos em cada dreno por observação em campo encontram-se no nas tabelas de medição localizadas no Apêndice A.

Não foi possível realizar nenhuma medição no dreno número 27, este apresentou-se danificado durante todo o período de medição não possibilitando o acoplamento do material para vedação do dreno. A partir da terceira campanha este mesmo dreno apresentou-se danificado devido a alta temperatura ocasionada pela queima do biogás. Apesar de requisitado a administração do aterro, este dreno fora substituído por um novo, porém voltou a quebrar. Este fato se deve ao grande potencial de biogás gerado neste dreno.

Os drenos centrais 1,2,3,4,5,6,7,8 representam 43,6% da vazão média de biogás do aterro e 53,0% da vazão de metano. Destes drenos o que apresentou maior vazão de biogás e metano foi o dreno 8. O dreno que apresentou menor vazão de biogás também apresentou menor vazão de metano, e dentre estes foi o dreno número 4.

Quando considerados como drenos centrais apenas os drenos que não estão nas bordas do maciço, drenos 1 a 12 e 16,17,18, estes representam 77,3% da vazão de biogás e 86,1% da vazão de metano. Sendo que o dreno 8 continua com maior vazão, tanto de biogás quanto de metano. Dentre estes considerados, o dreno que apresentou menor vazão de biogás foi o dreno número 4, enquanto o dreno que apresentou menor vazão de metano foi o dreno 16.

**Tabela 12 – Dados médios das medições de vazão do biogás produzido nos drenos**  
**Vazão Biogás (Nm<sup>3</sup>/dia)**

<b>Dreno</b>	<b>n</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Mínima</b>	<b>Máxima</b>
1	10	949,47	174,67	596,08	1222,85
2	10	1197,09	410,70	437,84	1832,80
3	10	1290,14	372,81	626,05	1957,18
4	7	752,70	230,20	437,19	1112,79
5	9	1147,71	334,16	674,02	1648,75
6	10	1468,55	628,72	841,98	2089,13
7	7	1265,94	172,63	973,28	1497,26
8	3	1665,68	352,45	1229,08	2092,23
9	10	971,40	215,81	714,72	1303,39
10	9	1133,78	244,27	657,86	1478,66
11	10	962,28	293,12	546,65	1410,16
12	4	1152,16	273,91	771,72	1405,49
13	4	379,37	135,15	215,92	575,71
14	5	430,32	139,96	304,49	703,51
15	4	375,85	87,39	271,69	473,78
16	2	1064,74	255,52	809,22	1320,26
17	4	1202,00	288,17	860,33	1622,36
18	6	1058,67	304,96	589,94	1469,28
19	7	212,37	107,01	86,60	371,11
20	10	494,74	132,59	237,67	653,08
21	9	310,49	84,93	189,94	448,06
22	10	324,49	86,15	228,37	505,97
23	5	163,78	112,12	55,42	325,41
24	2	852,23	263,23	589,00	1115,46
25	8	407,49	94,23	223,84	524,80
26	8	532,30	43,73	486,51	620,32
28	8	324,46	114,51	78,59	470,16
29	7	266,56	152,11	78,91	614,29
<b>Total</b>	<b>10</b>	<b>22356,76</b>	<b>6105,22</b>	<b>13812,88</b>	<b>30864,24</b>

Considerando todos os drenos medidos do aterro, o número 8 apresentou maior vazão média de biogás, bem como, de metano. Enquanto os drenos que apresentaram menor vazão de biogás e metano foram os números 23 e 19, respectivamente.

**Tabela 13 - Dados médios das medições de vazão de metano produzido nos drenos**  
**Vazão Metano (Nm<sup>3</sup>/dia)**

<b>Dreno</b>	<b>n</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Mínima</b>	<b>Máxima</b>
1	10	486,13	114,92	304,82	660,34
2	10	618,90	207,54	240,81	879,74
3	10	617,98	217,74	300,50	1076,45
4	7	306,45	100,93	179,25	480,68
5	9	642,72	203,40	363,97	1001,94
6	10	847,35	414,26	479,93	1149,02
7	7	761,37	109,38	574,24	898,35
8	3	921,68	301,68	516,21	1171,65
9	10	499,30	157,56	335,92	821,14
10	9	629,88	168,33	355,25	961,13
11	10	467,67	184,06	240,53	832,00
12	4	530,00	165,70	339,56	744,91
13	4	22,00	19,75	2,59	55,86
14	5	35,63	16,85	23,29	68,94
15	4	16,44	9,44	4,89	31,27
16	2	250,21	83,15	190,17	356,47
17	4	450,75	101,31	324,19	600,27
18	6	414,65	143,50	200,58	594,77
19	7	1,91	1,07	0,61	3,71
20	10	158,17	103,04	2,61	337,48
21	9	60,20	49,28	1,90	151,21
22	10	109,35	51,40	51,74	229,47
23	5	23,75	55,33	0,55	136,67
24	2	488,61	161,20	335,73	658,12
25	8	202,30	88,98	24,07	315,36
26	8	107,88	25,66	70,06	160,34
28	8	128,20	76,62	1,65	267,99
29	7	10,10	7,86	0,47	24,23
<b>Total</b>	<b>10</b>	<b>9809,57</b>	<b>3339,95</b>	<b>5466,08</b>	<b>14669,52</b>

Os coeficientes de variação (razão entre o desvio e a média) apresentaram-se menores nas medições de biogás quando comparados com as medições de metano. Para a medição de vazão média total de biogás o coeficiente de variação foi de 27,29% enquanto nas medidas de metano o coeficiente foi de 34,04%.

Quando analisados dreno a dreno, o coeficiente de variação apresentou um valor médio de 29,95% nos valores de vazão de biogás e 49,57% para os valores de vazão de metano. Este alto valor para as medidas de metano deve-se ao fato de que o dreno 23 apresentou coeficiente de variação de 233,03%. Uma variação deste porte se explica observando o valor mínimo de 0,56 Nm<sup>3</sup>/dia contra um valor máximo de 138,99Nm<sup>3</sup>/dia. O dreno 23 encontra-se num local periférico, drenando gases de um baixo volume de resíduos e ora apresentava vazão, ora apresentava-se quase inativo.

As vazões totais de biogás e de metano obtidas nos 10 ensaios, seus valores médios e os seus intervalos inferiores e superiores com 99% de confiança são apresentados a seguir (Gráfico 3 e 4). Para as amostragens realizadas, a média da extração de biogás do aterro sanitário de Canhanduba foi de 16.005,5 Nm<sup>3</sup>/dia com variação de 4.679,52 Nm<sup>3</sup>/dia. Já para a vazão de metano, obteve-se o valor médio de 7.386,00 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/dia com variação de 2.511,07 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/dia.

**Gráfico 3 – Análise da média de biogás medido no aterro durante 10 campanhas**

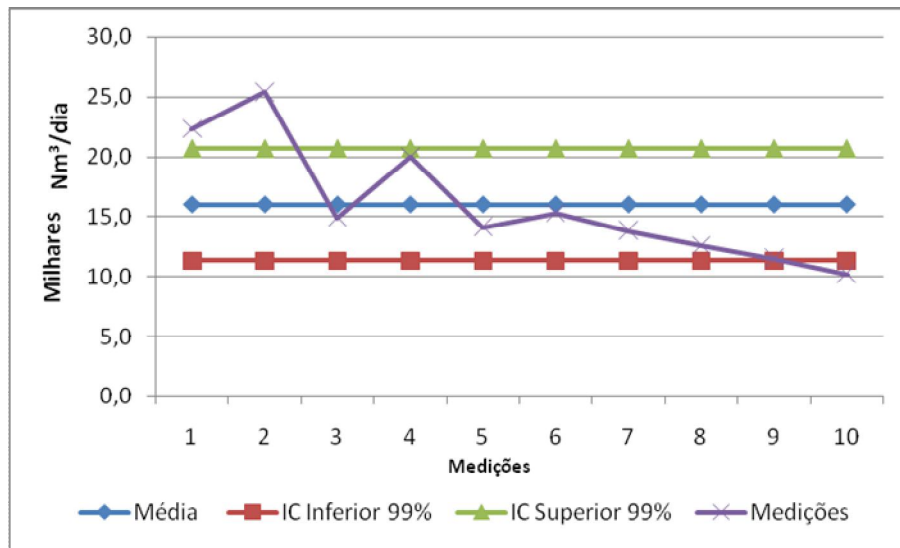
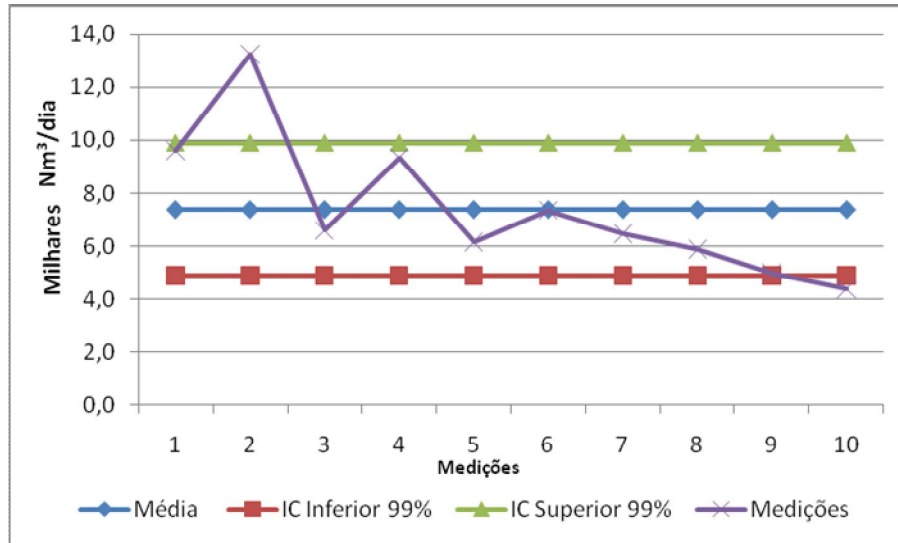


Gráfico 4 - Análise da média de biogás medido no aterro durante 10 campanhas

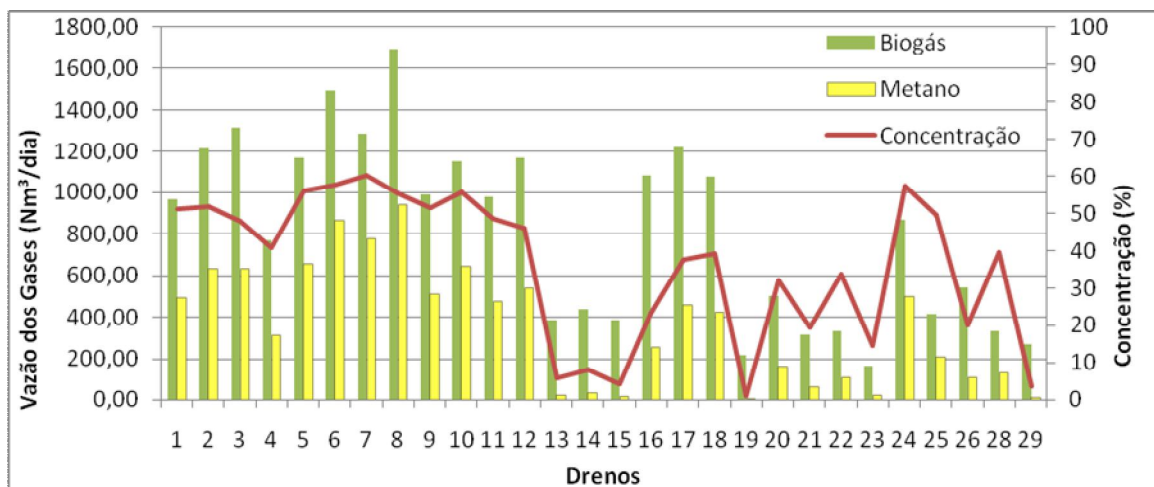


Considerando o total de resíduos depositados até o momento da pesquisa, juntamente, com a médias médias das vazões de biogás e a eficiência de coleta de 75%, temos o dado da taxa de geração atual de biogás do aterro sanitário Canhanduba aproximadamente de 57,68Nm<sup>3</sup>/T.ano. Esse valor é significativamente superior ao valor observado na literatura. Dias (2009) apresentou taxa de geração entre 24,7 Nm<sup>3</sup>/T para o aterro de Içara, valores superiores que os apresentados por Ensinas (2003) para o aterro Delta. Os valores obtidos no aterro Delta foram de 5,6 Nm<sup>3</sup>/T.ano.

Abaixo no gráfico 5, é possível analisar a relação que apresentam os drenos com alta vazão de biogás e consequentemente alta concentração de metano no biogás. Foi observado que os drenos centrais apresentam vazões superiores aos drenos periféricos, isto é resultante da influência dos fatores descritos anteriormente no capítulo de revisão bibliográfica, item 2.2.3.



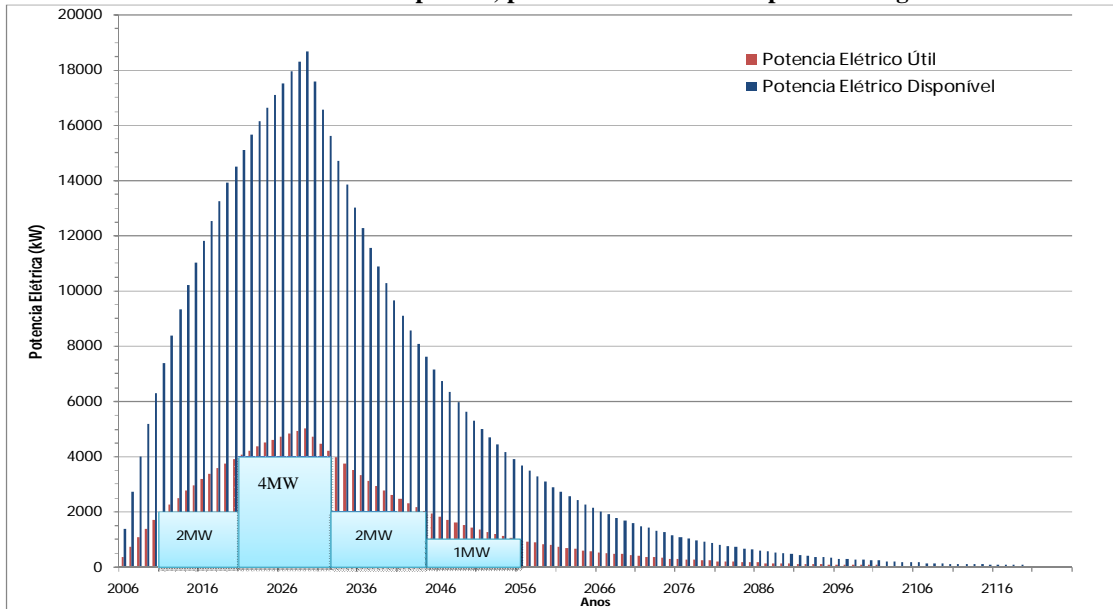
**Gráfico 5 - Vazões média de metano por dreno, concentração de metano em cada dreno e vazão de metano**



#### 4.4 Potência disponível para aproveitamento energético

Com base na curva de produção de metano gerada pelo método *decaimento de primeira ordem* pode-se avaliar, de acordo com a metodologia apresentada, a quantidade de energia disponível para utilização. Contudo, para o aproveitamento energético, neste caso, transformação do biogás em energia elétrica através da combustão interna em motor resultando no movimento do eixo ligado ao gerador, muitas perdas são acumuladas neste processo. Como citado anteriormente, a eficiência do motor é de 90% enquanto a eficiência do motor elétrico é de 30%, resultando em uma eficiência final do sistema de 27%. Com base nestes dados, o gráfico 6, abaixo, mostra a potência total que poderia ser extraída do biogás, desprezando as perdas. A potência útil indica o montante que pode ser usufruído com o sistema moto-gerador proposto. Já as barras inseridas na curva, indicam o gerador economicamente viável para ser utilizado e a potência a ser alcançada. Para que um projeto de geração de energia seja rentável, é necessário que o gerador seja utilizado, no mínimo, por 10 anos (Abreu et al. 2006).

**Gráfico 6 - Potência elétrica disponível, potência elétrica útil e a potência do gerador elétrico**



Com os dados obtidos para o aproveitamento energético, o início das atividades do gerador será em 2011 com uma potência de 2MW, que funcionará por 10 anos, abastecendo diariamente 2.880 residências. Ele será substituído em 2021 por um gerador com uma potência de 4MW. O gerador de 4MW produz energia pelos próximos 11 anos, e tem capacidade de atender 5.760 residências todos os dias. O gerador finalizará as atividades em 2032 e após esta data não será mais utilizado neste aterro. Após o ano de 2032 o gerador utilizado seria novamente de 2MW, funcionando por 12 anos até 2044 e após esta data deve ser substituído por um gerador com potência de 1MW que tem energia disponível, proveniente do biogás, para funcionar por 12 anos, até 2056. Este gerador abastecerá 1.440 residências diárias. Estes dados levam em conta o consumo de energia elétrica residencial de 250kWh/mês, a vida útil do aterro sanitário e a viabilidade econômica de compra e o funcionamento de 12 horas do conjunto moto-gerador.

Segundo os dados cedidos pelo Engenheiro Everton, engenheiro do aterro sanitário Canhanduba, o consumo do aterro é de aproximadamente 14.728kWh/mês. Mesmo com o menor gerador, de 1MW, a produção elétrica, se destinada exclusivamente para este fim, consegue suprir a demanda necessária para o aterro e pode dispor o excedente na rede elétrica, ou então, para a comunidade local.

De acordo com os estudos de viabilidade de implantação de uma usina geradora de eletricidade, a partir do biogás proveniente da degradação anaeróbia da biomassa

depositada no aterro sanitário, realizado por Valdin et al. (2006) a viabilidade se torna real quando o aterro sanitário utiliza esta atividade para gerar um projeto que receba um Certificado de Emissões Reduzidas (CER) e a partir disto consiga negociar créditos de carbono. Esta atividade tem maior rendimento financeiro quando comparado com projetos que apenas produzem energia elétrica para suprir a própria necessidade ou vender para a concessionária local de energia elétrica. Os procedimentos para a obtenção dos créditos de carbono foram descritos no capítulo 2.4, Item 2.4.1.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Na análise dos dados diários, a vazão média em cada dreno é de 798,46 Nm<sup>3</sup>/dia de biogás, sendo que o volume total médio produzido em um dia é de 22.356,8 Nm<sup>3</sup> de biogás, em relação a vazão de metano, pode-se observar que a vazão média diária é de 364,5 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/dia enquanto o total produzido em um dia é 10.570,9 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/dia. Contudo, na análise qualitativa, pode-se observar que mais da metade dos drenos apresentaram uma concentração de metano considerada boa para o aproveitamento energético, entre 40% e 60%.
- Em relação a estimativa teórica de geração de metano, os dados que mais se adequaram, com as medições das vazão instantânea, foram os dados do cenário 3, justamente os dados que levam em conta a qualidade do resíduo e as condições climáticas locais. Podendo-se concluir que estes fatores influenciam em grande parte a geração de biogás em aterros sanitários. Os coeficientes que sofreram alterações dentre os cenários foram  $LO$  e  $k$ , sendo que para o aterro sanitário Canhanduba, estes coeficientes são 180 e 0,06, respectivamente.
- A vazão máxima de metano no ano será de 16.544.623,4m<sup>3</sup>/ano, e isto acontecerá em 2029, ano de encerramento das atividades de deposição de resíduos no aterro. Os demais métodos encontram um pico na produção um ano após o encerramento das atividades do aterro, isto acontece devido a utilização do dado de depósito de resíduos, porém não acarreta em grandes erros nos demais cálculos.
- A geração de energia é uma solução adequada para a utilização do biogás dos aterros sanitários. Quando o aterro recebe insumos através de MDL, o investimento é pago pela empresa interessada na redução das emissões dos GEE.
- As perdas no sistema moto-gerador são altas, diminuindo muito o potencial de geração de energia elétrica. Pela fórmula apresentada para o cálculo da Potência útil, o rendimento do motor de combustão interna (90%) é multiplicado com o rendimento do motor elétrico (30%), resultando em uma eficiência final de apenas 27%. Estudos devem ser feitos para o aumento no rendimento do conjunto de geração de energia.

- Recomenda-se uma pesquisa detalhada em relação a viabilidade econômica do aproveitamento energético do biogás para o aterro sanitário Canhanduba.
- Recomenda-se, também, estimar a real potencialidade de produção de biogás do aterro sanitário Canhanduba através de ensaios BMP nos resíduos já depositados.
- Estimar a capacidade de aproveitamento da energia térmica disponível para evaporação do lixiviado.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, F. C.; PECORA, V.; VELÁZQUEZ; & COELHO, S. T.; *Biogás de aterro para geração de eletricidade e iluminação*. Universidade de São Paulo (USP), IEE/CENBIO – Instituto de Eletrotécnica e Energia / Centro Nacional de Referência em Biomassa. São Paulo, SP, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 10004: Resíduos sólidos - Classificação*. Rio de Janeiro, 2004. 63p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 8419: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos*. Rio de Janeiro, 1992. 7p.

BRASIL. Constituição Federal, 1988. *Constituição da República Federativa do Brasil, 1988*. São Paulo, Ed. Revista dos Tribunais, 1989.

BRASIL, Lei nº 10.438 de 26 de abril de 2002. *Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), dispõe sobre a universalização do serviço público de energia elétrica, dá nova redação às Leis n o 9.427, de 26 de dezembro de 1996, n o 9.648, de 27 de maio de 1998, n o 3.890-A, de 25 de abril de 1961, n o 5.655, de 20 de maio de 1971, n o 5.899, de 5 de julho de 1973, n o 9.991, de 24 de julho de 2000, e dá outras providências*. Diário Oficial, Brasília, 26 de abril de 2002. s.

BRASIL, Decreto nº 6.263 de 21 de nov. de 2007. *Institui o Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima - CIM, orienta a elaboração do Plano Nacional sobre Mudança do Clima, e dá outras providências*. Diário Oficial, Brasília 22 de nov. de 2007. s.

CALDERONI, S. *Os Bilhões Perdidos no Lixo*. 2º ed. São Paulo. Ed. Humanitas FFLCH/Universidade de São Paulo. 1998. 343p.

CASTILHOS JR, A. B.; MEDEIROS, P. A.; FIRTA, I. N.; LUPATINI, G.; & SILVA J. D. *Principais processos de degradação de resíduos sólidos urbanos*. In: Resíduos Sólidos Urbanos: Aterro Sustentável para municípios de pequeno porte. CASTILHOS JR, A. B. (Coordenador). Rio de Janeiro: ABES, RIMA, 2003. p. 19-50.

CETESB. *Emissões de Metano no Tratamento e na Disposição de Resíduos*. Primeiro Inventário de Emissões de Antrópicas Gases de Efeito Estufa, Companhia de Tecnologia em Saneamento Ambiental - CETESB, Ministério da Ciência e Tecnologia, 2006.

CHAN, W. N.. *Quantificação e redução de emissões de gases de efeito estufa em uma refinaria de petróleo*. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, 2006.

CIRAM/Epagri - Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina.

CQNUMC, Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima; *Status atual das atividades de projeto no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) no Brasil e no mundo*. Última compilação do site da CQNUMC: 02 de set. de 2009. Acessado pelo site do MCT: [www.mct.gov.br](http://www.mct.gov.br) no dia 18 de nov. de 2009.

DELMÉE, G. J. *Manual de medição de vazão*. 2.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1983. 476p.

DIAS, V. C. F.; *Estudo das emissões de biogás nos aterros sanitários de Içara e Tijuquinhas* / Vanessa Cristina Ferreira Dias. Florianópolis: UFSC / Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, 2009.

D'ALMEIDA, M.L.O. & VILHENA, A. *Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado*. 2° ed. São Paulo: IPT/CEMPRE. 2000. 370 p.

EMCON A. *Municipal solid waste landfill gas design plan review*. APTI Workshop T018, North Carolina State University, Environmental Programs, Raleigh, 1998.

ENSINAS, A. V. *Estudo da geração de biogás no aterro sanitário Delta em Campinas - SP*. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

ESMAP. *The world bank handbook for the preparation of landfill gas to energy projects in Latin America and the Caribbean*. Waterloo, Ontario, 2004.

FORMIGHIERI, J. R.; *Avaliação das condições de operação do aterro sanitário em função da caracterização gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos e do índice da qualidade de aterros de resíduos (IQR) – Aterro Sanitário Canhanduba – Itajaí/SC*. Itajaí, 2007. Monografia apresentada para o curso de Engenharia Ambiental – Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI).

FUNDAÇÃO IBGE; *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro, 2000. 367p.

GUIMARÃES, R. De Luca. *Compreendendo o mecanismo de desenvolvimento limpo*. Boletim da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica. n.2. Campinas: UNICAMP, 2007.

JUCÁ, J. F.; *Disposição Final dos Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil*. 5o Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental – REGEO. Universidade Federal de Pernambuco – UFPE/Brasil, 2003. p. 32.

MARCHEZI, R. S. M.; SANTOS, H. R. F.; & CARDOSO, M. M. S.; *A experiência de aplicação do mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL) em um aterro sanitário localizado no Espírito Santo*. Anais do IV Congresso Nacional de Excelência em Gestão, Niterói, RJ – Brasil. 31 de julho a 02 de Agosto de 2008.



MCBEAN, E. A., ROVERS, F. A., & FARQUHAR, G. J. *Solid Waste Landfill - Engineering and Design*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall PTR., 2005.

MIGUEL, K. G. *Proinfa incentiva fontes alternativas de energia*. Disponível em <http://www.conciencia.br>. Acesso em: 27 de julho, 2009.

MILLS, I.; CVITAS, T.; HOMANN, K.; KALLAY, N. KUCHITSU, K. *Quantities, units and symbols in physical chemistry*. 2 ed. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1993. 165p.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. *Balanco energético nacional 2003*. Disponível em <http://www.agg.ufba.br> . Acesso em: 27 jul. de 2009.

OROFINO, F. V. G. *Caracterização física dos resíduos sólidos urbanos de Florianópolis*. Florianópolis: COMCAP, 2002. 112p.

PROINFA. (s.d.), Acesso em 16 de jul. de 2009. Disponível em PROINFA: [http://www.mme.gov.br/programs\\_display.do?chn=877](http://www.mme.gov.br/programs_display.do?chn=877).

SILVA, E. P; CAVALIERO, C.K.N. *Perspectivas para as fontes renováveis de energia no Brasil*. Disponível em <http://www.universiabrasil.net>. Acesso em: 17 ago. 2009.

SMITH, F.; *A Solid Waste Estimation Procedure: Materials Flows Approach*. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency Report. 1975.

SNIS.; *Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos*. Ministério das Cidades. Programa de Modernização do Setor Saneamento - PMSS: Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. 2006.

QIAN, X., KOERNER, R. M., & GRAY, D. H.; *Geotechnical Aspects of Landfill Design and Construction*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall PTR, 2002

TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H. & ELIASSEN, R. *Solid Wastes. Engineering principles and management issues* . MacGraw-Hill Kogakusha Ltd. 1977. 621p.

TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H. & VINIL, S. Integrated solid waste management. Engineering principles and management issues. Irwin MacGraw-Hill. 1993. 978p.

UNITED STATES ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY (USEPA). *Air emissions from municipal solid waste landfills – background information for proposed standards and guidelines*. Emissions Standards Division. EPA. Mar, 11. de 1991.

VALZIN, E.; PANDOLFO, A.; BRANDLI, L.; GHENO, L.; KUREK, J. *Análise da viabilidade econômica do uso do biogás de aterros sanitários para geração de energia elétrica: aplicação no aterro metropolitano Santa Tecla*. Anais do congresso XXVI ENEGEP – Fortaleza, CE – Brasil. 9 – 11 de out. de 2006.

VIEIRA, S. M. M. & ALVES, J. W. S.. *Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa*. Relatório de Referência. Emissão de Metano no Tratamento e na Disposição de Resíduos. São Paulo: CETESB, 2002. 86p.

## 7. APÊNDICES

### 7.1 Apêndice A – Tabelas resultantes das medições em campo

**Tabela 14 – Tabela resultante de campanha de 06 de março de 2009**

Dreno	Veloc. (m/s)	T. Anemômetro (°C)	Vazão (Nm <sup>3</sup> /s)	Vazão (Nm <sup>3</sup> /dia)	Concentrações			Vazões (Nm <sup>3</sup> /dia)			H <sub>2</sub> S (ppm)
					CO <sub>2</sub> (%)	CH <sub>4</sub> (%)	O <sub>2</sub> (%)	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	O <sub>2</sub>	
1	2,60	42,7	0,011	992,04	46,0	50,0	1,4	456,34	23,00	0,7	11,0
2	3,75	41,1	0,017	1438,12	34,0	38,0	6,4	488,96	12,92	2,4	7,0
3	5,20	42,0	0,023	1988,49	44,0	55,0	1,1	874,94	24,20	0,6	11,0
4	2,02	42,4	0,009	771,63	33,0	35,0	6,5	254,64	11,55	2,3	3,0
5	3,15	39,5	0,014	1214,44	46,0	53,0	0,8	558,64	24,38	0,4	27,0
6	5,85	59,0	0,025	2122,98	44,0	55,0	0,9	934,11	24,20	0,5	21,0
7	3,31	41,0	0,015	1270,03	43,0	56,0	0,8	546,11	24,08	0,4	21,0
8	5,52	39,8	0,025	2126,12	43,0	56,0	0,8	914,23	24,08	0,4	38,0
9	3,10	39,8	0,014	1194,02	41,0	53,0	1,2	489,55	21,73	0,6	3,0
10	1,80	51,4	0,008	668,32	4,0	54,0	1,3	26,73	2,16	0,7	2,0
11	3,10	42,0	0,014	1184,51	43,0	52,0	1,7	509,34	22,36	0,9	0,0
12	3,40	42,1	0,015	1298,73	35,0	41,0	4,4	454,56	14,35	1,8	3,0
13	1,50	35,9	0,007	584,87	3,4	3,9	19,2	19,89	0,13	0,7	0,0
14	1,83	35,4	0,008	714,70	8,8	9,8	16,8	62,89	0,86	1,6	0,0
15	1,18	37,9	0,005	457,14	4,5	4,2	18,5	20,57	0,19	0,8	0,0
16	3,17	42,6	0,000	0,00	26,0	20,0	7,2	0,00	5,20	1,4	5,0
17			0,000	0,00	39,9	39,0	2,4	0,00	15,56	0,9	
18	2,14	38,1	0,010	828,51	43,0	42,0	2,7	356,26	18,06	1,1	3,0
19	0,90	33,5	0,004	353,39	0,6	0,6	20,3	2,12	0,00	0,1	0,0
20	1,69	33,8	0,008	662,94	31,0	35,0	5,4	205,51	10,85	1,9	0,0
21	0,80	32,8	0,004	314,84	15,5	18,5	13,0	48,80	2,87	2,4	0,0
22	0,83	31,3	0,004	328,26	14,5	16,0	15,0	47,60	2,32	2,4	0,0
23	0,70	32,0	0,003	276,21	27,0	32,0	8,6	74,58	8,64	2,8	0,0
24				0,00				0,00	0,00	0,0	
25	1,30	31,0	0,006	514,65	31,0	55,0	1,1	159,54	17,05	0,6	0,0
26				0,00				0,00	0,00	0,0	
27				0,00				0,00	0,00	0,0	
28	0,91	33,7	0,004	357,08	40,0	43,0	2,7	142,83	17,20	1,2	0,0
29	1,60	35,8	0,007	623,57	2,4	1,1	19,4	14,97	0,03	0,2	0,0

Tabela 15 - Tabela resultante de campanha de 27 de março de 2009

Dreno	Veloc. (m/s)	T. Anemômetro (°C)	Vazão (Nm³/s)	Vazão (Nm³/dia)	Concentrações			Vazões (Nm³/dia)			H2S (ppm)	
					CO <sub>2</sub> (%)	CH <sub>4</sub> (%)	O <sub>2</sub> (%)	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	O <sub>2</sub>		
1	2,70	41,4	0,012	1037,61	44,0	55,0	2,1	456,55	570,69	21,8	7,0	
2	4,03	39,2	0,018	1559,64	40,0	55,0	2,6	623,86	857,80	40,6	5,0	
3	4,42	38,1	0,020	1716,62	38,0	54,0	4,0	652,32	926,97	68,7	10,0	
4	2,70	40,0	0,012	1042,25	38,0	47,0	4,1	396,06	489,86	42,7	7,0	
5	4,20	40,1	0,019	1619,97	47,0	63,0	0,1	761,38	1020,58	1,6	9,0	
6	4,26	37,3	0,019	1657,93	47,0	68,0	0,0	779,23	1127,39	0,0	86,0	
7	3,24	38,2	0,015	1257,32	46,0	68,0	0,1	578,36	854,97	1,3	62,0	
8	4,40	38,3	0,020	1706,92	45,0	68,0	0,1	768,11	1160,70	1,7	40,0	
9	3,43	39,0	0,015	1327,64	44,0	63,0	0,9	584,16	836,41	11,9	10,0	
10	3,89	38,9	0,017	1506,17	45,0	65,0	0,3	677,78	979,01	4,5	9,0	
11	3,73	40,6	0,017	1435,97	42,0	59,0	1,2	603,11	847,22	17,2	8,0	
12	3,72	40,8	0,017	1431,21	39,0	53,0	2,5	558,17	758,54	35,8	9,0	
13	1,10	35,2	0,005	430,89	9,4	13,2	16,0	40,50	56,88	68,9	5,0	
14	0,80	38,5	0,004	310,06	7,2	9,6	17,4	22,32	29,77	54,0	4,0	
15	1,24	37,3	0,006	482,45	5,6	6,6	17,7	27,02	31,84	85,4	4,0	
16	3,50	41,3	0,016	1344,42	22,5	27,0	10,5	302,50	362,99	141,2	5,0	
17	2,28	41,2	0,010	876,08	42,0	46,0	2,2	367,95	402,99	19,3	5,0	
18	3,07	39,1	0,014	1187,56	44,0	51,0	1,5	522,53	605,66	17,8	5,0	
19	0,63	35,9	0,003	245,91	1,0	1,3	20,0	2,46	3,20	49,2	0,0	
20	1,69	36,7	0,008	657,96	28,0	38,0	7,0	184,23	250,03	46,1	0,0	
21	0,90	37,6	0,004	349,38	12,0	17,0	14,7	41,93	59,39	51,4	0,0	
22	1,20	37,0	0,005	467,11	37,0	50,0	3,1	172,83	233,55	14,5	2,0	
23	0,19	35,8	0,001	74,25	9,6	13,6	16,1	7,13	10,10	12,0	16,1	
24	0,00	0,0	0,000	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	
25	1,26	34,9	0,006	493,81	45,0	65,0	0,3	222,21	320,97	1,5	9,8	
26	1,30	34,6	0,006	509,98	23,5	32,0	9,8	119,85	163,19	50,0	0,4	
27	0,00	0,0	0,000	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	
28	1,15	34,1	0,005	451,87	47,0	53,0	0,4	212,38	239,49	1,8	3,0	
29	0,53	35,8	0,002	207,11	14,0	11,4	15,2	28,994	96	23,61	31,5	6,0

**Tabela 16 - Tabela resultante de campanha de 14 de abril de 2009**

Dreno	Veloc. (m/s)	T. Anemômetro (°C)	Vazão (Nm <sup>3</sup> /s)	Vazão (Nm <sup>3</sup> /dia)	Concentrações			Vazões (Nm <sup>3</sup> /dia)			H <sub>2</sub> S (ppm)
					CO <sub>2</sub> (%)	CH <sub>4</sub> (%)	O <sub>2</sub> (%)	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	O <sub>2</sub>	
1	2,30	40,1	0,010	887,56	26,0	35,0	8,1	230,77	310,65	71,9	5,0
2	4,00	39,8	0,018	1545,06	36,0	49,0	2,2	556,22	757,08	34,0	6,0
3	3,52	38,4	0,016	1365,77	30,0	42,0	5,3	409,73	573,62	72,4	7,0
4	2,10	41,8	0,009	806,01	30,0	40,0	5,5	241,80	322,40	44,3	8,0
5	4,40	43,4	0,019	1679,42	37,0	52,0	1,9	621,38	873,30	31,9	7,0
6	4,50	40,1	0,020	1735,68	38,0	52,0	1,0	659,56	902,55	17,4	7,0
7	0,00	0,0	0,000	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0
8	0,00	0,0	0,000	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0
9	3,30	39,8	0,015	1274,05	37,0	53,0	1,9	471,40	675,25	24,2	6,0
10	3,70	41,3	0,016	1421,67	38,0	56,0	0,7	540,23	796,13	10,0	6,0
11	3,50	41,6	0,016	1343,14	37,0	50,0	1,7	496,96	671,57	22,8	7,0
12	0,00	0,0	0,000	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0
13	0,00	0,0	0,000	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0
14	0,00	0,0	0,000	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0
15	0,00	0,0	0,000	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0
16	0,00	0,0	0,000	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0
17	0,00	0,0	0,000	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0
18	0,00	0,0	0,000	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0
19	0,00	0,0	0,000	0,00	0,8	0,9	20,1	0,00	0,00	0,0	0,0
20	1,36	38,4	0,006	526,59	10,0	10,6	14,0	52,66	55,82	73,7	0,0
21	0,50	39,1	0,002	193,17	1,0	1,0	19,8	1,93	1,93	38,2	0,0
22	0,89	37,9	0,004	345,44	27,0	32,5	2,9	93,27	112,27	10,0	0,0
23	0,00	0,0			0,8	1,1	19,9	0,00	0,00	0,0	0,0
24	0,00	0,0	0,000	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0
25	1,37	36,5	0,006	534,14	35,0	53,0	2,1	186,95	283,09	11,2	4,0
26	1,50	36,6	0,007	584,64	12,5	18,5	13,2	73,08	108,16	77,2	5,0
27	0,00	0,0	0,000	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0
28	0,80	40,9	0,004	307,54	27,0	35,0	6,5	83,04	107,64	20,0	12,0
29	0,90	35,2	0,004	352,38	5,4	7,0	17,9	19,02826	24,67	63,1	0,0

Tabela 17 - Tabela resultante de campanha de 27 de abril de 2009

Dreno	Veloc. (m/s)	T. Anemômetro (°C)	Vazão (Nm <sup>3</sup> /s)	Vazão (Nm <sup>3</sup> /dia)	Concentrações			Vazões (Nm <sup>3</sup> /dia)			H <sub>2</sub> S (ppm)
					CO <sub>2</sub> (%)	CH <sub>4</sub> (%)	O <sub>2</sub> (%)	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	O <sub>2</sub>	
1	2,00	39,0	0,009	774,51	37,0	50,0	2,6	286,57	387,26	20,1	4,0
2	4,80	37,5	0,022	1867,80	34,0	48,0	3,4	635,05	896,55	63,5	3,0
3	4,15	37,9	0,019	1612,79	32,0	48,0	4,3	516,09	774,14	69,4	6,0
4	2,95	41,3	0,013	1134,05	28,0	38,0	6,8	317,53	430,94	77,1	5,0
5	3,85	43,4	0,017	1469,49	39,0	58,0	0,4	573,10	852,30	5,9	3,0
6	3,90	46,6	0,017	1473,68	39,0	54,0	0,4	574,73	795,79	5,9	4,0
7	3,90	53,2	0,017	1443,87	38,0	59,0	0,3	548,67	851,89	4,3	7,0
8	3,68	82,0	0,014	1251,94	38,0	42,0	2,4	475,74	525,82	30,0	10,0
9	3,03	37,7	0,014	1177,71	38,0	55,0	1,6	447,53	647,74	18,8	0,0
10	3,50	46,7	0,015	1322,12	39,0	56,0	1,0	515,63	740,39	13,2	0,0
11	3,00	43,3	0,013	1145,08	36,0	50,0	2,1	412,23	572,54	24,0	0,0
12	2,20	65,0	0,009	785,84	32,0	44,0	3,7	251,47	345,77	29,1	0,0
13	-	0,0	0,000	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0
14	-	0,0	0,000	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0
15	-	0,0	0,000	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0
16	2,15	42,0	0,010	824,03	18,0	23,5	11,1	148,32	193,65	91,5	3,0
17	-	0,0	0,000	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0
18	-	0,0	0,000	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0
19	-	0,0	0,000	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0
20	1,43	34,9	0,006	559,99	15,5	17,5	9,9	86,80	98,00	55,4	0,0
21	-	0,0	0,000	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0
22	1,32	36,3	0,006	514,98	26,0	34,0	4,9	133,89	175,09	25,2	0,0
23	-	0,0	0,000	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0
24	3,10	56,5	0,013	1135,31	39,0	59,0	0,1	442,77	669,83	1,1	0,0
25	0,64	66,0	0,003	227,82	40,0	58,0	0,5	91,13	132,14	1,1	5,0
26	1,30	32,5	0,006	513,48	15,0	19,5	13,3	77,02	100,13	68,3	0,0
27	-	0,0	0,000	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0
28	0,98	36,5	0,004	382,09	24,5	30,5	7,5	93,61	116,54	28,7	7,0
29	0,88	33,1	0,004	346,91	3,6	4,7	18,7	12,48866	16,30	64,9	3,0

**Tabela 18 - Tabela resultante de campanha de medição de 22 de maio de 2009**

Dreno	Veloc. (m/s)	T. Anemômetro (°C)	Vazão (Nm <sup>3</sup> /s)	Vazão (Nm <sup>3</sup> /dia)	Concentrações			Vazões (Nm <sup>3</sup> /dia)			H <sub>2</sub> S (ppm)
					CO <sub>2</sub> (%)	CH <sub>4</sub> (%)	O <sub>2</sub> (%)	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	O <sub>2</sub>	
1	2,70	47,8	0,012	1016,92	34,0	44,0	4,0	345,75	447,45	40,7	5,0
2	2,60	38,2	0,012	1009,45	31,0	43,0	4,6	312,93	434,06	46,4	4,0
3	3,65	37,2	0,016	1421,68	28,0	40,0	7,0	398,07	568,67	99,5	4,0
4	-	0,0	0,000	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0
5	2,70	46,5	0,012	1020,56	40,0	56,0	0,5	408,22	571,51	5,1	3,0
6	4,28	46,1	0,019	1619,80	40,0	58,0	0,2	647,92	939,48	3,2	11,0
7	4,18	58,0	0,018	1525,10	41,0	60,0	0,3	625,29	915,06	4,6	5,0
8	-	0,0	0,000	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	3,0
9	2,48	46,3	0,011	937,99	36,0	50,0	2,8	337,68	468,99	26,3	0,0
10	-	0,0	0,000	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0
11	2,30	41,5	0,010	882,92	34,0	47,0	3,3	300,19	414,97	29,1	0,0
12	-	0,0	0,000	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0
13	0,78	32,5	0,004	308,24	3,6	4,9	18,7	11,10	15,10	57,6	0,0
14	1,01	32,5	0,005	399,13	4,2	6,3	18,7	16,76	25,15	74,6	0,0
15	0,80	35,0	0,004	313,58	4,2	4,9	18,4	13,17	15,37	57,7	0,0
16	-	0,0	0,000	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0
17	-	0,0	0,000	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0
18	-	0,0	0,000	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0
19	0,54	27,4	0,003	217,02	0,6	0,8	20,0	1,30	1,74	43,4	-4,0
20	0,94	26,8	0,004	378,05	36,0	51,0	5,9	136,10	192,80	22,3	-4,0
21	0,88	27,3	0,004	353,33	14,0	19,5	13,2	49,47	68,90	46,6	-4,0
22	0,70	28,4	0,003	280,03	31,0	41,0	3,9	86,81	114,81	10,9	-4,0
23	0,83	29,4	0,004	330,94	31,0	42,0	5,2	102,59	138,99	17,2	-3,0
24	1,55	39,0	0,007	599,01	39,0	57,0	0,3	233,61	341,44	1,8	0,0
25	0,90	34,3	0,004	353,13	39,0	57,0	1,0	137,72	201,28	3,5	3,0
26	1,60	32,8	0,007	630,86	14,5	21,0	13,3	91,48	132,48	83,9	0,0
27	-	0,0	0,000	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0
28	0,65	31,5	0,003	257,58	31,0	47,0	4,8	79,85	121,06	12,4	-2,0
29	0,70	31,7	0,003	277,22	2,8	4,9	19,4	7,762054	13,58	53,8	0,0

Tabela 19 - Tabela resultante de campanha de medição de 29 de maio de 2009

Dreno	Veloc. (m/s)	T. Anemômetro (°C)	Vazão (Nm <sup>3</sup> /s)	Vazão (Nm <sup>3</sup> /dia)	Concentrações			Vazões (Nm <sup>3</sup> /dia)			H <sub>2</sub> S (ppm)
					CO <sub>2</sub> (%)	CH <sub>4</sub> (%)	O <sub>2</sub> (%)	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	O <sub>2</sub>	
1	2,40	61,5	0,010	866,93	40,0	57,0	0,7	346,77	494,15	6,1	6,0
2	3,80	35,0	0,017	1490,67	39,0	58,0	3,9	581,36	864,59	58,1	8,0
3	2,50	37,0	0,011	974,38	37,0	51,0	1,8	360,52	496,93	17,5	4,0
4	-	-	0,000	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0
5	2,90	36,7	0,013	1130,82	40,0	58,0	0,7	452,33	655,88	7,9	0,0
6	3,20	37,2	0,014	1245,79	41,0	58,0	0,4	510,78	722,56	5,0	7,0
7	2,87	37,5	0,013	1116,24	40,0	60,0	0,5	446,50	669,75	5,6	0,0
8	-	-	0,000	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0
9	2,23	32,8	0,010	880,65	36,0	50,0	3,3	317,03	440,32	29,1	0,0
10	3,22	36,5	0,015	1256,41	38,0	54,0	1,9	477,44	678,46	23,9	0,0
11	2,39	34,5	0,011	938,34	35,0	48,0	3,5	328,42	450,40	32,8	0,0
12	-	-	0,000	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0
13	-	-	0,000	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0
14	-	-	0,000	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0
15	-	-	0,000	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0
16	-	-	0,000	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0
17	4,32	42,7	0,019	1652,05	27,0	37,0	5,3	446,05	611,26	87,6	7,0
18	3,90	41,7	0,017	1496,17	31,0	40,0	5,4	463,81	598,47	80,8	3,0
19	-	-	0,000	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0
20	1,60	24,9	0,007	647,58	37,0	53,0	1,1	239,61	343,22	7,1	0,0
21	0,80	23,8	0,004	324,99	24,5	32,0	8,0	79,62	104,00	26,0	0,0
22	0,70	24,3	0,003	283,89	17,5	22,5	10,6	49,68	63,88	30,1	0,0
23	-	-	0,000	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0
24	-	-	0,000	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0
25	1,05	27,0	0,005	422,00	39,0	5,8	1,2	164,58	24,48	5,1	4,0
26	1,41	26,9	0,007	566,88	15,0	21,5	13,0	85,03	121,88	73,7	5,0
27	-	-	0,000	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0
28	-	-	0,000	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0
29	-	-	0,000	0,00	0,0	0,0	0,0	0	0,00	0,0	0,0



**Tabela 20 - Tabela Resultante De Campanha De Medição de 05 de Junho de 2009**

Dreno	Veloc. (m/s)	T. Anemômetro (°C)	Vazão (Nm <sup>3</sup> /s)	Vazão (Nm <sup>3</sup> /dia)	Concentrações			Vazões (Nm <sup>3</sup> /dia)			H <sub>2</sub> S (ppm)
					CO <sub>2</sub> (%)	CH <sub>4</sub> (%)	O <sub>2</sub> (%)	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	O <sub>2</sub>	
1	2,90	38,0	0,013	1126,65	37,0	55,0	0,9	416,86	619,66	10,1	8,0
2	1,15	38,4	0,005	446,20	38,0	55,0	1,8	169,56	245,41	8,0	4,0
3	3,20	36,2	0,014	1250,43	33,0	47,0	2,9	412,64	587,70	36,3	3,0
4											
5	2,48	39,0	0,011	959,92	38,0	55,0	1,4	364,77	527,96	13,4	0,0
6	3,65	37,6	0,016	1419,15	40,0	58,0	0,5	567,66	823,11	7,1	3,0
7	2,59	42,5	0,011	991,38	39,0	59,0	0,5	386,64	584,92	5,0	2,0
8											
9	2,20	36,5	0,010	858,42	35,0	48,0	33,5	300,45	412,04	287,6	3,0
10	3,15	36,9	0,014	1227,52	38,0	53,0	2,1	466,46	650,58	25,8	3,0
11	2,81	37,3	0,013	1093,29	36,0	48,0	3,1	393,58	524,78	33,9	3,0
12											
13											
14	0,92	22,0	0,004	376,50	5,0	6,3	18,1	18,83	23,72	68,1	2,0
15											
16											
17											
18	3,60	41,8	0,016	1380,64	26,0	34,0	7,4	358,97	469,42	102,2	3,0
19	0,30	27,3	0,001	120,61	0,8	1,0	19,4	0,96	1,21	23,4	0,0
20	1,35	26,1	0,006	544,21	38,0	55,0	1,4	206,80	299,31	7,6	0,0
21	1,03	25,8	0,005	415,63	27,0	37,0	5,8	112,22	153,78	24,1	0,0
22	0,80	26,6	0,004	321,96	31,0	40,0	3,4	99,81	128,78	10,9	0,0
23	0,00	25,2	0,000	0,00	0,8	0,9	19,8	0,00	0,00	0,0	0,0
24											
25											
26	1,30	28,7	0,006	519,54	16,5	22,0	12,8	85,72	114,30	66,5	4,0
27											
28	1,20	29,6	0,006	478,52	39,0	57,0	0,9	186,62	272,76	4,3	0,0
29	0,70	27,3	0,003	281,28	2,8	4,4	19,1	7,875727	12,38	53,7	2,0

Tabela 21 - Tabela resultante de campanha de medição de 19 de junho de 2009

Dreno	Veloc. (m/s)	T. Anemômetro (°C)	Vazão (Nm <sup>3</sup> /s)	Vazão (Nm <sup>3</sup> /dia)	Concentrações			Vazões (Nm <sup>3</sup> /dia)			H <sub>2</sub> S (ppm)
					CO <sub>2</sub> (%)	CH <sub>4</sub> (%)	O <sub>2</sub> (%)	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	O <sub>2</sub>	
1	2,88	38,5	0,013	1117,09	38,0	55,0	2,0	424,49	614,40	22,3	4,0
2	3,10	39,9	0,014	1197,04	39,0	56,0	0,8	466,85	670,34	9,6	4,0
3	3,12	36,2	0,014	1219,17	34,0	46,0	3,0	414,52	560,82	36,6	3,0
4	1,18	47,0	0,005	445,54	31,0	41,0	5,4	138,12	182,67	24,1	3,0
5	1,92	41,4	0,009	737,50	38,0	55,0	1,4	280,25	405,62	10,3	3,0
6	2,22	39,6	0,010	857,64	40,0	57,0	0,7	343,05	488,85	6,0	2,0
7	3,80	50,3	0,016	1419,46	40,0	59,0	0,7	567,79	837,48	9,9	2,0
8	0,00	0,0	0,000	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0
9	2,02	39,9	0,009	779,62	34,0	46,0	3,8	265,07	358,63	29,6	3,0
10	2,46	38,4	0,011	954,02	37,0	52,0	2,2	352,99	496,09	21,0	3,0
11	1,55	38,5	0,007	600,74	32,0	44,0	3,8	192,24	264,32	22,8	3,0
12	0,00	0,0	0,000	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0
13	0,00	0,0	0,000	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0
14	0,00	0,0	0,000	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0
15	0,00	0,0	0,000	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0
16	0,00	0,0	0,000	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0
17	2,75	43,8	0,012	1048,00	22,0	31,5	7,6	230,56	330,12	79,6	5,0
18	2,62	52,2	0,011	972,68	26,0	34,0	7,0	252,90	330,71	68,1	5,0
19	0,27	25,0	0,001	109,38	0,8	0,9	18,5	0,88	0,98	20,2	0,0
20	1,10	27,4	0,005	441,51	16,5	23,5	10,4	72,85	103,76	45,9	3,0
21	1,13	26,0	0,005	455,67	22,0	30,0	8,2	100,25	136,70	37,4	0,0
22	0,58	28,1	0,003	232,26	27,0	37,0	5,0	62,71	85,93	11,6	0,0
23	0,00	0,0	0,000	0,00	18,5	24,5	9,0	0,00	0,00	0,0	0,0
24	0,00	0,0	0,000	0,00	35,0	56,0	1,0	0,00	0,00	0,0	4,0
25	0,00	0,0	0,000	0,00	33,0	48,0	3,5	0,00	0,00	0,0	11,0
26	0,00	0,0	0,000	0,00	11,8	16,0	13,2	0,00	0,00	0,0	7,0
27	0,00	0,0	0,000	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0
28	0,00	0,0	0,000	0,00	31,0	44,0	4,3	0,00	0,00	0,0	0,0
29	0,00	0,0	0,000	0,00	0,0	0,0	0,0	0	0,00	0,0	0,0

**Tabela 22 - Tabela resultante de campanha de medição de 26 de junho de 2009**

Dreno	Veloc. (m/s)	T. Anemômetro (°C)	Vazão (Nm <sup>3</sup> /s)	Vazão (Nm <sup>3</sup> /dia)	Concentrações			Vazões (Nm <sup>3</sup> /dia)			H <sub>2</sub> S (ppm)
					CO <sub>2</sub> (%)	CH <sub>4</sub> (%)	O <sub>2</sub> (%)	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	O <sub>2</sub>	
1	3,45	61,5	0,014	1246,20	36,0	54,0	1,9	448,63	672,95	23,7	3,0
2	1,80	34,5	0,008	707,26	39,0	57,0	1,3	275,83	403,14	9,2	0,0
3	1,60	30,0	0,007	638,00	35,0	48,0	3,2	223,30	306,24	20,4	3,0
4	1,44	45,5	0,006	546,27	30,0	41,0	6,1	163,88	223,97	33,3	3,0
5	1,78	40,1	0,008	686,56	38,0	54,0	2,6	260,89	370,74	17,9	3,0
6	2,60	37,0	0,012	1012,86	41,0	59,0	0,6	415,27	597,59	6,1	2,0
7	-	0,0	0,000	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0
8	-	0,0	0,000	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0
9	1,87	37,2	0,008	728,01	33,0	47,0	4,0	240,24	342,17	29,1	2,0
10	2,46	35,7	0,011	962,36	37,0	54,0	1,8	356,07	519,67	17,3	0,0
11	1,41	32,8	0,006	556,66	33,0	44,0	4,7	183,70	244,93	26,2	0,0
12	-	0,0	0,000	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0
13	-	0,0	0,000	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0
14	-	0,0	0,000	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0
15	-	0,0	0,000	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0
16	-	0,0	0,000	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0
17	3,60	56,3	0,015	1319,88	25,0	34,0	8,0	329,97	448,76	105,6	5,0
18	1,55	38,5	0,007	600,74	26,0	34,0	8,1	156,19	204,25	48,7	4,0
19	0,93	24,1	0,004	377,90	1,0	1,0	20,0	3,78	3,78	75,6	0,0
20	0,91	23,8	0,004	369,68	29,0	35,0	4,5	107,21	129,39	16,6	0,0
21	0,57	22,3	0,003	232,73	12,5	16,6	12,7	29,09	38,63	29,6	0,0
22	0,60	21,6	0,003	245,56	23,0	29,0	8,7	56,48	71,21	21,4	0,0
23	0,23	20,1	0,001	94,61	0,8	0,9	20,1	0,76	0,85	19,0	0,0
24	0,00	0,0	0,000	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0
25	0,86	22,5	0,004	350,90	33,0	49,0	3,9	115,80	171,94	13,7	8,0
26	1,22	24,3	0,006	494,78	11,2	14,4	15,3	55,42	71,25	75,7	7,0
27	0,00	0,0	0,000	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0
28	0,85	41,4	0,004	326,24	31,0	44,0	5,2	101,13	143,55	17,0	0,0
29	0,00	0,0	0,000	0,00	0,0	0,0	0,0	0	0,00	0,0	0,0

**Tabela 23 - Tabela resultante de campanha de medição de 03 de julho de 2009**

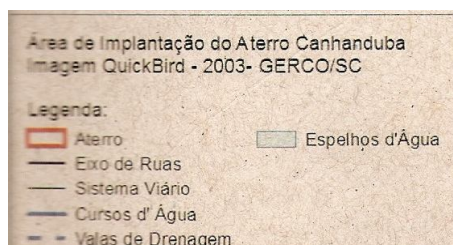
Dreno	Veloc. (m/s)	T. Anemômetro (°C)	Vazão (Nm <sup>3</sup> /s)	Vazão (Nm <sup>3</sup> /dia)	Concentrações			Vazões (Nm <sup>3</sup> /dia)			H <sub>2</sub> S (ppm)
					CO <sub>2</sub> (%)	CH <sub>4</sub> (%)	O <sub>2</sub> (%)	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	O <sub>2</sub>	
1	1,54	33,3	0,007	607,47	40,0	57,0	0,9	242,99	346,26	5,5	3,0
2	2,40	37,5	0,011	933,90	40,0	58,0	0,8	373,56	541,66	7,5	0,0
3	2,41	32,1	0,011	954,38	34,0	48,0	2,9	324,49	458,10	27,7	2,0
4	1,55	28,3	0,007	621,55	33,0	43,0	4,4	205,11	267,27	27,3	0,0
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	4,80	47,6	0,021	1808,10	40,0	58,0	0,5	723,24	1048,70	9,0	0,0
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	1,90	39,7	0,008	733,78	36,0	49,0	2,9	264,16	359,55	21,3	3,0
10	2,80	42,0	0,012	1073,47	40,0	56,0	1,4	429,39	601,14	15,0	0,0
11	1,60	41,3	0,007	614,59	33,0	44,0	4,8	202,82	270,42	29,5	0,0
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	0,55	29,0	0,003	219,87	29,0	1,2	1,5	63,76	2,64	3,3	0,0
14	0,97	28,1	0,005	388,92	28,1	9,4	11,8	109,29	36,56	45,9	0,0
15	0,69	28,1	0,003	276,66	28,1	1,8	2,1	77,74	4,98	5,8	0,0
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	0,22	28,2	0,001	88,18	0,6	0,7	20,5	0,53	0,62	18,1	0,0
20	0,60	26,3	0,003	241,71	1,0	1,1	20,0	2,42	2,66	48,3	0,0
21	0,50	26,1	0,002	201,56	2,6	2,9	19,2	5,24	5,85	38,7	0,0
22	0,70	27,3	0,003	281,05	27,0	35,0	5,6	75,88	98,37	15,7	0,0
23	0,14	26,5	0,001	56,36	0,8	1,0	20,0	0,45	0,56	11,3	0,0
24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	1,05	29,2	0,005	418,93	39,0	56,0	1,6	163,38	234,60	6,7	9,0
26	1,28	28,5	0,006	511,88	13,5	17,5	14,0	69,10	89,58	71,7	1,0
27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	0,20	28,7	0,001	79,99	1,2	2,1	19,9	0,96	1,68	15,9	0,0
29	0,20	27,5	0,001	80,31	0,4	0,6	20,6	0,321244	0,48	16,5	0,0

## 7.2 **Apêndice C – Planta de Localização dos Drenos no Aterro Sanitário**

*(Nesta página será plotada a Planta do Aterro Sanitário Canhanduba, o mesmo desenho apresentado neste trabalho, porém com melhor resolução)*

## 8. ANEXOS

### 8.1 Anexo A – Fases do Aterro Sanitário Canhanduba



FONTE: FORMIGHIERI (2007)