



COPPE/UFRJ

ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO DE GÁS EM ATERROS DE RESÍDUOS SÓLIDOS
URBANOS

Carolina Flórez Tarazona

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador(es): Cláudio Fernando Mahler

Ronaldo Luis dos Santos Izzo

Rio de Janeiro

Abril de 2010

Livros Grátis

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

Milhares de livros grátis para download.

ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO DE GÁS EM ATERROS DE RESÍDUOS SÓLIDOS
URBANOS

Carolina Flórez Tarazona

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA CIVIL.

Examinada por:



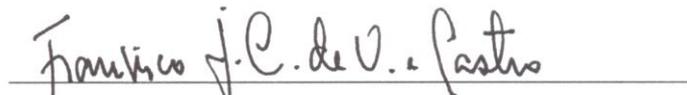
Prof. Cláudio Fernando Mahler, D.Sc.



Dr. Ronaldo Luis dos Santos Izzo, D.Sc.



Prof. Eduardo Dell'Avanzi, D.Sc.



Prof. Francisco Jose Casanova de Oliveira e Castro, D.Sc.



Profª. Marcia Marques Gomes, Ph.D.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

ABRIL DE 2010

Tarazona, Carolina Flórez

Estimativa de Produção de Gás em Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos / Carolina Flórez Tarazona. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2010.

XXI, 189 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadores: Claudio Fernando Mahler

Ronaldo Luis dos Santos Izzo

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Civil, 2010.

Referencias Bibliográficas: p. 147-155.

1. Aterros de resíduos sólidos. 2. Biogás. 3. Estudo de caso. I. Mahler, Cláudio Fernando, *et al.* II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Civil. III. Título.

Dedico este trabalho a
Deus e a minha família.

AGRADECIMENTOS

A Deus porque devo tudo o que tenho e o que sou.

Ao professor Cláudio Fernando Mahler pela oportunidade da realização deste trabalho e pela orientação.

Ao Ronaldo Izzo pela orientação, disposição e estímulo.

Aos membros da banca pela disposição em avaliar o trabalho.

À minha família, aos meus pais Alfonso (*in memoriam*) e Martha e à minha irmã Ana María pelo amor e apoio incondicional.

Ao meu tio Francisco, à Rocio e aos meus primos Luis Felipe, Ana Lucia e Ana Sofia pela companhia, apoio e acolhimento na primeira etapa deste trabalho.

Ao Luizão pela ajuda incondicional em todas as etapas e porque sem ele não teria sido possível a realização deste trabalho.

Ao centro de informações técnicas da Comlurb e aos funcionários da Comlurb Sr. João Carlos Xavier de Brito, Daniele Amaral, Lucio Vianna Alves e Marcos Cherem.

Ao Caio Takase pela colaboração com as informações de gás.

À professora Amaia Lobo e à pesquisadora Ana Lopez do Grupo de Engenharia Ambiental da Universidade de Cantabria pelo fornecimento do programa Moduelo© e pelos esclarecimentos a respeito da utilização do programa.

Ao INMET pelo fornecimento dos dados meteorológicos.

Aos alunos de iniciação científica Édipo, Viktor, Eduardo, Beatriz, e Lucas pela colaboração na execução dos ensaios de campo e laboratório.

A todos os professores da Área de Geotecnia do Programa de Engenharia Civil da COPPE/UFRJ pelos conhecimentos transmitidos.

Aos professores da COPPE Álvaro Luis Gonçalves Cantanhede e Luiz Edmundo Horta Barbosa da Costa Leite por terem viabilizado os contatos com a COMLURB.

A todos os funcionários do Laboratório de Geotecnia da COPPE/UFRJ, em especial ao Eduardo Paiva, Serginho e Maria da Glória.

Ao Departamento de Transportes da COPPE, em nome de Laerte da Silva Xavier pelo fornecimento do meio de transporte para os ensaios de campo.

À Marcinha pela ajuda como secretária.

Ao Vitor por aparecer na minha vida e pelo apoio nas épocas difíceis do trabalho.

Ao Ivan Benites pela grande colaboração ao trabalho.

Às amigas Talita, Paloma e Diana por constituírem a minha família no Brasil.

A todos os colegas do Laboratório de Geotecnia da COPPE/UFRJ, em especial à Victoria, Mario, Louis, Karla e Juliana.

Ao Brasil por me permitir viver e estudar neste país.

À CAPES pelo apoio financeiro.

A todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desta dissertação.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO DE GÁS EM ATERROS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Carolina Flórez Tarazona

Abril/2010

Orientadores: Cláudio Fernando Mahler

Ronaldo Luis dos Santos Izzo

Programa: Engenharia Civil

Este trabalho teve como finalidade estudar as quantidades e as concentrações de biogás, especificamente de CH₄ em um Aterro de Resíduos Sólidos Urbanos do Rio de Janeiro. Foram medidos *in situ*, qualitativa e quantitativamente, os principais gases emitidos pelo aterro mediante a utilização de uma Placa de Fluxo com Leitura Instantânea (PFLI), sendo analisada a influência de alguns fatores climatológicos na emissão do CH₄. Além disso, foram aplicadas as metodologias propostas pelo Banco Mundial (BM), pela Agencia de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) e pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) para a estimativa de geração de CH₄. Também foi feita a modelagem do aterro com o auxílio do programa Moduelo 4.0[©], este permite uma caracterização detalhada do aterro obtendo previsões diárias de emissão de biogás. Por ultimo, foram comparados os resultados obtidos pelos diferentes métodos de previsão de biogás, os quais mostraram divergências significativas. No programa Moduelo 4.0[©] os resultados obtidos não foram os esperados, devido à necessidade de uma grande quantidade de informações. Porém, a PFLI apresentou bons resultados em relação a medida das emissões fugitivas e, para as metodologias do BM, EPA e IPCC as diferenças nos resultados se deram, provavelmente devido as especificidades de cada modelo.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

GAS PRODUCTION ESTIMATION IN MUNICIPAL SOLID WASTE LANDFILLS

Carolina Flórez Tarazona

April/2010

Advisors: Cláudio Fernando Mahler

Ronaldo Luis dos Santos Izzo

Department: Civil Engineering

This study concerns on research of the amount and concentration of biogas, in specific methane generation in Municipal Solid Waste in Rio de Janeiro City. The main gases emitted were measured qualitative and quantitative using the Instant Reading Flux Plate (PFLI). It was examined the influence of climate factors over the rate of methane. Estimates of methane volume generation were made applying proposed methodologies from the United States Environmental Protection Agency (USEPA), World Bank (WB) and Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Landfill modeling software Moduelo 4.0© was used for detailed characterization allowing estimates of daily biogas generation. A comparison was made between the results obtained from the different methods of biogas estimation in which significant divergences appeared. The expected results were not obtained with the Moduelo 4.0© software due to the necessity and difficulty to gather a great amount of data. However, PFLI obtained consistent results for fugitive gas emissions. Differences in the results attained by WB, EPA and IPCC methodologies probably occurred due to specificities of each model.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Motivação	1
1.2 Objetivo Principal	2
1.3 Objetivos Secundários	2
1.4 Organização do trabalho	2
CAPÍTULO 2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 Mudanças climáticas e efeito estufa.....	4
2.2 Políticas e normas sobre o clima	8
2.3 Resíduos sólidos urbanos.....	9
2.3.1 Quantidades geradas	10
2.3.2 Gestão	11
2.3.2.1 Compostagem.....	11
2.3.2.2 Incineração	13
2.3.2.3 Pirólise	15
2.3.2.4 Pre-tratamento mecânico e biológico.....	15
2.3.2.5 Reciclagem	16
2.3.2.6 Disposição final dos resíduos	16
2.4 Métodos Construtivos de Aterros Sanitários	19
2.5 Processo de geração de biogás a partir da degradação de RSU.....	25
2.5.1 Fases da degradação da matéria orgânica	26
2.5.2 Fatores que influenciam o processo	28
2.6 Deslocamento de gases em aterros de RSU.....	29
2.6.1 Fatores climáticos que afetam o processo.....	32
2.7 Medição do fluxo gasoso	32
2.8 Modelos para a Estimativa de Geração de Gás.....	36
2.8.1 Metodologia do Banco Mundial – Modelo Scholl Canyon	36

2.8.2 Metodologia da EPA	39
2.8.2.1 Estimativa de emissões não controladas de gases	39
2.8.2.2 Estimativa de emissões de gases controlados.....	40
2.8.3 Metodologia do IPCC	42
2.8.3.1 Metodologia padrão	42
2.8.3.2 Metodologia cinética de primeira ordem do IPCC	44
2.8.4 Modulo 4.0©	45
2.8.4.1 Algoritmo geral.....	48
2.8.4.2 Modelo de degradação	51
2.8.4.3 Modelo de recalques	60
CAPÍTULO 3- MATERIAIS E MÉTODOS	62
3.1 Estudo do caso	62
3.2 Medições de gás	63
3.2.1 Ensaio de campo	64
3.2.2 Melhoramento da PFLI.....	68
3.2.2.1 Vantagens da PFLI modificada	70
3.2.3 Localização dos Pontos de Medição.....	70
3.3 Ensaio de laboratório	71
3.3.1 Caracterização do solo de cobertura.....	71
3.4 Dados meteorológicos	72
3.5 Metodologia Modulo 4.0©	73
3.5.1 Modelo do Aterro	73
3.5.2 Modelo de Geração de resíduos	78
3.5.3 Modelo Meteorológico	80
3.5.4 Gestão de lixiviados.....	81
3.5.5 Simulação.....	82
3.5.6 Resultados	83

CAPÍTULO 4- APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	88
4.1 Ensaio de Campo para Medições de Emissões Gasosas	88
4.2 Influência dos Fatores Climatológicos nos Ensaio de Emissão de Gases	104
4.2.1 Temperatura do ar e temperatura interna do solo.....	112
4.2.2 Umidade relativa do ar.....	113
4.2.3 Precipitação.....	113
4.2.4 Pressão atmosférica	113
4.2.5 Velocidade do vento	113
4.3 Estimativa da emissão de gás CH ₄ pelas modelos do BM, EPA e IPCC	114
4.3.1 Modelo do Banco Mundial	114
4.3.2 Modelo da EPA	117
4.3.3 Modelo do IPCC.....	118
4.3.4 Comparação das metodologias.....	119
4.4 Modelagem mediante o programa Moduelo 4.0©	121
4.4.1 Parâmetros de entrada.....	121
4.4.1.1 Modelo do Aterro	121
4.4.1.2 Modelo de geração de resíduos	133
4.4.1.3 Modelo meteorológico	134
4.4.2 Simulação.....	135
4.4.3 Resultados e análise.....	135
4.4.4 Sensibilidade do modelo	136
4.4.4.1 Sensibilidade do modelo de biodegradação	136
4.4.4.2 Analise de sensibilidade para o aterro Macondo	137
4.5 Comparação das emissões CH ₄ calculadas por ensaios de campo, metodologias do BM, EPA e IPCC, e a modelagem com o Moduelo 4.0©	141
CAPÍTULO 5- CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS ...	144
5.1 Conclusões	144

5.2 Sugestões para pesquisas futuras	145
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	147
ANEXO A: Ensaio de Campo de Emissão de Gases	156
ANEXO B: Cálculo da emissão de gases a partir dos ensaios de campo	173
ANEXO C: Composição gravimétrica dos resíduos sólidos domiciliares.....	174
ANEXO D: Aplicação das metodologias do Banco Mundial, EPA e IPCC.....	175
ANEXO E: Resultados de geração de CH ₄ por ano pelo programa Modulo 4.0©.....	189

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Esquema do fenômeno efeito estufa (Modificado de FELIPPETO, 2005). ...	4
Figura 2.2: Variações na temperatura mundiais (Modificado de IPCC, 2001b).	6
Figura 2.3: Variações na temperatura do hemisfério norte (Modificado de IPCC, 2001b).	6
Figura 2.4: Aumento nas concentrações de a) CO ₂ , b) CH ₄ e c) N ₂ O (Modificado de IPCC, 2001b).	7
Figura 2.5: Geração de RSU/habitantes por alguns países (Modificado de OECD, 2008).	10
Figura 2.6: Leiras de compostagem na usina de Santo André, SP (BIDONE <i>et al.</i> , 1999).	12
Figura 2.7: Processo de incineração (ARANDA <i>et al.</i> , 2001).	14
Figura 2.8: Leiras do pré-tratamento mecânico biológico (MÜNNICH <i>et al.</i> , 2002). ...	16
Figura 2.9: Destino final dos resíduos em alguns países (Modificado de OECD, 2008 apud GIUSTI, 2009).	18
Figura 2.10: Destino final dos resíduos no Brasil em % (IBGE, 2000).	18
Figura 2.11: Destino final dos resíduos no estado do Rio de Janeiro em % (IBGE, 2000).	18
Figura 2.12: Etapas de um aterro sanitário (IPT, 2000).	19
Figura 2.13: Corte esquemático de um aterro dividido em células (Modificado de QIAN <i>et al.</i> , 2002).	20
Figura 2.14: Corte esquemático de um aterro sanitário de resíduos classe 1 e seus componentes (Modificado de QIAN <i>et al.</i> , 2002).	20
Figura 2.15: Esquema ilustrativo de revestimento de fundo.	22
Figura 2.16: Sistema de revestimento de fundo do Aterro, a) impermeabilização e b) sistema de drenagem (FELIPPETO, 2006).	22
Figura 2.17: Métodos de disposição dos resíduos em um aterro sanitário, a) método de área, b) método de trincheira, c) método de disposição sobre e embaixo do terreno e c) método de vala (Modificado de QIAN <i>et al.</i> , 2002).	23
Figura 2.18: Esquema ilustrativo do sistema de cobertura final.	24
Figura 2.19: Instalação de drenos para fluxo de gás em um aterro não controlado (IPT, 2000).	25

Figura 2.20: Geração de gases em um aterro de RSU com o tempo (Modificado de UKDOE, 1993, apud QIAN <i>et al.</i> , 2002).....	27
Figura 2.21: Migração vertical do gás em aterros. (Modificado de USEPA, 1994, apud QIAN <i>et al.</i> , 2002).....	31
Figura 2.22: Migração horizontal do gás em aterros (Modificado de USEPA, 1994, apud QIAN <i>et al.</i> , 2002).....	31
Figura 2.23: Esquema das medições de gás em placas estáticas e dinâmicas (MACIEL, 2003).	36
Figura 2.24: Algoritmo geral do Moduelo [©] (Modificado de LOBO, 2006).	50
Figura 2.25: Componentes dos resíduos.	53
Figura 2.26: Diagrama de fluxo da degradação dos resíduos no programa Moduelo [©] (Modificado de LOBO, 2006).	56
Figura 3.1: Localização Aterro “Macondo”.	63
Figura 3.2: Placa de fluxo com leitura instantânea (PFLI) (GUEDES, 2007).	64
Figura 3.3: Escavação para a colocação da PFLI.	65
Figura 3.4: Cravação da PFLI.....	66
Figura 3.5: Preparação da mistura bentonita e solo.	66
Figura 3.6: Mistura bentonita e solo.	66
Figura 3.7: Colocação da mistura ao redor da PFLI.	67
Figura 3.8: Aparelhos de medição conectados à PFLI.....	67
Figura 3.9: Aparelho para a medição de concentração de gases, Dräger.....	67
Figura 3.10: Fluxímetro para medir a vazão de gás.....	68
Figura 3.11: Coleta de amostra de solo de cobertura.....	68
Figura 3.12: Esquema da PFLI modificada, medidas em cm.	69
Figura 3.13: PFLI modificada.	70
Figura 3.14: Localização dos pontos de medição gás.....	71
Figura 3.15: Curvas granulométricas para o solo de cobertura.	72
Figura 3.16: Definição de células aterro e aterro fechado (LOBO, 2009a).	75
Figura 3.17: Definição de células solo e solo fechado (LOBO, 2009a).	76
Figura 3.18: Seleção de células (LOBO, 2009a).	76
Figura 3.19: Seleção do sistema de drenagem.....	77
Figura 3.20: Seleção do sistema de drenagem (Modificado de LOBO, 2009a).....	78
Figura 3.21: Períodos de Geração (LOBO, 2009a).	80
Figura 3.22: Simulações (LOBO, 2009a).....	82

Figura 3.23: Simulação visual (LOBO, 2009a).....	83
Figura 3.24: Resultados finais de cada célula (LOBO, 2009a).	84
Figura 3.25: Resultados globais diários (LOBO, 2009a).....	85
Figura 3.26: Resultados no visor (LOBO, 2009a).....	86
Figura 3.27: Gráfico de resultados (LOBO, 2009a).	87
Figura 4.1: Concentração de CO ₂ , CH ₄ e O ₂ (%) no ponto AM 01.....	89
Figura 4.2: Fluxo de CO ₂ , CH ₄ e O ₂ (ml/min*m ²) no ponto AM 01.....	89
Figura 4.3: Concentração de CO ₂ , CH ₄ e O ₂ (%) no ponto AM 02.....	90
Figura 4.4: Fluxo de CO ₂ , CH ₄ e O ₂ (ml/min*m ²) no ponto AM 02.....	90
Figura 4.5: Concentração de CO ₂ , CH ₄ e O ₂ (%) no ponto AM 03.....	91
Figura 4.6: Fluxo de CO ₂ , CH ₄ e O ₂ (ml/min*m ²) no ponto AM 03.....	91
Figura 4.7: Concentração de CO ₂ , CH ₄ e O ₂ (%) no ponto AM 04.....	92
Figura 4.8: Fluxo de CO ₂ , CH ₄ e O ₂ (ml/min*m ²) no ponto AM 04.....	92
Figura 4.9: Concentração de CO ₂ , CH ₄ e O ₂ (%) no ponto AM 05.....	93
Figura 4.10: Fluxo de CO ₂ , CH ₄ e O ₂ (ml/min*m ²) no ponto AM 05.....	93
Figura 4.11: Concentração de CO ₂ , CH ₄ e O ₂ (%) no ponto AM 06.....	94
Figura 4.12: Fluxo de CO ₂ , CH ₄ e O ₂ (ml/min*m ²) no ponto AM 06.....	94
Figura 4.13: Concentração de CO ₂ , CH ₄ e O ₂ (%) no ponto AM 07.....	95
Figura 4.14: Fluxo de CO ₂ , CH ₄ e O ₂ (ml/min*m ²) no ponto AM 07.....	95
Figura 4.15: Concentração de CO ₂ , CH ₄ e O ₂ (%) no ponto AM 08.....	96
Figura 4.16: Fluxo de CO ₂ , CH ₄ e O ₂ (ml/min*m ²) no ponto AM 08.....	96
Figura 4.17: Concentração de CO ₂ , CH ₄ e O ₂ (%) no ponto AM 09.....	97
Figura 4.18: Fluxo de CO ₂ , CH ₄ e O ₂ (ml/min*m ²) no ponto AM 09.....	97
Figura 4.19: Concentração de CO ₂ , CH ₄ e O ₂ (%) no ponto AM 10.....	98
Figura 4.20: Fluxo de CO ₂ , CH ₄ e O ₂ (ml/min*m ²) no ponto AM 10.....	98
Figura 4.21: Concentração de CO ₂ , CH ₄ e O ₂ (%) no ponto AM 11.....	99
Figura 4.22: Fluxo de CO ₂ , CH ₄ e O ₂ (ml/min*m ²) no ponto AM 11.....	99
Figura 4.23: Concentração de CO ₂ , CH ₄ e O ₂ (%) no ponto AM 12.....	100
Figura 4.24: Fluxo de CO ₂ , CH ₄ e O ₂ (ml/min*m ²) no ponto AM 12.....	100
Figura 4.25: Concentração de CO ₂ , CH ₄ e O ₂ (%) no ponto AM 13.....	101
Figura 4.26: Fluxo de CO ₂ , CH ₄ e O ₂ (ml/min*m ²) no ponto AM 13.....	101
Figura 4.27: Concentração de CO ₂ , CH ₄ e O ₂ (%) no ponto AM 14.....	102
Figura 4.28: Fluxo de CO ₂ , CH ₄ e O ₂ (ml/min*m ²) no ponto AM 14.....	102
Figura 4.29: Concentração de CO ₂ , CH ₄ e O ₂ (%) no ponto AM 15.....	103

Figura 4.30: Fluxo de CO ₂ , CH ₄ e O ₂ (ml/min*m ²) no ponto AM15.....	103
Figura 4.31: Valor de fluxo de CO ₂ (ml/min*m ²) para o ensaio AM 01.....	105
Figura 4.32: Valor de fluxo de CH ₄ (ml/min*m ²) para o ensaio AM 01.....	105
Figura 4.33: Gráficos de fluxo para os grupos A e B, a) temperaturas, b) umidade e c) precipitação, pressão atmosférica e velocidade do vento.....	108
Figura 4.34: Gráficos de fluxo para o grupo C, a) temperaturas, b) umidade e c) precipitação, pressão atmosférica e velocidade do vento.....	109
Figura 4.35: Gráficos de fluxo para os grupos D,E e F, a) temperaturas, b) umidade e c) precipitação, pressão atmosférica e velocidade do vento.....	110
Figura 4.36: Resultados das metodologias do BM, EPA e IPCC.....	120
Figura 4.37: Planta de perímetro do aterro arquivo .dxf.....	122
Figura 4.38: Parâmetros para a discretização do terreno.....	122
Figura 4.39: Discretização do Modelo do terreno.....	123
Figura 4.40: Discretização do Modelo do terreno completa.....	123
Figura 4.41: Cotas do modelo do terreno, definidas pelo <i>software</i> Moduelo 4.0 [®]	124
Figura 4.42: Representação tridimensional do Modelo do terreno.....	125
Figura 4.43: Etapas da disposição do resíduo no aterro.....	130
Figura 4.44: Etapas da disposição do resíduo no aterro.....	130
Figura 4.45: Disposição do resíduo até o ano 2009.....	131
Figura 4.46: Vista em planta da disposição do resíduo.....	131
Figura 4.47: Drenagem do lixiviado.....	132
Figura 4.48: Gestão do <i>run-off</i>	133
Figura 4.49: Resultados de geração de CH ₄ pelo programa Moduelo 4.0 [®]	135
Figura 4.50: Resultados do análise de sensibilidade para o CH ₄ para kh _r	138
Figura 4.51: Resultados do análise de sensibilidade para o CH ₄ para kh ₁	138
Figura 4.52: Resultados do análise de sensibilidade para o CH ₄ para k _A	139
Figura 4.53: Resultados do análise de sensibilidade para o CH ₄ para k _{AC}	139
Figura 4.54: Resultados do análise de sensibilidade para o CH ₄ para kh ₂	139
Figura 4.55: Resultados do análise de sensibilidade para o CO ₂ para kh _r	140
Figura 4.56: Resultados do análise de sensibilidade para o CO ₂ para kh ₁	140
Figura 4.57: Resultados do análise de sensibilidade para o CO ₂ para k _A	140
Figura 4.58: Resultados do análise de sensibilidade para o CO ₂ para k _{AC}	141
Figura 4.59: Resultados do análise de sensibilidade para o CO ₂ para kh ₂	141

Figura 4.60: Comparação de resultados pelas metodologias do BM, EPA, IPCC e modelagem no programa Moduelo 4.0[®] 142

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Potencial de Aquecimento Global (PAG) para os GEE (IPCC, 2007).....	7
Tabela 2.2: Quantidades do lixo coletadas no Brasil (Modificado de IBGE, 2004).	10
Tabela 2.3: Composição típica do gás de aterros RSU (Modificado de EMCON, 1998, apud QIAN <i>et al.</i> , 2002).....	26
Tabela 2.4: Resumo das fases da geração de gás em aterros de RSU (Modificado de EMCON, 1998, apud QIAN <i>et al.</i> , 2002).	28
Tabela 2.5: Resumo das tecnologias de medição de fluxo em aterros de RSU.....	33
Tabela 2.6: Diferentes tipos de placas de medição de fluxo (Modificado de MACIEL, 2003).	34
Tabela 2.7: Valores para k sugeridos (BANCO MUNDIAL, 2003).	38
Tabela 2.8: Valores L_0 Sugeridos para o Conteúdo do Lixo Orgânico (BANCO MUNDIAL, 2003).	38
Tabela 2.9: Valores recomendados de k (USEPA, 2008).	40
Tabela 2.10: Valores para a eficiência do aparelho de controle e utilização de LFG para NMOC, (η_{cnt}) (USEPA, 2008).	41
Tabela 2.11: Cálculo do fator de correção para o metano (IPCC, 1996).	43
Tabela 2.12: Valores recomendados do COD nos principais tipos de resíduo (IPCC, 1996).	43
Tabela 2.13: Resumo de parâmetros de entrada no Moduelo©.	46
Tabela 2.14: Biodegradabilidade de alguns resíduos (Modificado de LOBO, 2006).....	51
Tabela 2.15: Biodegradabilidade dos principais componentes do resíduo (Modificado de LOBO, 2006).	54
Tabela 2.16: Reações de degradação do resíduo segundo o Moduelo© (Modificado de LOBO, 2006).	58
Tabela 2.17: Matriz de processos de modelos de degradação do Moduelo© (Modificado de LOBO, 2006).	59
Tabela 4.1: Resumo dos dados de fluxo da PFLI e dos dados meteorológicos para cada ensaio.....	107
Tabela 4.2: Resíduos recebidos, depositados e sem material inerte no aterro de Macondo. (COMLURB, 2001).....	116
Tabela 4.3: Parâmetros de k e L_0 utilizados para as metodologias do BM, EPA e IPCC.	119

Tabela 4.4: Parâmetros de entrada das células do aterro.	127
Tabela 4.5: Parâmetro do sistema de drenagem de lixiviado.	132
Tabela 4.6: Valores de sensibilidade dos parâmetros do modelo de biodegradação, modificado (LOBO, 2003)	136
Tabela 4.7: Valores aplicados para análise de sensibilidade do aterro de Macondo.	137

LISTA DE SÍMBOLOS E NOMENCLATURA

CH ₃ COOH	Acido acético ou acetato
H ₂ S	Acido sulfídrico
EPA	Agencia de Proteção Ambiental dos Estados Unidos
NH ₃	Amônio
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BM	Banco Mundial
C	Carbono
COD	Carbono Orgânico Degradável
CE	Comercio de Emissões
NMOC	Compostos orgânicos não metânicos
K	Constante da geração de CH ₄
K _a	Constante de acetogênese
UNFCC	Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas
DBO	Demanda Biológica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
CO ₂	Dióxido de carbono
S	Enxofre
IR	Espectroscopia de infravermelhos
f _{ac}	Fator de Acessibilidade
FCM	Fator de correção para o metano
f _{bio}	Fração Biodegradável ou Gaseificável
f _{ar}	Fração de Carregamento
LFG	Gases de aterros de resíduos
GEE	Gases efeito estufa
GETRES	Grupo de Estudo em Tratamento de Resíduos
HFC	Holocarbonos
H	Hidrogênio
H ₂	Hidrogênio
IC	Implementação conjunta
COPPE	Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia

IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
MS _{lhb}	Matéria lentamente hidrolisável biodegradável
MS _{lhn}	Matéria lentamente hidrolisável não biodegradável
M _{rhb}	Matéria rapidamente hidrolisável biodegradável
MS _{rhn}	Matéria rapidamente hidrolisável não biodegradável
MDL	Mecanismo de desenvolvimento limpo
CH ₄	Metano
IBAM	Ministério do Meio Ambiente do Brasil
N	Nitrogênio
O	Oxigênio
O ₂	Oxigênio
OMM	Organização Meteorológica Mundial
N ₂ O	Oxido nitroso
O ₃	Ozônio
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
PFLI	Placa de Fluxo de Leituras Instantâneas
PEAD	Polietileno de alta densidade
PBM	Potencial Bioquímico de Metano
L _o	Potencial da geração de CH ₄
PAG	Potencial de Aquecimento Global
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
AC	Quantidade de acetato
RSU	Resíduos sólidos urbanos
kh _l	Velocidade da hidrólise lenta
kh _r	Velocidade da hidrólise rápida
Kac	Velocidade de produção de CH ₄ a partir do acetato
k _{H2}	Velocidade de produção do CH ₄ a partir do hidrogênio
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro

CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO

1.1 Motivação

Ao longo dos últimos anos, a produção e concentração de gases de efeito estufa vêm aumentando significativamente, principalmente pelas atividades humanas no setor industrial, na produção e consumo de energia, transportes e geração de eletricidade devido à queima de combustíveis fósseis. O acúmulo dos gases dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), em menor escala o óxido nitroso (N_2O) e os hidrocarbonos (HFC). Estes gases, conhecidos como “gases de efeito estufa”, retêm o calor na atmosfera, impedindo que a radiação solar próxima à superfície terrestre seja liberada de volta ao espaço. A principal consequência é processo de aquecimento global (aumento da temperatura média da Terra), colocando em perigo o balanço de térmico terrestre, este torna o nosso meio um ambiente habitável para a vida humana.

Concomitantemente a este cenário, tem-se o problema dos resíduos sólidos urbanos (RSU), cuja complexidade de gerenciamento devido ao aumento da população mundial, pode produzir emissões significativas de gases que irão contribuir com o aumento do efeito estufa. Dentre os diversos gases gerados pelo RSU, o de maior destaque é o gás metano (CH_4), não somente pela quantidade deste gás que é produzida, mas também pela sua capacidade de retenção de calor, maior do que a do CO_2 .

Há uma grande incerteza na estimativa das emissões de gases por aterros de resíduos, devido especialmente à variedade de processos que ocorre dentro da massa de resíduos. A falta de monitoramento dos aterros faz com que os métodos existentes para o cálculo de estimativa de emissões sejam geralmente fórmulas empíricas, contendo poucos parâmetros representativos e confiáveis nas previsões de quantidades de CH_4 .

Devido a estes fatores, surgiu a motivação para a realização desta dissertação. Este trabalho se deu através: da execução de ensaios para a medição dos gases produzidos por um Aterro de RSU; do cálculo de quantidade de CH_4 pelas metodologias propostas pelo Banco Mundial (BM), da Agência de Proteção Ambiental dos EUA

(USEPA) e do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC); e da modelagem fazendo uso do programa espanhol Moduelo 4.0[©]. Desta forma foi possível comparar as estimativas calculadas da produção do gás CH₄.

1.2 Objetivo Principal

Estudar a produção de gás em aterros de resíduos sólidos urbanos (RSU), realizando medições *in situ*; cálculo das emissões pelos métodos: do Banco Mundial (BM), da Agência de Proteção Ambiental dos EUA (USEPA) e do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC), e modelagem fazendo uso do programa Moduelo 4.0[©].

1.3 Objetivos Secundários

- Realizar o melhoramento da Placa de Leituras Instantâneas de Fluxo (PFLI).
- Realizar ensaios de laboratório para caracterização do solo de cobertura.
- Analisar a influência dos fatores climatológicos nos ensaios *in situ*.
- Comparação dos resultados obtidos dos ensaios *in situ*, das metodologias (BM, EPA e IPCC) e do programa Moduelo 4.0[©].
- Estudar a sensibilidade dos parâmetros de entrada à modelagem realizada pelo programa Moduelo 4.0[©].

1.4 Organização do trabalho

Este trabalho está organizado em cinco capítulos.

No capítulo 1 apresenta-se uma introdução, na qual se expõe a motivação da realização do trabalho, o objetivo e a organização do trabalho.

No capítulo 2 apresenta-se a revisão bibliográfica. Esta revisão aborda temas sobre: a problemática das emissões de gases, as políticas e normas sobre este aspecto. Além disto, são descritos temas acerca resíduos sólidos urbanos tais como: as quantidades geradas e tipos de gestão realizados nos aterros. Em seguida, se faz uma descrição dos componentes dos aterros sanitários e do processo de geração, transporte e medição de gases. São apresentadas também três metodologias para o cálculo das emissões de gases pelos aterros e por último é feita uma descrição do programa Moduelo 4.0[©], utilizado para a simulação de aterros de resíduos.

No capítulo 3 estão apresentados os materiais e os métodos utilizados para a realização dos ensaios de campo e ensaios de laboratório. Apresentam-se como foram obtidos os parâmetros meteorológicos e por último se descreve a metodologia para a utilização do programa Moduelo 4.0[©].

No capítulo 4 apresentam-se os resultados e análises dos ensaios de campo e a influência dos fatores climatológicos nos ensaios. Depois descreve-se os parâmetros de entrada para a aplicação das metodologias do Banco Mundial, da EPA, do IPCC e para o programa Moduelo 4.0[©]. Neste capítulo também é feito um estudo de sensibilidade dos parâmetros de entrada do modelo do aterro em estudo realizado pelo programa Moduelo 4.0[©]. São descritos e apresentados os modelos utilizados nesta dissertação, mostrando e analisando os resultados. Ao final é realizada uma comparação entre todos os resultados.

No capítulo 5 são expostas as conclusões obtidas com este trabalho e as sugestões para futuros trabalhos de pesquisa.

Na última parte deste trabalho, têm-se as referências bibliográficas e os anexos.

CAPÍTULO 2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Mudanças climáticas e efeito estufa

As condições climáticas, entre outros aspectos, são fruto da energia que a superfície da terra recebe do sol e a quantidade de energia que a terra devolve para o espaço. Este fluxo de energia é constante e garante a existência de vida no planeta Terra. A Terra recebe a energia do sol na forma de luz ou raios ultravioletas, absorvendo uma parte desta energia, sendo que a outra é refletida para o espaço na forma de radiação térmica ou raios infravermelhos. Existe um fenômeno natural chamado efeito estufa, o qual consiste em reter parte da energia térmica devolvida pela Terra à atmosfera, Figura 2.1. A atmosfera consiste em uma capa que envolve todo o planeta e é constituída por gases. Se não existisse essa camada de gases, a temperatura média global seria 30° mais baixa, sendo impossível a vida humana no planeta. Os gases do efeito estufa (GEE) são principalmente:vapor d'água, dióxido de carbono (CO₂), ozônio (O₃), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) e holocarbonos (HFC) (ICLEI, 2005).

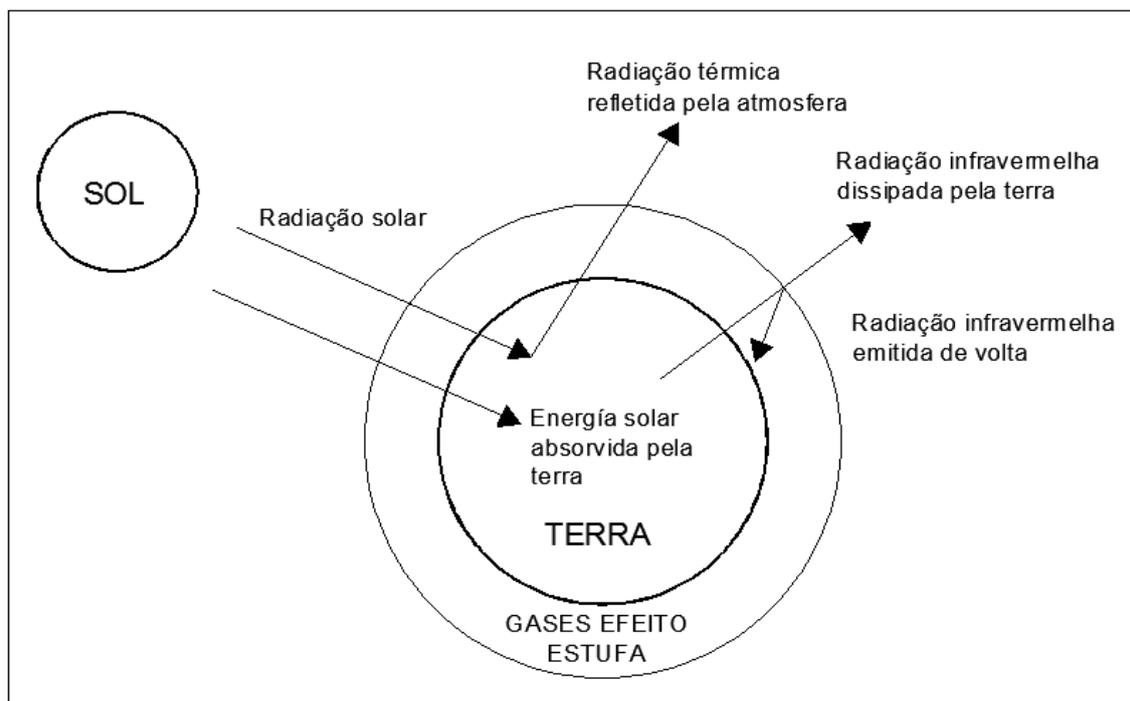


Figura 2.1: Esquema do fenômeno efeito estufa (Modificado de FELIPPETO, 2005).

Se as concentrações dos GEE na atmosfera forem muito grandes, não será possível que o calor gerado pela radiação solar na superfície da Terra seja liberado novamente ao espaço, desequilibrando o funcionamento normal do clima que atualmente é conhecido.

Desde a época pré-industrial o sistema climático do planeta tem mudado de maneira significativa, devido ao aumento dos GEE. Ocasionalmente principalmente pelas atividades humanas como a produção e consumo de energia, transportes, geração de eletricidade através da queima de combustíveis fósseis (carvão mineral, petróleo e gás natural), agricultura, mudanças do uso do solo e em alguns casos da decomposição de resíduos orgânicos.

Nos últimos tempos muitas mudanças ambientais têm se manifestado no planeta devido ao aquecimento global. Como por exemplo: o aumento no nível do mar, a ocorrência de eventos climáticos extremos com maior frequência e maior intensidade: no derretimento das geleiras, nas alterações nos regimes de chuvas, nas mudanças na temperatura dos pólos (LAGO *et al.*, 2005). Estas mudanças drásticas afetam o ecossistema e podem causar a extinção de várias espécies, afetar a saúde pública, a produção de alimentos, a economia dos países e a vida do planeta.

Para estudar as informações científicas das mudanças climáticas foi criado o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) e pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA).

Segundo o terceiro relatório de avaliação apresentado pelo IPCC (2001a), sobre as Mudanças Climáticas, a temperatura média mundial da superfície aumentou em $0,6 \pm 0,2^\circ \text{C}$ no século Vinte. Segundo o IPCC (2001a) a concentração atmosférica do CO_2 era 288 ppm durante o período dos anos 1000 até 1750, sendo elevada a 368 ppm até o ano de 2000 e a concentração de CH_4 no período de anos de 1000 a 1750 foi de 700 ppb e para o ano 2000 foi elevada até 1.750. Observa-se na Figura 2.2 o aumento das variações mundiais da temperatura da superfície da terra durante os últimos 140 anos e na Figura 2.3 as variações no hemisfério norte nos últimos 1000 anos.

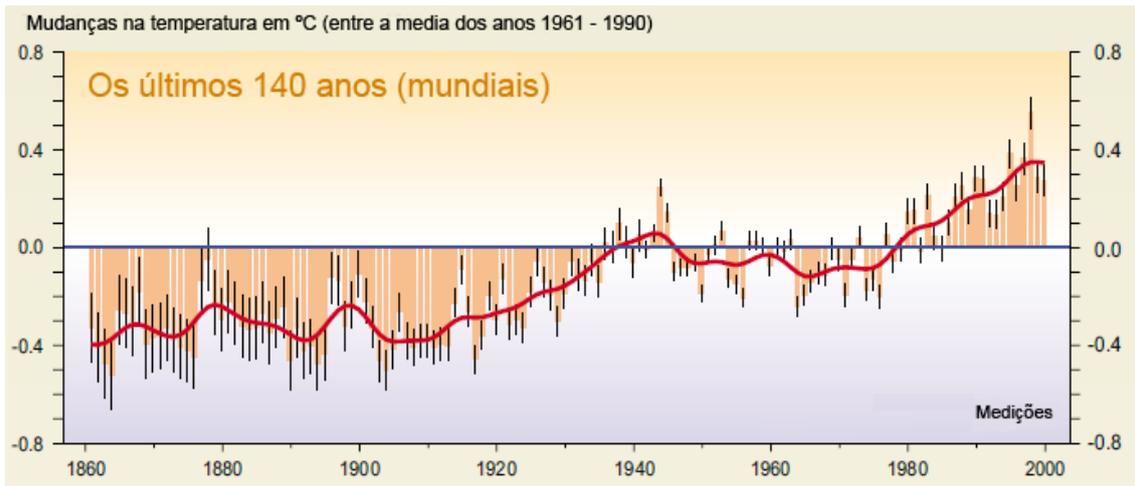


Figura 2.2: Variações na temperatura mundiais (Modificado de IPCC, 2001b).

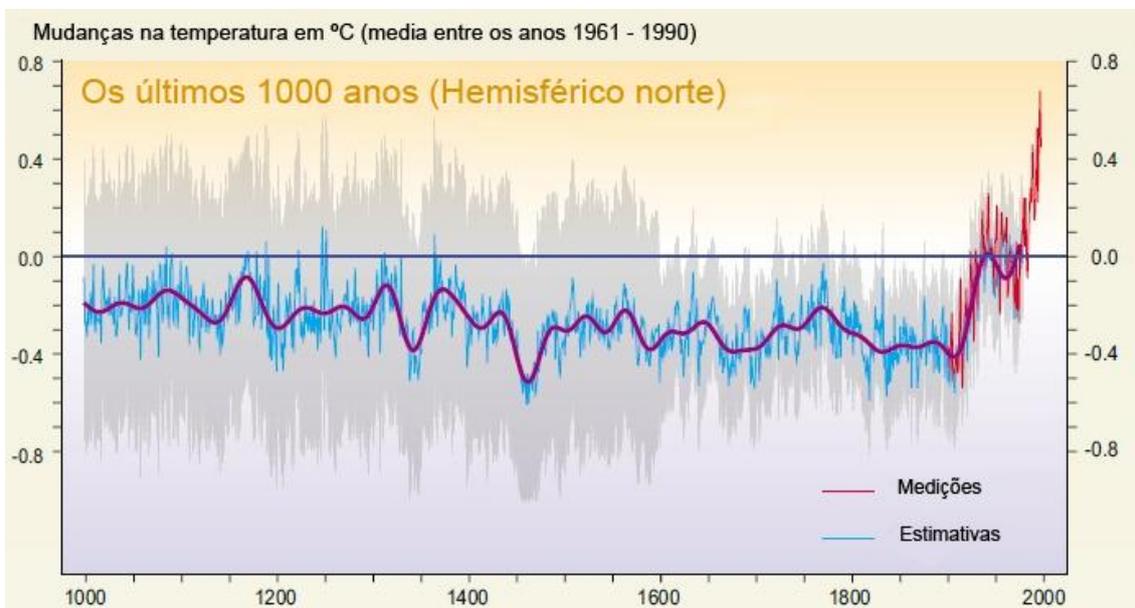


Figura 2.3: Variações na temperatura do hemisfério norte (Modificado de IPCC, 2001b).

Na Figuras 2.4 observa-se o aumento nas concentrações de CO_2 , CH_4 e N_2O nos últimos 1000 anos dos GEE, atribuídos principalmente ao crescimento industrial.

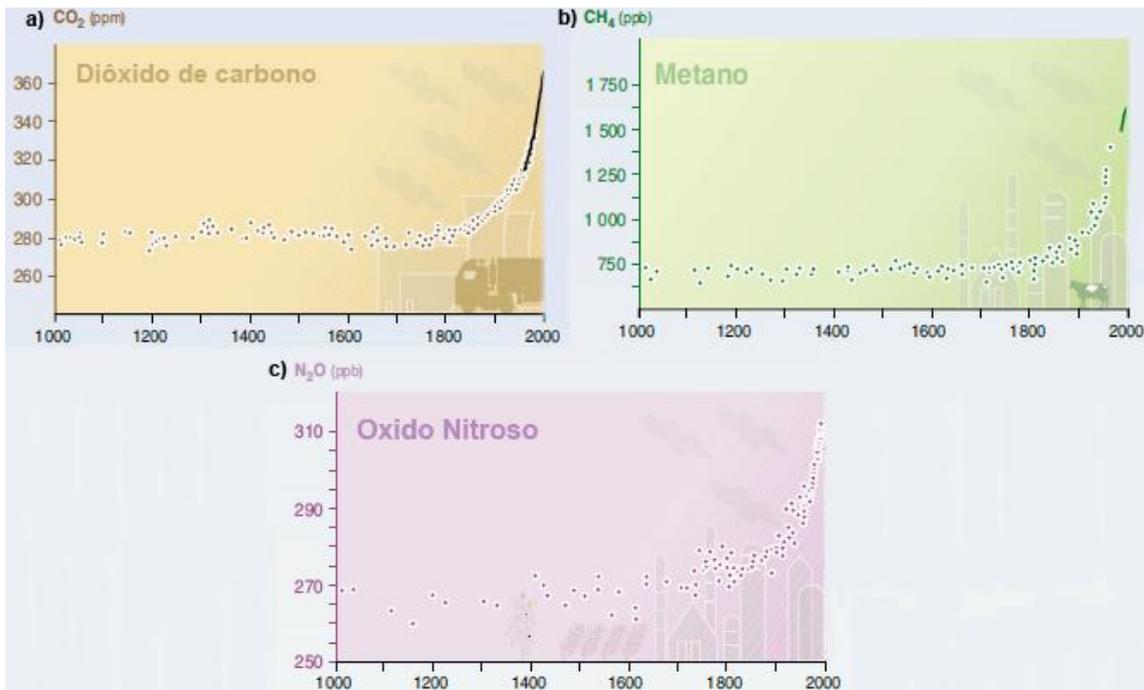


Figura 2.4: Aumento nas concentrações de a) CO₂, b) CH₄ e c) N₂O (Modificado de IPCC, 2001b).

Segundo o IPCC (2007) a emissão do CO₂ é devida em grande parte pelo setor energético, sendo que, outro fator para o aumento desta emissão é o desmatamento. A emissão de CH₄ é gerada pelo cultivo de arroz, a ruminância do gado e a decomposição do lixo orgânico. O N₂O é emitido pelo uso de fertilizantes.

Para medir a influência dos GEE sobre o efeito estufa natural existe o Potencial de Aquecimento Global (PAG), o qual mede a permanência dos GEE na atmosfera ao longo do tempo. Na Tabela 2.1, se apresenta o PAG para os três principais GEE durante períodos de 20, 100 e 500 anos. Apesar do CO₂ ter o PAG menor, é o GEE mais importante devido a sua alta concentração na atmosfera, contribuindo em um total de 60% para o efeito estufa.

Tabela 2.1: Potencial de Aquecimento Global (PAG) para os GEE (IPCC, 2007).

GEE	20 anos	100 anos	500 anos
CO ₂	1	1	1
CH ₄	72	21	7
N ₂ O	310	298	153

2.2 Políticas e normas sobre o clima

Nos últimos anos os países têm se preocupado cada vez mais com a questão das mudanças climáticas devido às evidências de que isto é resultado das atividades humanas. Por meio de reuniões e ações, estão se aplicando medidas para evitar impactos maiores nos recursos naturais existentes, que incentivam e investem em novas tecnologias, projetos de pesquisa, novas técnicas de monitoramento e medições das emissões, entre outros, para desta forma conhecer as quantidades de GEE e ter soluções para este preocupante problema climático.

No ano de 1992 no Rio de Janeiro, foi feita a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCC), que foi muito importante porque com os dados científicos dos relatórios sobre mudanças climáticas realizados pelo IPCC, em 1991, foi possível reconhecer o problema existente. Esta convenção foi realizada como uma primeira iniciativa para criar um processo no qual: se obtivesse um acordo entre os países, com o intuito de empreender ações para desacelerar o aquecimento global. Estas ações consistiram na coleta de dados, pesquisa e observação, com a finalidade de ter um inventário dos países mais responsáveis por este fenômeno. Os países que mais tem emitido ao longo do tempo GEE são os países desenvolvidos, devido à enorme quantidade de carbono que emitiram para a atmosfera nos anos passados. Os países que mais sofrerão os impactos são provavelmente os países menos desenvolvidos, por não ter tecnologias nem recursos financeiros para mitigar os impactos ambientais.

Em 1997, foi criado o Protocolo de Quioto, o qual foi um acordo internacional que regulamentou os compromissos assumidos na UNFCC. Este protocolo estabelece metas e prazos para que os países industrializados (países Anexo I do protocolo) reduzam as emissões em 5% em relação aos níveis de 1990 no período de 2008 a 2010, primeiro período de compromisso. (UNFCC, 2006).

Os países em desenvolvimento não tiveram compromissos específicos de acordo com este protocolo, mas deveriam tentar tomar medidas para mitigar o problema. O protocolo criou mecanismos de flexibilidade para que os países do “Anexo I” conseguissem reduzir suas emissões sem que sua economia fosse tão afetada e, assim,

foram criados os créditos de carbono, estes são uma quantidade de CO₂ que não tem sido emitida para a atmosfera. Os créditos de carbono podem ser negociados entre os países desenvolvidos e os outros países, para cumprir suas metas. Segundo IBAM (2007) os mecanismos criados foram:

- i) Implementação conjunta (IC): os países do Anexo I do protocolo podem financiar projetos em outros países do mesmo grupo.
- ii) Comercio de Emissões (CE): permite negociar créditos de carbono entre países do Anexo I do protocolo.
- iii) Mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL): concede créditos de carbono para projetos que reduzam ou evitem as emissões nos países em desenvolvimento, nos que sua mitigação tenha um custo menor. Desta forma países em desenvolvimento podem ajudar aos países do Anexo I a cumprir suas metas e estes investir em pesquisa e projetos de redução das emissões.

A UNFCCC organiza, a cada ano, a Conferência Internacional sobre as Mudanças Climáticas (COP) para realizar revisões dos resultados atingidos por cada país e para preparar futuros objetivos que substituam o Protocolo de Quioto. Muitas críticas são feitas ao Protocolo de Quioto, por este não ter resultados satisfatórios em frente as metas propostas e devido a países como os Estados Unidos e economias emergentes não terem se comprometido legalmente com o protocolo. Mas apesar disso, o Protocolo de Quioto representou um avanço na questão das mudanças climáticas.

2.3 Resíduos sólidos urbanos

Segundo o UNEP (2005), “resíduos sólidos urbanos” (RSU) é um termo normalmente aplicado a um conjunto heterogêneo de resíduos produzidos nas áreas urbanas, cuja natureza varia de região para região. As características e quantidades dos resíduos sólidos gerados em uma região dependem do nível econômico e estilo de vida dos habitantes dessas regiões, das fontes e abundância de recursos naturais do local.

2.3.1 Quantidades geradas

O constante crescimento populacional, o acelerado processo de urbanização, a forte industrialização, o crescimento do poder aquisitivo e o consumo crescente de produtos menos duráveis ou descartáveis provocaram um acelerado aumento no volume de resíduos gerados nos últimos anos em países como o Brasil.

No entanto, a quantidade de resíduos sólidos gerados depende do desenvolvimento de cada país, o aumento na quantidade é influenciado pelo crescimento e melhora do nível de vida. Na Figura 2.5 se apresentam as quantidades de RSU geradas/habitantes por alguns países em 2008.

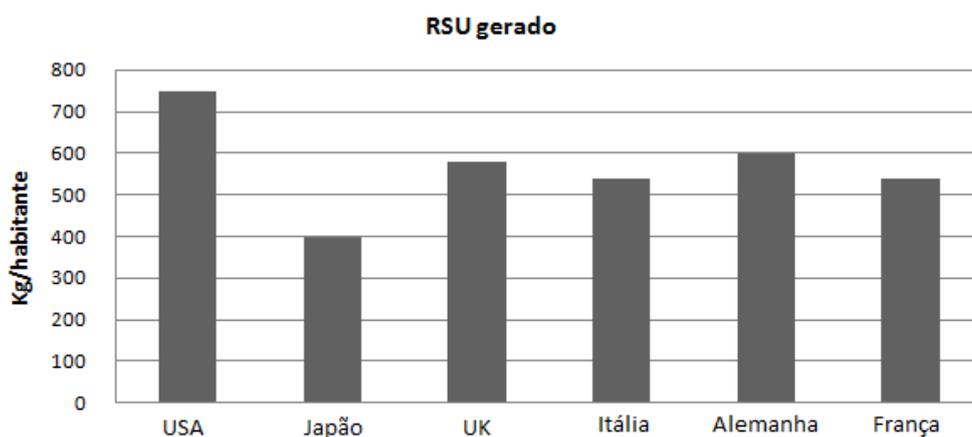


Figura 2.5: Geração de RSU/habitantes por alguns países (Modificado de OECD, 2008).

Segundo o IBGE (2004) as quantidades de lixo coletado no Brasil são apresentadas na Tabela 2.2 para os anos de 1989 e 2000. Observa-se o aumento da quantidade de lixo.

Tabela 2.2: Quantidades do lixo coletadas no Brasil (Modificado de IBGE, 2004).

Ano	Quantidade de lixo total (milhões de t/ano)
1989	35
2000	83

2.3.2 Gestão

Do ponto de vista da gestão dos resíduos sólidos, existem diferentes formas de tratamentos e disposição destes resíduos. Estes tratamentos consistem na compostagem, incineração, tratamento biológico e mecânico, pirólise, reciclagem, e disposição dos resíduos em aterros sanitários, aterros controlados e lixões.

2.3.2.1 Compostagem

Segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT) é um processo biológico de decomposição da matéria orgânica contida em restos de origem animal ou vegetal, que ocorre por agentes biológicos microbianos na presença de oxigênio e em condições físicas e químicas adequadas, que tem como resultado final um produto ou composto orgânico, chamado húmus, que pode ser aplicado ao solo para melhorar suas características sem ocasionar riscos ao meio ambiente (IPT, 2000).

O processo de compostagem pode ocorrer através de dois métodos: o método natural e o método acelerado. No método natural, a fração orgânica do lixo é transportada a um pátio e disposta em montes de forma cônica (pilhas) ou em montes de forma prismática (leiras). A aeração necessária para o processo de decomposição biológica se faz pelos revolvimentos periódicos com equipamentos apropriados. No método acelerado, a aeração é forçada, o que é feito em usinas de tratamento por tubulações perfuradas, sobre as quais se colocam as pilhas de lixo, ou em reatores, dentro dos quais são colocados os resíduos no sentido contrário ao da corrente de ar (IPT, 2000). Na Figura 2.6 se observam as leiras de composto.



Figura 2.6: Leiras de compostagem na usina de Santo André, SP (BIDONE *et al.*, 1999).

No processo de compostagem podem ser apresentar duas etapas diferentes, a etapa de decomposição e a etapa de maturação.

- i) Etapa de decomposição: onde as moléculas complexas se degradam em moléculas orgânicas e inorgânicas mais simples. É um processo exotérmico devido principalmente à atividade biológica. Nesta etapa se apresentam duas fases: uma onde atuam microorganismos mesófilos, na qual as temperaturas atingem até 45°C e a outra fase onde atuam microorganismos termófilos, na qual as temperaturas atingem até 70 °C. Nesta etapa se gera energia que é liberada em forma de calor, e assim, atingindo elevadas temperaturas e eliminando microorganismos patogênicos.
- ii) Etapa de maturação: é composta de duas fases, uma primeira de esfriamento, com temperaturas entre 40 °C e a temperatura ambiente, e uma segunda fase de estabilização, que ocorre na temperatura ambiente e se reduz a atividade microbiana, ocorrendo o processo de humificação. (GÓMEZ,2006).

O processo de compostagem tem influência de fatores como: a granulometria de resíduos, o teor de umidade, a oxigenação, a temperatura, a concentração de nutrientes, o pH e a relação Carbono/Nitrogênio.

As vantagens deste tratamento são a grande redução do volume do lixo, o aproveitamento do húmus no setor agrícola, eliminação de patógenos e a economia no tratamento de efluentes, além da redução do volume original de RSU. Porém, o processo deve ser muito cuidadoso, controlando-se muito bem os fatores que influenciam este tipo de tratamento para que assim, se obtenham os resultados desejados.

2.3.2.2 Incineração

A incineração é um processo que consiste na queima de resíduos em unidades especiais que permitam uma combustão completa, destruindo os componentes orgânicos presentes e obtendo como sub-produto cinzas inertes e geração de energia.

Ao longo do tempo diferentes processos de incineração têm existido na busca deste objetivo. Segundo ARANDA *et al.* (2001), o atual processo de incineração consiste em dois estágios (vide Figura 2.7).

- i) Primeiro estágio: inicialmente o resíduo é queimado numa câmara primária, a qual é a receptora direta do lixo, em uma temperatura suficientemente alta para que algumas substâncias do resíduo se tornem gases e outras se convertam em pequenas partículas. Esta temperatura de operação varia regularmente de 500 °C a 900 °C. Nesta câmara se controlam os gradientes de temperatura pela alimentação de oxigênio e se evita a volatilização de grandes quantidades de metais presentes no lixo. Ao final da operação, a parte sólida é reduzida de 4 a 8% do volume original, ficando o material com um aspecto de cinza, além de ser totalmente esterilizado e apto para ser aterrado ou empregado na elaboração de tijolos, capeamento de estradas, etc.

- ii) Segundo estágio: a fase gasosa gerada na câmara primária é encaminhada para a câmara secundária, onde, esta mistura de gases e partículas é queimada a uma temperatura mais alta por um intervalo de tempo suficiente para que haja uma combustão completa destes gases. Neste estágio a atmosfera é altamente oxidante (excesso de oxigênio) e a temperatura varia entre 750 °C a 1250 °C. Os diversos gases gerados na câmara anterior são oxidados a CO₂ e H₂O. Nessa temperatura, a probabilidade de existência de moléculas com grande número de átomos de dioxinas e furanos (compostos altamente nocivos aos seres humanos) é praticamente zero.

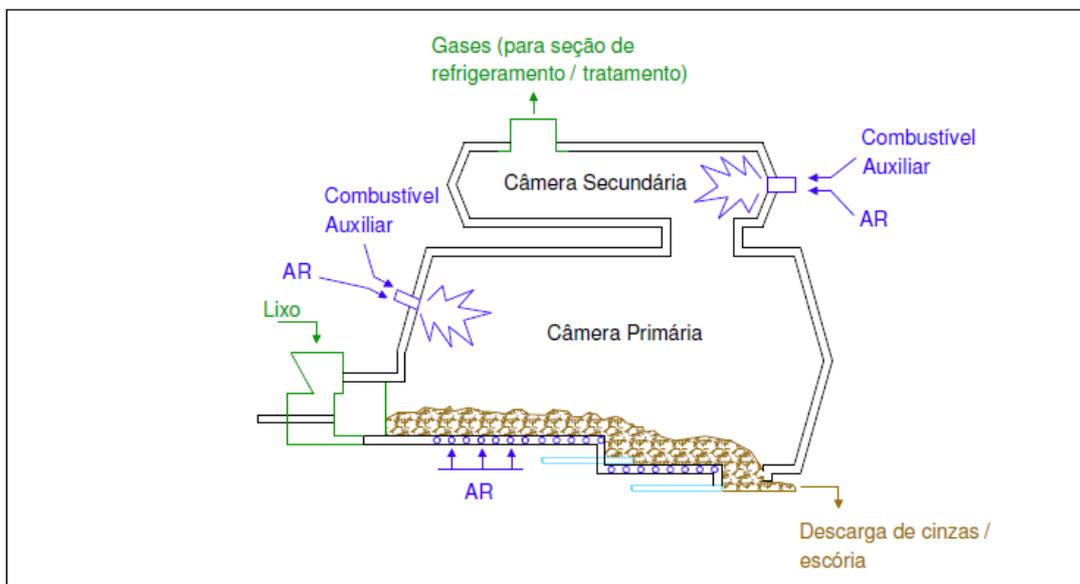


Figura 2.7: Processo de incineração (ARANDA *et al.*, 2001).

Os benefícios da incineração são a redução do volume, a recuperação da energia durante a combustão, a depuração de gases e o tratamento de recirculação de líquidos. As desvantagens são: a necessidade de uma separação precisa dos resíduos, retirando metais e vidros antes de ir ao incinerador e, também, há a emissão de grandes quantidades de CO₂.

2.3.2.3 Pirólise

Segundo NETO, (2007) a pirólise é um processo de decomposição física e química da matéria orgânica em altas temperaturas 700 a 1100 °C, na ausência de oxigênio, resultando na queima dos resíduos. Este processo não tem somente como objetivo a redução do volume do lixo orgânico, mas também o aproveitamento do mesmo como fonte energética, podendo ser gerado óleo, carvão ou gás. A pirólise é uma tecnologia altamente sofisticada, com elevado custo de implantação e manutenção.

2.3.2.4 Pre-tratamento mecânico e biológico

De acordo com MÜNNICH *et al.* (2001), a técnica foi pesquisada pela Universidade Técnica de Braunschweig da Alemanha, sendo este procedimento um método simples e eficaz de tratamento de RSU, que obtém uma proteção ambiental com um mínimo de custo. É um sistema de pré-tratamento com auto-aeração de leiras que funciona sem a utilização de fontes energéticas externas. Suas vantagens incluem: a flexibilidade de construção modular, a flexibilidade das condições locais e dos parâmetros do RSU (composição e quantidade). A experiência na Alemanha mostrou que, após o tratamento de resíduos sólidos urbanos, as emissões de gases de aterro são reduzidas em 90%.

A primeira etapa do pré-tratamento consiste em classificar os materiais de grande tamanho e componentes que possam causar problemas ao tratamento mecânico. Nesta etapa, os resíduos são levados a um tambor fechado e são triturados, sendo o teor de umidade controlado pela adição de água. Após esta etapa de tratamento mecânico, os resíduos são transportados e colocados em leiras para o tratamento biológico. O resíduo permanece nas leiras com aeração livre por cerca de nove meses. Depois desta etapa, com o RSU apresentando um teor de água de aprox. 30%, se faz um segundo peneiramento onde é possível separar o plástico restante, o material restante pode ser colocado diretamente em camadas finas sobre o aterro (MÜNNICH *et al.*, 2002).

Na Figura 2.8 pode se observar as leiras instaladas em caráter experimental no Rio de Janeiro, onde o RSU permaneceu durante o tratamento biológico.



Figura 2.8: Leiras do pré-tratamento mecânico biológico (MÜNNICH *et al.*, 2002).

2.3.2.5 Reciclagem

É o processo mediante o qual os resíduos são recuperados como matéria prima ou servem como fonte de energia. Estes materiais podem ser novamente aproveitados. O processo começa com a separação dos materiais que podem ser reutilizados, tais como vidros, papéis, papelão, embalagens tetra pack, plásticos, madeiras, metal, pilhas, baterias, entre outros. A reciclagem tem benefícios ambientais, sociais, e econômicos, além de reduzir o volume dos resíduos que irão ser dispostos no aterro, diminuindo por consequência a utilização dos recursos naturais, gerando um aproveitamento energético, reduzindo a emissão de GEE, diminuindo dos custos de matéria prima e gerando de empregos.

2.3.2.6 Disposição final dos resíduos

A disposição final dos resíduos pode ser dar de três formas diferentes, o lançamento a céu aberto (ou lixão), ou o aterramento em aterros controlados ou aterros sanitários.

A disposição em lixões consiste no descarregamento dos resíduos em um local sobre o solo, sem nenhum tipo de controle e sem medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública. É a pior alternativa de disposição dos resíduos, já que gera grandes problemas como fortes odores, contaminação das águas superficiais e subterrâneas e proliferação de vetores como ratos, moscas, baratas, mosquitos.

Os aterros controlados é a situação em que a disposição dos resíduos foi feita em um local que não foi projetado inicialmente com as normas necessárias para este fim, em que, posteriormente, são tomadas as precauções tecnológicas necessárias durante o período de operação do aterro. Estas práticas podem ser o recobrimento dos resíduos com argila, minimizando os impactos ao meio ambiente e à saúde, drenagem e coleta do lixiviado e controle das emissões gasosas. Esta prática não é completamente adequada, mas é preferível à disposição dos resíduos a céu aberto.

Segundo CONDER (2002) o aterro sanitário é uma forma de disposição final de resíduos, projetado para receber e tratar o lixo produzido pelos habitantes de uma cidade, com base em estudos de engenharia, para reduzir ao máximo os impactos causados ao meio ambiente. No processo de decomposição dos resíduos sólidos, ocorre a liberação de gases e líquidos (lixiviado ou percolado) muito poluentes, o que leva um projeto de aterro sanitário a exigir cuidados como impermeabilização do solo, implantação de sistemas de drenagem eficazes, monitoramento, entre outros, evitando uma possível contaminação da água, do solo e do ar.

Na figura 2.9 se apresentam os tipos de destino final para o RSU, que são adotados por alguns países, em porcentagem. Na figura 2.10 se pode observar o destino do RSU no Brasil, nota-se que a maior quantidade dos resíduos vai aos lixões, depois a aterros controlados, aterros sanitários e de resíduos especiais, e em menor quantidade à usina de reciclagem, incineração. Na Figura 2.11 se pode observar o destino final dos resíduos no estado do Rio de Janeiro, o qual segue a tendência brasileira (IBGE, 2000).

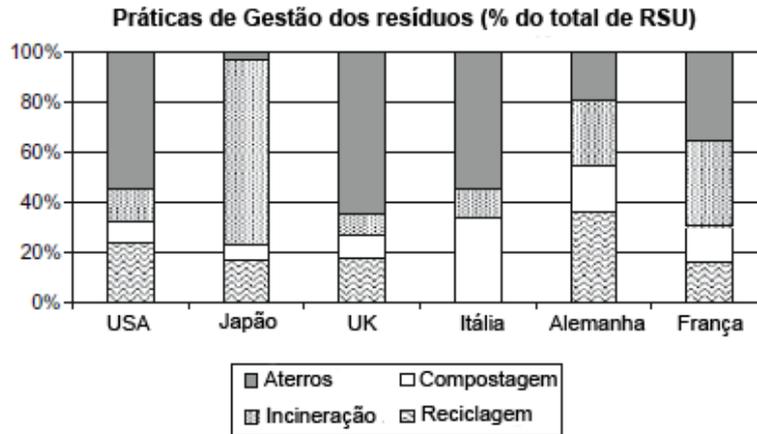


Figura 2.9: Destino final dos resíduos em alguns países (Modificado de OECD, 2008 apud GIUSTI, 2009).

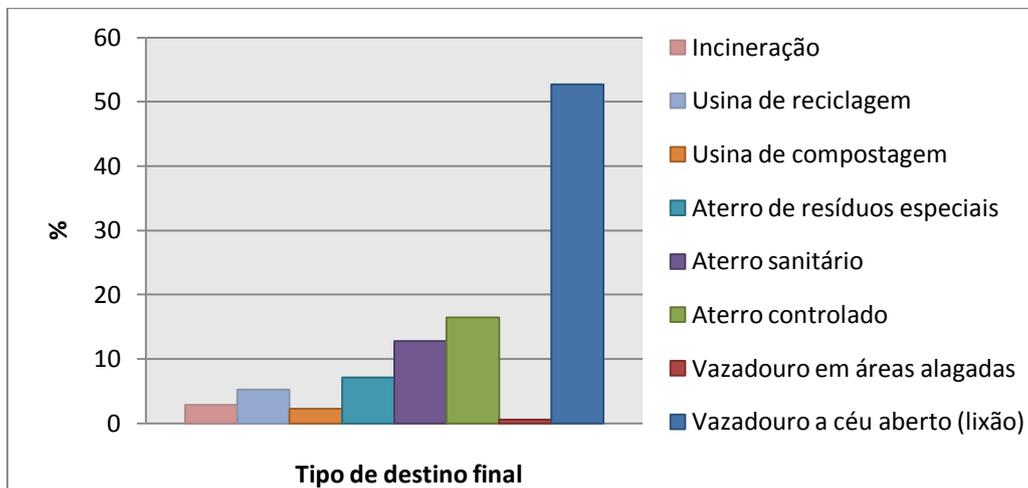


Figura 2.10: Destino final dos resíduos no Brasil em % (IBGE, 2000).

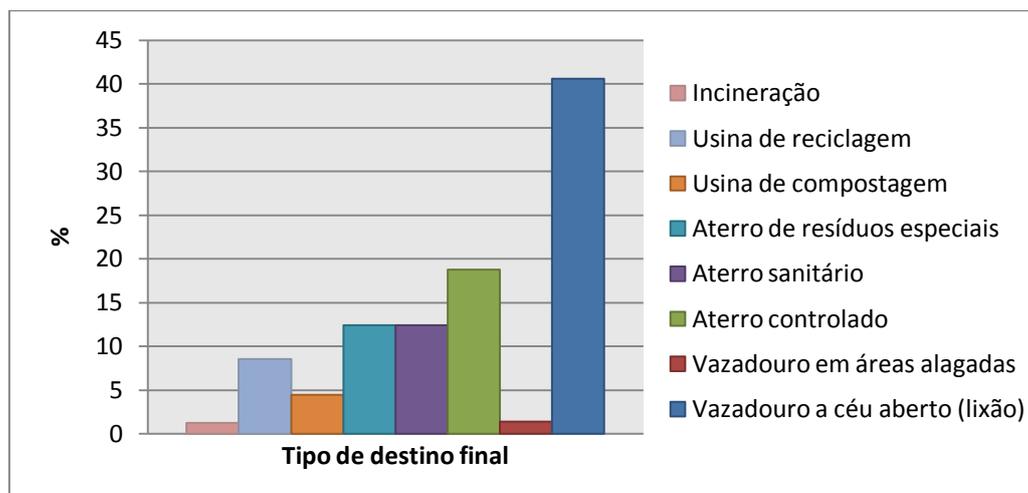


Figura 2.11: Destino final dos resíduos no estado do Rio de Janeiro em % (IBGE, 2000).

2.4 Métodos Construtivos de Aterros Sanitários

Como observado nas Figuras 2.10 e 2.11, o destino final mais comum do RSU no Brasil e no Rio de Janeiro são os lixões, aterros controlados e aterros sanitários e, em menor quantidade a utilização de diferentes alternativas para reduzir o volume dos resíduos como a reciclagem, a reutilização dos resíduos, as usinas de compostagem, e a incineração. Por estas razões, é de grande importância o adequado projeto e operação de aterros sanitários, que é entre as três alternativas de aterramento de resíduos a mais correta.

O principal objetivo de um aterro sanitário é o de não poluir ou degradar ao meio ambiente, controlando as águas superficiais, águas subterrâneas e gases emitidos à atmosfera, assim, minimizando as emissões de contaminantes e reduzindo os impactos à saúde pública.

Os métodos de execução de um aterro são variados, mas o método construtivo em geral consiste em um sistema de revestimento de fundo, colocação do resíduo em células e camada com drenagem de lixiviado, sistema de cobertura de solo intermediária, sistema de cobertura final, sistema de drenagem superficial e sistema de coleta e controle de gases. Na Figura 2.12, 2.13 e 2.14 são apresentadas estas etapas.

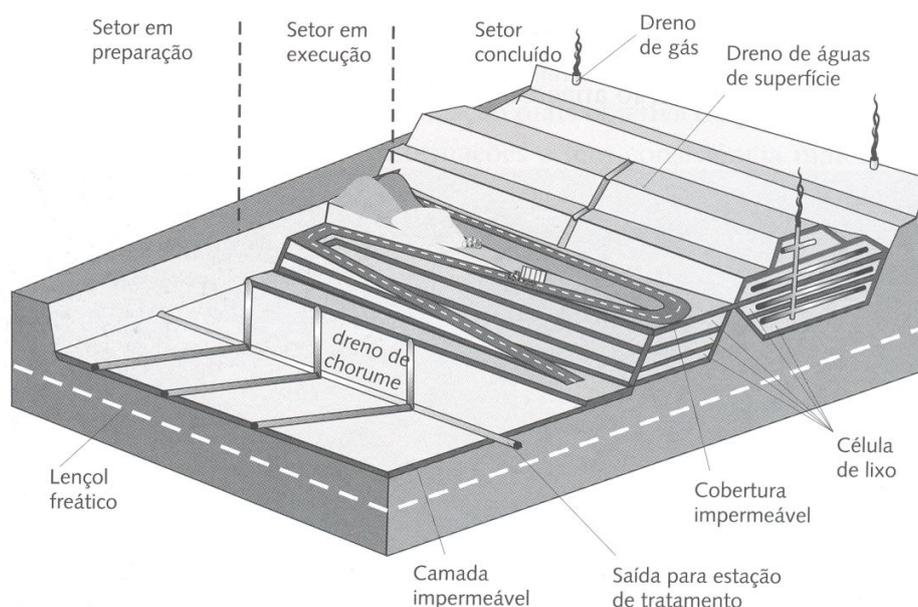


Figura 2.12: Etapas de um aterro sanitário (IPT, 2000).

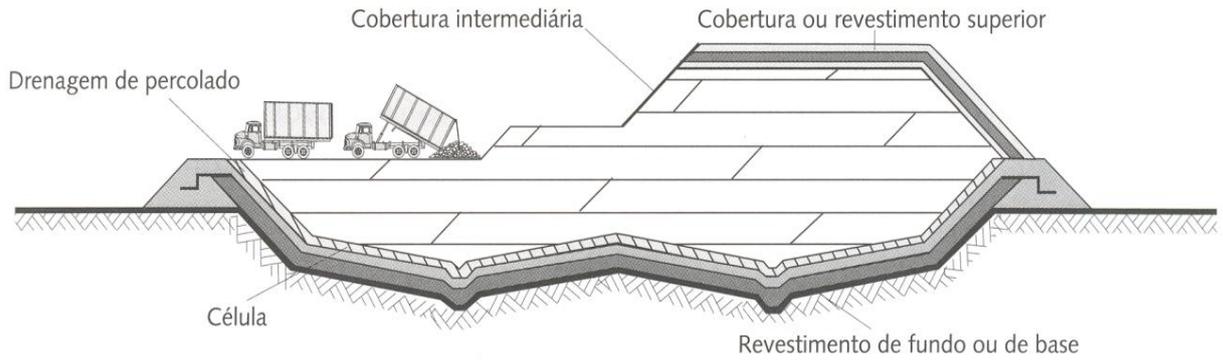


Figura 2.13: Corte esquemático de um aterro dividido em células (Modificado de QIAN *et al.*, 2002).

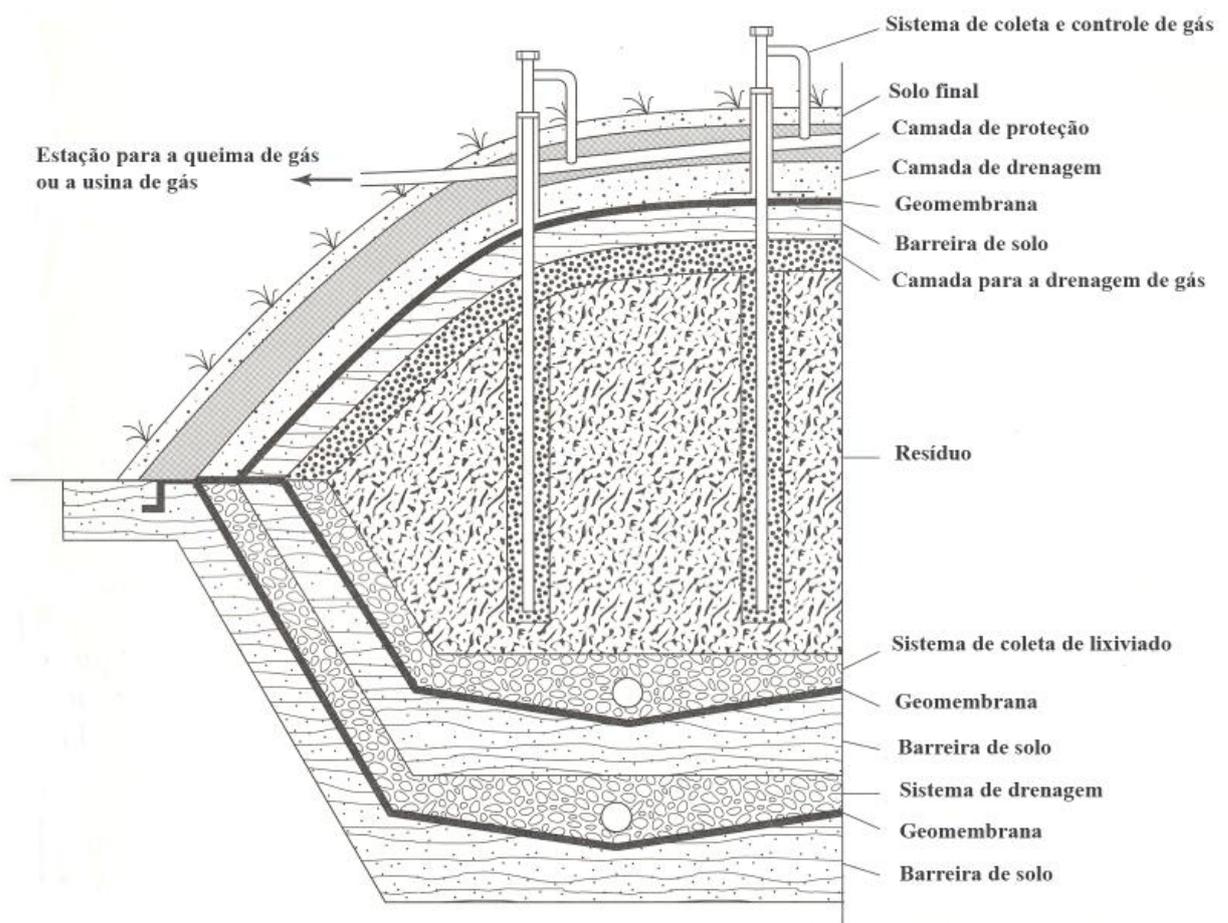


Figura 2.14: Corte esquemático de um aterro sanitário de resíduos classe 1 e seus componentes (Modificado de QIAN *et al.*, 2002).

A seguir são descritas detalhadamente as etapas do processo construtivo geral de um aterro sanitário e seus componentes principais:

- i) Sistema de revestimento de fundo: a área escolhida para a execução do aterro sanitário é recoberta com um revestimento inferior e lateral. Objetivo deste revestimento é de isolar os RSU do solo e evitar a contaminação ao aquífero subjacente ao aterro. Este recobrimento atua como uma barreira contra o transporte advectivo (hidráulico) e o transporte difusivo (de concentrações) do soluto do lixiviado. O sistema consiste em uma ou varias camadas impermeabilizantes e por camadas de drenagem. (QIAN *et al.*, 2002)

Para a impermeabilização podem ser utilizadas camadas de solo compactado, geossintéticos (geomembrana, ou geocomposto argiloso para barreira impermeável), ou uma combinação destas. A camada drenante tem por objetivo coletar o lixiviado e reduzir a carga hidráulica sobre a impermeabilização. A camada drenante consiste em uma camada de material granular de alta permeabilidade (brita), protegida por uma camada de separação e filtração (areia ou geotextil), dentro desta camada é colocada uma tubulação perfurada resistente ao ataque químico do lixiviado (por exemplo, tubulação de polietileno de alta densidade, PEAD), esta tubulação conduz o lixiviado a uma trincheira ou reservatório para seu posterior bombeamento e tratamento.

Na Figura 2.15 apresenta-se um esquema ilustrativo de um revestimento de fundo e na Figura 2.16 é possível visualizar a construção deste sistema.

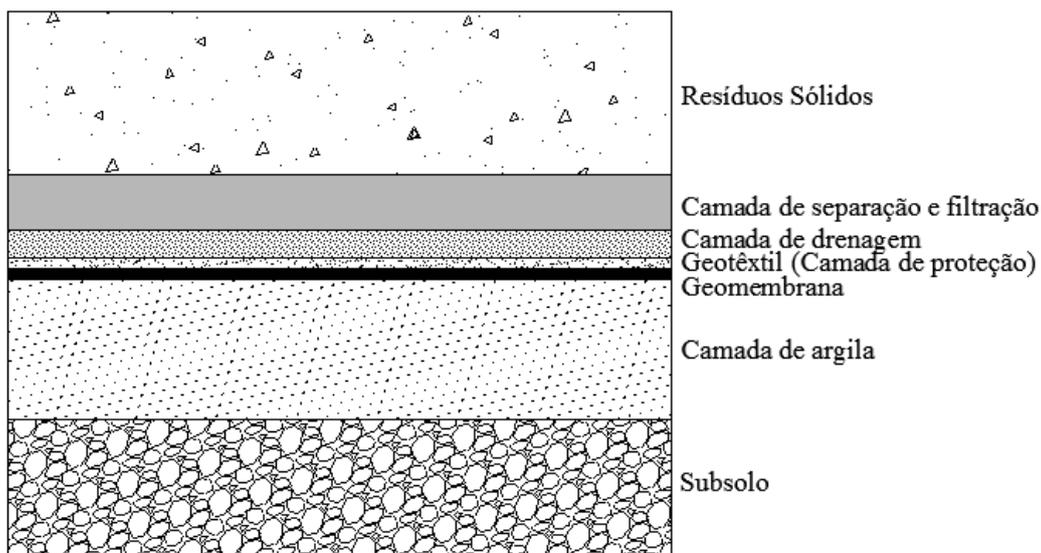


Figura 2.15: Esquema ilustrativo de revestimento de fundo.



Figura 2.16: Sistema de revestimento de fundo do Aterro, a) impermeabilização e b) sistema de drenagem (FELIPPETO, 2006).

- ii) Colocação do resíduo em células e em camadas: os resíduos são colocados e compactados, com alturas de camadas entre três e cinco metros. Na base das células existe drenagem para o lixiviado. A disposição das células pode se dar em varias configurações geométricas, como se apresenta na Figura 2.17. Estas configurações consistem em:

- a) Método de área: é utilizado em terrenos onde se realiza pouca ou nenhuma escavação. Normalmente realizado em áreas onde o lençol freático é alto ou onde há dificuldade de executar as escavações.
- b) Método de trincheira: os resíduos são dispostos em varias valas profundas e estreitas. É geralmente utilizado quando as quantidades de resíduos são poucas.
- c) Método de disposição sobre e embaixo do terreno: é uma combinação do método de área e o método de trincheira. A profundidade de escavação normalmente depende da profundidade da camada de argila no terreno ou do nível freático.
- d) Método de vala: os resíduos são dispostos quando o terreno é irregular. (QIAN *et al.*, 2002)

iii) Sistema de cobertura de solo intermediária: cada célula de resíduo é coberta diariamente por material argiloso, de espessura de 15 a 30 cm. Esta cobertura se faz com o intuito de isolar as células umas de outras, diminuir o mau cheiro, evitar a infiltração das águas e não permitir a proliferação de vetores durante a execução do aterro.

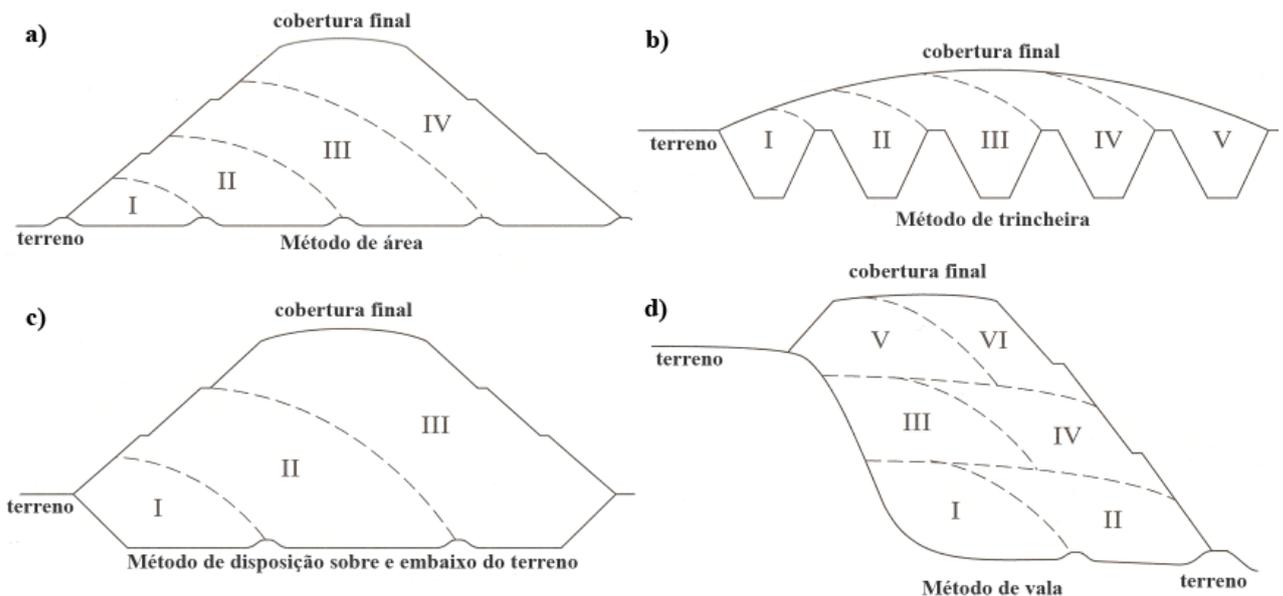


Figura 2.17: Métodos de disposição dos resíduos em um aterro sanitário, a) método de área, b) método de trincheira, c) método de disposição sobre e embaixo do terreno e c) método de vala (Modificado de QIAN *et al.*, 2002).

- iv) Sistema de cobertura final: sobre a última camada de RSU, no topo do aterro, é colocado este sistema de cobertura final. É constituído de camadas de drenagem e camadas de impermeabilização. Os objetivos principais deste sistema são de minimizar a infiltração de águas para reduzir a geração de lixiviado, controlar a saída de gases para a atmosfera e isolar os resíduos ao exterior.

A cobertura é geralmente composta pelas camadas apresentadas na Figura 2.18. A camada de cobertura, fica então, composta por uma camada de regularização do nível do aterro, uma camada para a drenagem do gás (com material granular), uma camada de barreira hidráulica (geomembrana, solo compactado e/ou geocomposto argiloso), uma camada de proteção (de geotêxtil), camada drenante de água pluviais (de material granular), camada de separação e filtração e por último uma camada de solo de cultivo para evitar a erosão.

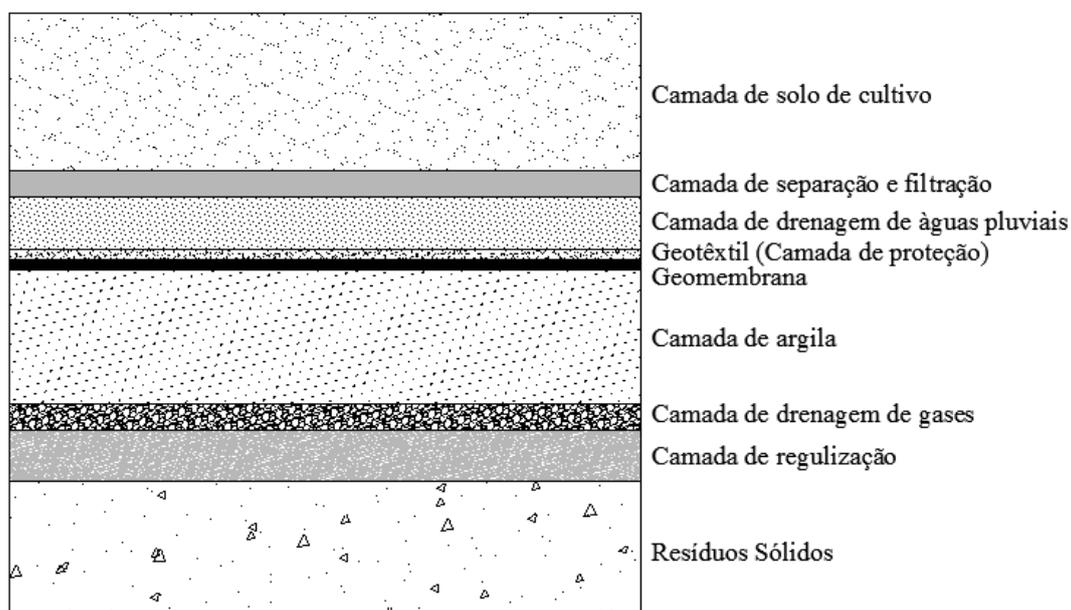


Figura 2.18: Esquema ilustrativo do sistema de cobertura final.

- v) Sistema de drenagem superficial: este sistema coleta as águas superficiais que chegam ao aterro, evitando a infiltração das mesmas. O sistema de drenagem superficial é constituído por canaletas de concreto, escadas

hidráulicas, tubulações, gabiões, canais e estruturas de amortecimento de energia.

- vi) Sistema de coleta e controle de gás: para a coleta dos principais gases gerados pela decomposição da matéria orgânica dos resíduos (CH_4 e CO_2) são colocados drenos verticais (tubos de concreto perfurados e envoltos por material granular) e camadas horizontais. Estes gases são transportados por este sistema de gás e podem ser utilizados para a produção de energia ou queimados em *flares*. Na Figura 2.19 pode se observar a instalação de drenos para os fluxos de gás em aterros que não possuem drenagem desde o começo da operação do aterro.

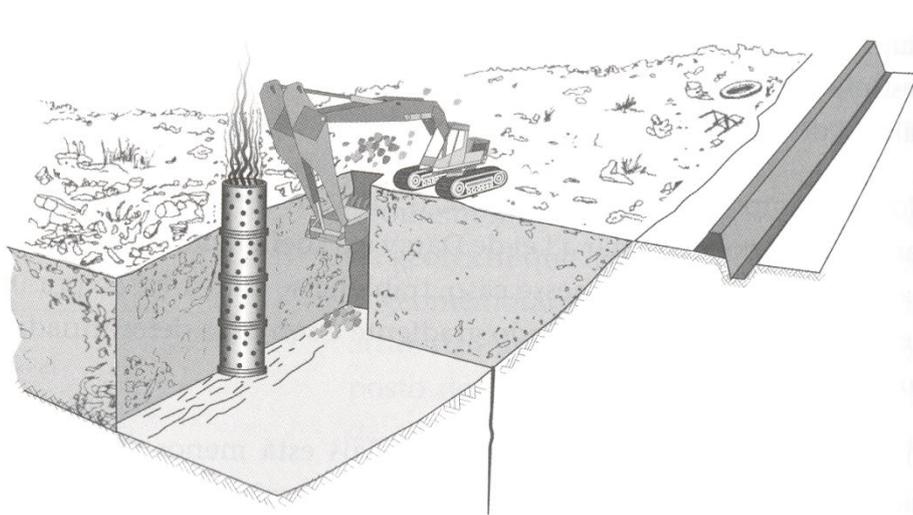


Figura 2.19: Instalação de drenos para fluxo de gás em um aterro não controlado (IPT, 2000).

2.5 Processo de geração de biogás a partir da degradação de RSU

O aterro pode ser compreendido como um grande reator bioquímico, onde há a entrada de resíduos sólidos (matéria orgânica e inorgânica depositada) e a água, sendo os principais produtos o lixiviado e o gás gerado.

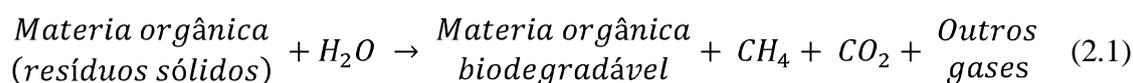
Segundo UNEP (2005) a geração de biogás a partir da degradação dos resíduos sólidos “biogásificação” é definida como um processo biológico em que os microorganismos em condições anaeróbias decompõem a matéria orgânica para produzir gases, sendo o CH_4 o principal gás produzido e secundariamente o CO_2 e

outros gases. Na Tabela 2.3 pode se observar a constituição dos gases gerados nos aterros de RSU.

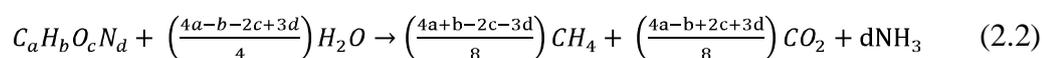
Tabela 2.3: Composição típica do gás de aterros RSU (Modificado de EMCON, 1998, apud QIAN *et al.*, 2002).

Componente	%
Metano (CH ₄)	45-58
Dióxido de carbono (CO ₂)	35-45
Nitrogênio (N ₂)	1-20
Oxigênio (O ₂)	1-5
Hidrogênio (H ₂)	1-5
Vapor de água (H ₂ O)	1-5
Outros gases	1-3

A reação química geral de decomposição anaeróbia da matéria orgânica dos RSU é apresentada na Equação 2.1 e Equação 2.2. Pode se observar que a reação requer a presença de água, sendo assim, caso as condições hidrológicas no local dos aterros sejam afetadas significativamente a velocidade e a taxa de produção o gás também serão afetadas. (TCHOBANOGLIOUS *et al.*, 1994)



ou



2.5.1 Fases da degradação da matéria orgânica

A geração do biogás se dá em cinco fases, segundo QIAN *et al.* (2002), apresentada na Figura 2.20.

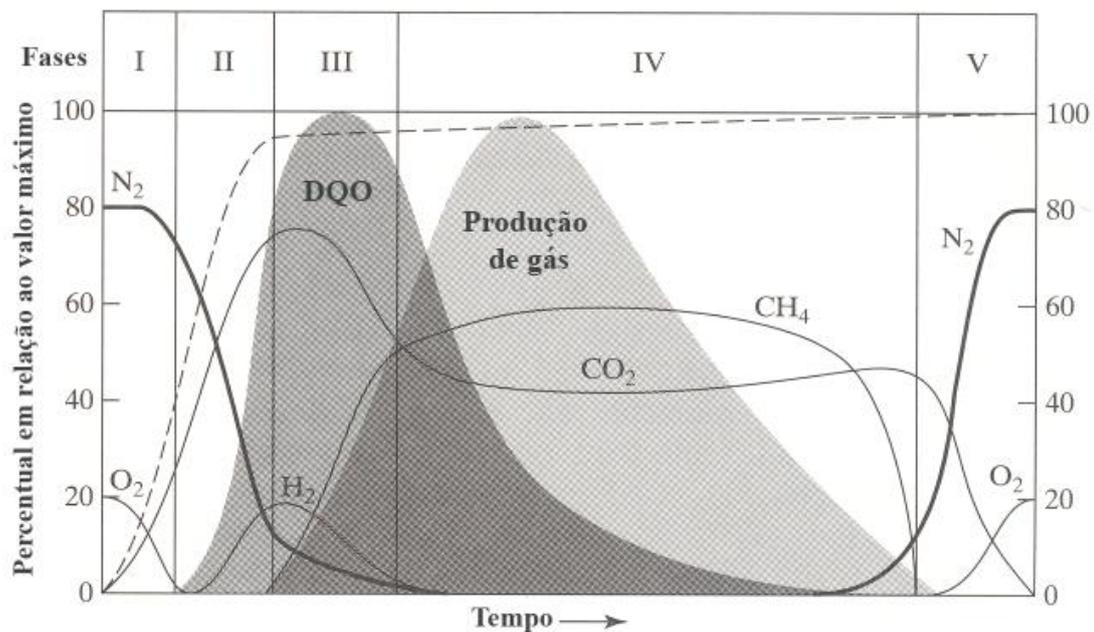


Figura 2.20: Geração de gases em um aterro de RSU com o tempo (Modificado de UKDOE, 1993, apud QIAN *et al.*, 2002).

Segundo QIAN *et al.* (2002), inicialmente a distribuição dos gases no aterro é similar a dos gases na atmosfera, tendo aproximadamente 80% de N₂, 20% de O₂ e alguma quantidade de CO₂ juntamente com outros compostos. A decomposição aeróbia começa quando os resíduos são gerados no aterro e continua até que todo o oxigênio seja esgotado do material orgânico e dos vazios da massa de RSU. As bactérias aeróbicas produzem um gás, caracterizado por temperaturas relativamente altas (54°C-71°C), conteúdo de CO₂ e ausência de CH₄. Outros subprodutos produzidos são a água, resíduos orgânicos e calor. Depois que todo o O₂ tenha se esgotado, a decomposição entra em uma fase de transição, em que as bactérias formadoras de ácidos começam hidrolisar e fermentar os componentes orgânicos complexos dos resíduos. Em seguida, a decomposição entra em uma fase anaeróbia, durante a qual as bactérias que formam o CH₄ prosperam em um ambiente deficiente de O₂. Estudos mostram que a produção dos gases anaeróbios se dá em temperaturas de 38-54°C, com concentrações de CH₄ entre 45-57% e as concentrações de CO₂ entre 40-48%. A produção de gás em condições anaeróbias continuará até que todo o material composto por carbono se esgote ou até que seja reintroduzido oxigênio no resíduo. Na Tabela 2.4 se apresenta um resumo e uma descrição das fases do processo. O tempo de duração total de geração de gás em aterros de RSU pode ser de 10 a mais de 80 anos, sendo o tempo menor considerado

para aterros que são utilizados como bioreatores, e os tempos maiores considerados para os aterros convencionais.

Tabela 2.4: Resumo das fases da geração de gás em aterros de RSU (Modificado de EMCON, 1998, apud QIAN *et al.*, 2002).

Fase	Nome	Atividade primaria
I	Aeróbia	Diminuição de O ₂ no gás do aterro. (varias horas a 1 semana)
II	Aeróbia/Geração de ácidos	Formação de ácidos graxos livres, estando na sua maxima produção e começando a produção de CH ₄ . (1 a 6 meses)
III	Transição para anaeróbia	As concentrações de CH ₄ e CO ₂ se estabilizam e não tem presença de N ₂ no aterro. (3 meses a 3 anos)
IV	Anaeróbia	As concentrações de CH ₄ e CO ₂ começam a reduzir-se e um pouco de N ₂ (ar) retorna ao sistema. (8 a 40 anos)
V	Transição para estabilização	O gás é primordialmente ar e toda a decomposição anaeróbia é completada. (1 a mais de 40 anos)

2.5.2 Fatores que influenciam o processo

Existem diferentes fatores que influenciam a geração de gases nos aterros, estes fatores são discutidos a seguir:

- i) Composição física: a caracterização física é função dos diferentes materiais que compõe o RSU (papel, papelão, resíduos de comida, madeira, tecidos, borracha e couro, folhas, plásticos, vidros, metais, entre outros), sendo que, a porcentagem de cada um destes materiais influi diretamente no potencial de geração de CH₄, devido ao seu potencial de biodegradabilidade. Os resíduos de comida são os que apresentam maior biodegradabilidade devido a seu alto conteúdo de matéria orgânica, a qual será mais rapidamente decomposta.
- ii) Composição química: a produção de biogás é acelerada com aumento de nutrientes de origem orgânica. Segundo BIDONE *et al.* (1999), a relação de C:N considerada como ótima para a estabilização anaeróbia é de 30:1, os RSU apresentam uma relação de C:N de 50:1.

- iii) Umidade: depois da composição do resíduo, este é o fator mais significativo na produção de gases nos aterros de RSU, já que o teor de umidade é essencial para o processo de decomposição.

- iv) Temperatura: existe uma relação direta entre a intensa atividade biológica e o nível de temperatura. Cada classe de microrganismos tem um intervalo tolerável para sua sobrevivência. Segundo UNEP (2005), para que as bactérias mesofílicas possam viver devem ter uma temperatura mínima entre 10-15°C, um valor ótimo de 35-38°C e uma temperatura máxima aproximada de 45°C. As bactérias termofílicas, uma temperatura mínima de 35-38°C, um valor ótimo de 50-55°C e temperatura máxima de 70-75°C. Segundo QIAN *et al.* (2002), a temperatura ótima para as bactérias mesofílicas é de 30-35°C e as bactérias termofílicas de 45-65°C. Segundo IBAM (2007), a faixa ótima de temperatura para a geração de metano é de 30°C a 40°C, sendo que temperaturas abaixo dos 15°C propiciam severas limitações para a atividade metanogênica.

- v) pH: o ótimo intervalo de pH para as bactérias é de 6,7 a 7,5. Com o intervalo ótimo de pH, pode se obter uma alta taxa de crescimento de bactérias metanogênicas, aumentando a produção de CH₄. Fora deste intervalo (pH menor que 6 e maior que 8), a produção de CH₄ pode ser seriamente limitada. Segundo QIAN *et al.* (2002) a maioria dos aterros de RSU tendem a apresentar ambientes ácidos.

- vi) Outros fatores: características físicas como tamanho das partículas, densidade, homogeneidade, potencial de oxido-redução, forma de construção e operação do aterro, e as dimensões do aterro, podem influenciar a produção de gás.

2.6 Deslocamento de gases em aterros de RSU

O gás é gerado pela degradação dos resíduos no aterro. A migração deste gás ocorre por dois mecanismos, a advecção e a difusão. É possível que a migração de gás também se deva aos gradientes de temperatura. (QIAN *et al.*, 2002)

- i) Advecção: é o transporte devido a gradientes de pressão que são formados pela produção de gás. Os gases são transportados tentando igualar estas diferenças de pressão. A advecção é resultado também de forças de empuxo porque o CH_4 é mais leve do que o CO_2 e o Ar.

- ii) Difusão: é o transporte de substâncias induzidas pelos gradientes de concentração. A decomposição anaeróbia produz grandes concentrações de CH_4 e CO_2 . O fenômeno da difusão tende a fazer com que exista um equilíbrio de concentrações, desta forma fazendo com que o CH_4 e o CO_2 migrem de dentro do aterro para a atmosfera.

A migração dos gases no aterro segue a trajetória de menor resistência. Um exemplo disso são os caminhos preferências, tais como: trincas, fissuras no solo de cobertura que facilitam a passagem do gás para a atmosfera. Porém, a facilidade com que o gás se movimenta verticalmente ou horizontalmente dentro do aterro de RSU depende de vários fatores, tais como: as características do tipo de aterro, do tipo de solos próximos ao aterro, do tipo de resíduo, da compactação dos resíduos, do tipo de cobertura final e diária utilizada, entre outros. Se o aterro tem um sistema de impermeabilização de fundo, como um *liner* de argila ou geomembrana, e a cobertura dos resíduos é feita com solos arenosos, o gás tenderá a migrar verticalmente, como pode se observar na Figura 2.21. O gás tenderá a migrar horizontalmente em direção a um solo de alta permeabilidade caso o aterro: não possua um sistema de impermeabilização de fundo; o solo localizado ao seu redor tiver alta permeabilidade; e a cobertura for composta por uma geomembrana em conjunto com um solo argiloso (Figura 2.22).

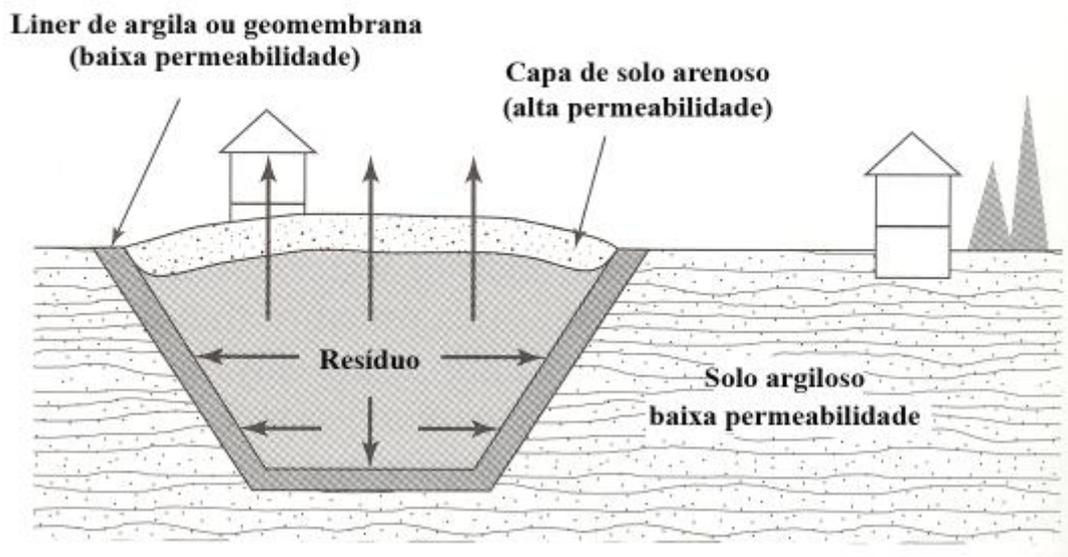


Figura 2.21: Migração vertical do gás em aterros. (Modificado de USEPA, 1994, apud QIAN *et al.*, 2002).

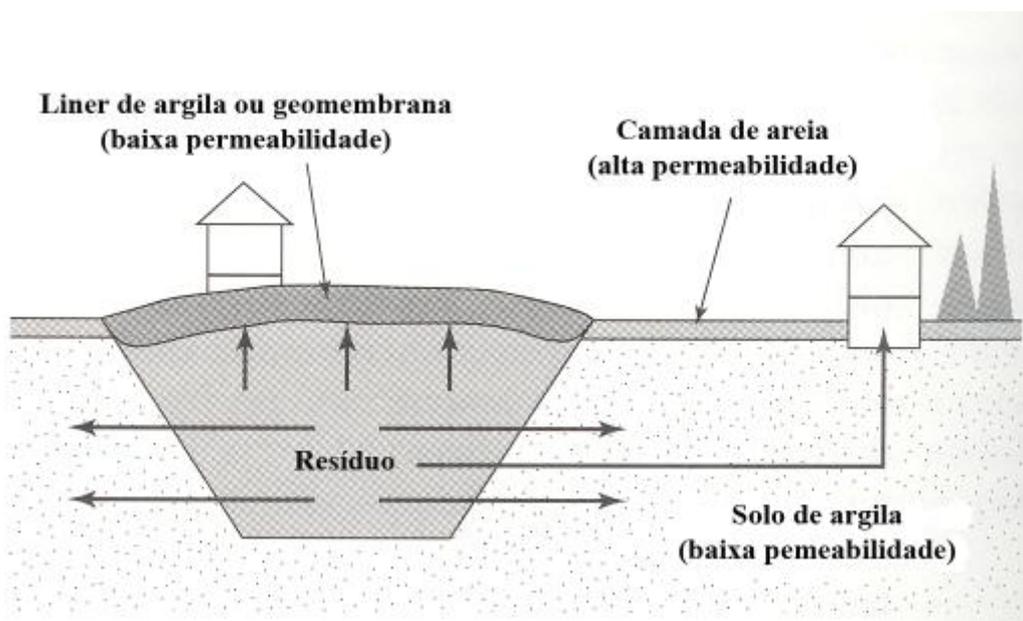


Figura 2.22: Migração horizontal do gás em aterros (Modificado de USEPA, 1994, apud QIAN *et al.*, 2002).

Geralmente, os gases se deslocam em solos não saturados ou pelas fraturas das rochas, mas também podem deslocar no solo saturado pela solubilidade do gás.

2.6.1 Fatores climáticos que afetam o processo

Vários fatores climáticos afetam o processo de deslocamento de gás do interior do aterro até a atmosfera. Sendo eles:

- i) **Pressão atmosférica:** a pressão atmosférica tem grande influência no transporte dos gases, pois as mudanças na pressão atmosférica afetam o gradiente de pressão entre o interior do aterro e a atmosfera. Isto influencia diretamente no transporte advectivo de gás, explicado anteriormente. Segundo GEBERT *et al.* (2006), existe uma relação inversa entre a pressão atmosférica e a emissão gasosa em aterros de RSU.
- ii) **Precipitação:** segundo TECLE *et al.* (2008), o teor de umidade do solo influencia a permeabilidade e a difusão do gás no solo. Portanto, a quantidade de precipitação afeta no processo do transporte dos gases de aterros de resíduos (LFG). Com o aumento do teor de umidade no solo, diminui o espaço nos poros para o transporte gasoso, diminuindo a difusão. Também pode ocorrer que com o baixo conteúdo de umidade se reduz a atividade biológica na cobertura do solo.
- iii) **Temperatura do ar e do solo:** a temperatura do ar e do solo tem grande influência nas emissões gasosas. Segundo PARK *et al.* (2001). A taxa de emissões na superfície é máxima quando são registrados os valores máximos de temperatura do ar e do solo.
- iv) **Velocidade do vento:** a velocidade do vento tem grande influência nas variações das emissões gasosas, principalmente próximo da superfície do solo de cobertura do aterro.

2.7 Medição do fluxo gasoso

Existem diferentes métodos para quantificar o fluxo superficial de gás emitido pelos aterros. Conforme FISHER *et al.* (1999), para pequenas áreas onde é preciso

estimar as emissões pontuais, existem as técnicas de câmaras ou placas de medição e medições do gradiente vertical subsuperficial. Já para as áreas maiores, onde se necessitem estimativas globais, existem os métodos: micrometeorológico, método da relação isotópica, técnicas de marcadores, análises da espectroscopia de infravermelhos (IR) e medições remotas das emissões dos gases. Na Tabela 2.5 observa-se um resumo das diferentes técnicas, uma pequena descrição e algumas referências das pesquisas mais recentes para cada uma das tecnologias citadas. Na seqüência serão explicadas as placas de fluxo, equipamento utilizado neste trabalho para medição do fluxo gasoso.

Tabela 2.5: Resumo das tecnologias de medição de fluxo em aterros de RSU.

Técnica de medição	Descrição	Referências
Câmaras ou placas de fluxo	Cravadas no solo. Medição das concentrações e o volume na área da placa em determinado tempo.	(CAPACCIONI et al.,2009), (CORTI et al. 2009), (BABILLOTTE et al., 2009), (GUEDES, 2007), (MACIEL, 2003).
Medições do gradiente vertical subsuperficial	Baseado da Lei de difusão de Fick. Calculo das concentrações mediante a taxa de difusão do solo e o gradiente de concentração no solo-ar.	
Métodos micrometeorológico	Medição das emissões de gás, por meio de uma torre de medição que se encontra numa camada baixa da atmosfera.	(BABILLOTTE et al., 2009).
Método da relação isotópica	Podem-se conhecer as emissões de CH ₄ por meio da medição da relação de isótopos.	
Técnicas de marcadores	Liberação de um volume de gás neutro que se mistura com os gases emitidos, formando uma nuvem. Podem-se conhecer as emissões medindo as proporções dos gases nesta nuvem.	(KHEFFI, et al., 2009), (RACHOR, et al., 2009).
Espectroscopia de infravermelhos (IR)	A luz infravermelha é transmitida através do gás, registrando-se e analisando o espectro de absorção do gás, pode se conhecer as concentrações dos diferentes gases.	(KHEFFI et al., 2009), (BABILLOTTE et al., 2009).
Medições remotas das emissões dos gases	Pode se fazer medições de gases de aterros por meio de satélites, mas são medidas em grande escala.	(BABILLOTTE et al., 2009).

Segundo BISZEK *et al.* (2006), cada técnica tem vantagens e desvantagens. O método mais apropriado devido à disponibilidade, economia, simplicidade e possibilidade de aplicação em toda área de um aterro é o método das câmaras ou placas. Pelas razões apresentadas este é o método mais utilizado para emissão de gás à atmosfera. As placas apresentam a desvantagem da possibilidade do dados de medição

serem muito afetadas pelo aumento de temperatura que ocorre dentro da placa. Devido à isto, há a necessidade de realizar vários ensaios, em diferentes pontos, para se obter uma boa representatividade do aterro. O segundo método mais recomendável é a espectroscopia de infravermelhos. Este é um método mais caro, contudo fornece resultados muito confiáveis.

As câmaras ou placas de fluxo, segundo ROSEVEAR *et al.* (2004), consistem em uma placa que é cravada no solo, sendo registrado o volume de ar dentro da placa, podendo-se medir as concentrações de gases emitidos pelo aterro, em determinada área e um período de tempo.

Segundo MACIEL (2003), existe na literatura uma variedade de placas, com diferentes formas e medidas. Observa-se na Tabela 2.6 algumas referências destas placas.

Tabela 2.6: Diferentes tipos de placas de medição de fluxo (Modificado de MACIEL, 2003).

Referência	Forma da placa	Dimensões (cm)		Área (m ²)
		Base	altura	
Rolston (1986)	circular	φ 88,0	17,0	0,61
Jones e Nedwell (1993)	retangular	21,5 x 24,5	7,5	0,05
Kjeldsen e Fischer (1995)	circular	φ 57,0	5,0	0,25
Czepiel <i>et. al.</i> (1996)	N.I	N.I	18,2	0,05
Boeckx <i>et. al.</i> (1996)	circular	φ 15,0	60,0	0,02
Christensen <i>et. al.</i> (1996)*	retangular	20,0 x 70,0	21,5	0,14
Borjesson e Svensson (1997)	retangular	45,0 x 45,0	25,0	0,21
Cossu <i>et. al.</i> (1997)	circular	φ 50,0	20,0	0,79
Tanaka <i>et. al.</i> (1997)	circular	φ 20,0	16,5	0,03
Park e Shin (2001)	circular	φ 40,0	30,0	0,13
Maurice e Lagerkvist (2002)	circular	φ 29,0	24,0	0,07
Maurice e Lagerkvist (2002)	retangular	44,0 x 44,0	13,0	0,19
Lindberg <i>et. al.</i> (2002)*	retangular	20,0 x 60,0	20,0	0,12
Lindberg <i>et. al.</i> (2002)*	retangular	10,0 x 30,0	10,0	0,03
Lindberg <i>et. al.</i> (2002)*	circular	φ 9,6	3,5	< 0,01
Lindberg <i>et. al.</i> (2002)*	circular	φ 24,0	9,0	0,04
Maciel (2003)	retangular	40,0 x 40,0	5,0	0,16
Guedes (2007)	circular	φ 57,0	8,0	0,25

*- placas de fluxo dinâmicas; N.I = não informado.

As placas utilizadas para a medição do biogás em aterros de RSU estão divididas em estáticas e dinâmicas (BISZEK *et al.*, 2006):

- i) Placas estáticas: segundo MACIEL(2003) caracterizam-se pelo fato dos gases analisados retornam á placa em um ciclo fechado, como se pode observar na Figura 2.23. Além disto, a placa possui uma saída do fluxo por meio de um equipamento para a medição de vazão do gás.

Nas placas estáticas, registra-se o volume dos gases emitido pelo aterro dentro da placa e as variações de concentração dos gases. Estas medidas são realizadas geralmente a cada 5 minutos, até que as concentrações apresentem medidas estabilizadas. O fluxo de gás, que é causado principalmente por difusão. (BISZEK *et al.*, 2006), nas placas estáticas é definido pela equação 2.3.

$$Q (mg / m^2 \cdot s) = \frac{V}{A} \times \left(\frac{dc}{dt} \right) \quad (2.3)$$

Onde:

Q = fluxo de gás (mg/m²·s)

V = volume da placa (m³)

A = área da base da placa (m²)

dc/dt = fluxo de concentração de gás no tempo (mg/m³·s)

- ii) Placas dinâmicas: nas placas dinâmicas os gases emitidos pelo aterro são diluídos dentro da placa, por meio de um fluxo de ar que entra e sai continuamente (Figura 2.23). Nestas placas registra-se o volume de fluxo de ar que entra na placa, a concentração antes da mistura com o gás do aterro, e a concentração de saída. O valor da emissão é calculado pela diferença da concentração e do fluxo. As diferenças de pressão nas diferentes partes do sistema da placa podem influenciar no fluxo estudado.

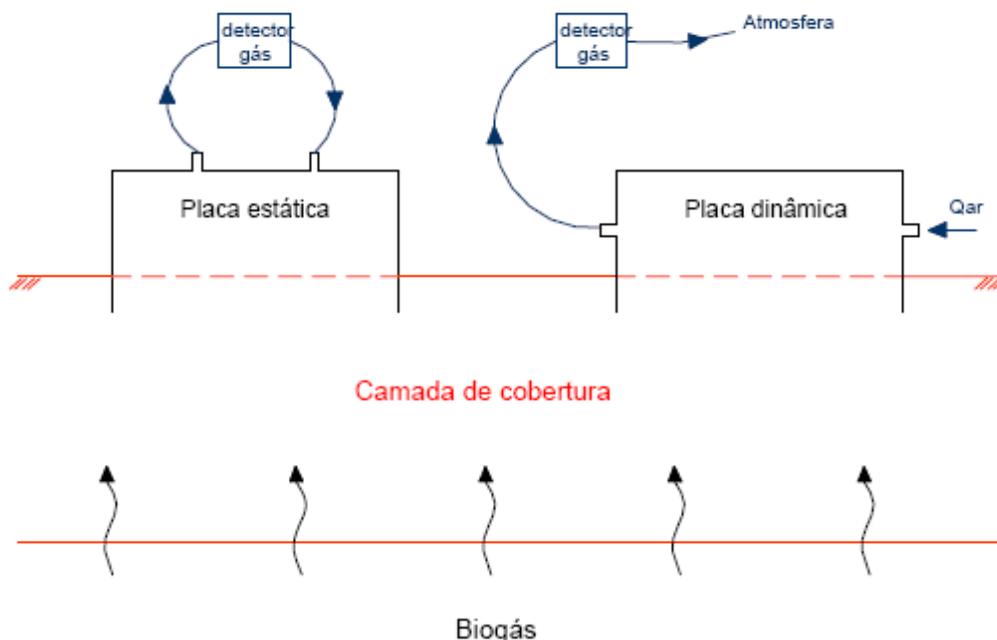


Figura 2.23:Esquema das medições de gás em placas estáticas e dinâmicas (MACIEL, 2003).

2.8 Modelos para a Estimativa de Geração de Gás

Existem diversos modelos para calcular a geração do gás emitido pelo aterro de RSU. Os mais difundidos são: Modelo Scholl Canyon, recomendado pelo Banco Mundial (BM); modelo proposto pela Agencia de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA); e modelo apresentado pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC). Nesta seção, são apresentados e comentados cada um destes modelos.

2.8.1 Metodologia do Banco Mundial – Modelo Scholl Canyon

O BANCO MUNDIAL (2003) apresenta a metodologia do modelo Scholl-Canyon.

O Modelo Scholl-Canyon é um modelo relativamente simples de compreender e aplicar, sendo amplamente aceito e comumente empregado pelas indústrias, pelas

agências reguladoras e instituições financeiras que apóiam projetos de aproveitamento do biogás de aterros de RSU na América do Sul e no Caribe.

É um modelo, cinético de primeira ordem, fundamentalmente empírico e está baseado na premissa de que há uma fração constante de material biodegradável no aterro por unidade de tempo. Este modelo é baseado na seguinte equação 2.4.

$$Q_{CH_4i} = k \times L_o \times m_i \times e^{-kt} \quad (2.4)$$

Onde:

Q_{CH_4i} : quantidade de gás CH_4 produzido no ano i (m^3 /ano)

k : constante da geração de CH_4 (1/ano)

L_o : potencial da geração de CH_4 por tonelada de lixo (m^3 /t)

m_i : massa dos resíduos depositados no ano i (t/ano)

t : anos após do encerramento do aterro.

A massa dos resíduos depositados em cada ano (m_i) e o tempo em anos, depois do encerramento do aterro (t), são valores próprios do histórico de cada aterro, que podem ser fornecidos pela empresa operadora. Para os parâmetros da constante de geração de CH_4 (k) e o potencial da geração de CH_4 (L_o) são sugeridos alguns valores pré-estabelecidos como uma avaliação preliminar conservadora. No entanto, estes parâmetros precisam ser selecionados com conhecimento das condições específicas do aterro.

- **Constante da geração de CH_4 (k):** representa a taxa de decomposição biológica, à qual produz o CH_4 , depois de ser depositado o resíduo.

Esta constante é influenciada: pelo teor de umidade dentro do aterro, pela disponibilidade de nutrientes, pelo pH e pela temperatura. O teor de umidade é um fator muito influente na constante k , pois o líquido serve como meio para transportar nutrientes e bactérias. Este fator depende da infiltração, umidade inicial do resíduo, tipo e espessura da cobertura de solo diária e final, sistema de coleta de lixiviado e altura do resíduo no aterro.

Valores típicos para k variam de 0,02 para aterros com baixo teor de umidade a 0,07 para aterros com alto teor de umidade. Na Tabela 2.7 se observam valores sugeridos pelo BM, para a constante k, dependendo do tipo de degradabilidade do resíduo e da precipitação anual no aterro.

Tabela 2.7: Valores para k sugeridos (BANCO MUNDIAL, 2003).

Precipitação Anual	Valores para k		
	Relativamente inerte	Moderadamente degradável	Altamente degradável
< 250 mm	0.01	0.02	0.03
> 250 a < 500 mm	0.01	0.03	0.05
> 500 a < 1000 mm	0.02	0.05	0.08
> 1000 mm	0.02	0.06	0.09

- **Potencial da geração de CH₄ (L₀):** representa a produção total de CH₄, em m³ de CH₄ por tonelada de lixo.

O valor de L₀ depende da composição do resíduo, em particular da fração de matéria orgânica presente (celulose) e do conteúdo de carbono biodegradável nesta fração. O L₀ depende também do teor de umidade, da compactação do resíduo e da reciclagem.

Valores típicos para L₀ variam de 125 a 310 m³ CH₄/t de resíduo. Na Tabela 2.8 se apresentam os valores sugeridos para L₀, dependendo da biodegradabilidade do resíduo.

Tabela 2.8: Valores L₀ Sugeridos para o Conteúdo do Lixo Orgânico (BANCO MUNDIAL, 2003).

Caracterização do lixo	Valor mínimo para L ₀	Valor máximo para L ₀
Lixo relativamente inerte	5	25
Lixo moderadamente degradável	140	200
Lixo altamente degradável	225	300

2.8.2 Metodologia da EPA

Esta metodologia foi proposta pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) e é chamada também de Modelo de Emissão de Gases em Aterros (Landgem).

Segundo IBAM (2007), é bastante empregada mundialmente, tendo sido utilizada em estudos de geração de energia em municípios brasileiros. Estudos estes realizados pelo Ministério de Meio Ambiente.

No relatório da USEPA (2008), encontram-se duas metodologias, sendo uma para calcular as emissões controladas e outra para calcular as emissões não controladas de gases em aterros de RSU, apresentadas a seguir.

2.8.2.1 Estimativa de emissões não controladas de gases

As emissões não controladas de gases em aterros de RSU, são encontradas em aterros que não possuam dispositivos para o controle de gases, como as caldeiras ou as turbinas a vapor, os *flares*, as turbinas de gás ou a combustão interna.

A EPA propõe um modelo teórico cinético de primeira ordem para calcular as emissões não controladas de CH₄, que é dado pela equação 2.5.

$$Q_{CH_4} = L_o \times R \times (e^{-kc} - e^{-kt}) \quad (2.5)$$

Onde:

Q_{CH_4} : quantidade de gás CH₄ produzido (m³/ano)

L_o : potencial da geração de CH₄ por tonelada de lixo (m³/t)

R: quantidade de resíduos depositados no aterro. (t/ano)

k: constante da geração de CH₄ (1/ano)

c: tempo desde o encerramento do aterro (anos), c = 0 para aterros ativos

t: tempo desde o início da disposição dos resíduos no aterro (anos)

Os valores para a quantidade de resíduos depositados no aterro (R), o tempo desde o encerramento do aterro (c) e o tempo desde o início da disposição dos resíduos (t), são valores históricos e característicos de cada aterro. Se não se tem informações detalhadas dos resíduos depositados no aterro de RSU, R pode ser estimada dividindo o total do lixo recebido pela idade do aterro.

O modelo da EPA também possui as mesmas variáveis do potencial da geração de CH₄ (L₀) e da constante da geração de CH₄ (k) utilizadas pelo BM. Os valores para as variáveis L₀ e k devem ser estimados, mas a EPA sugere valores para estes parâmetros.

- **Potencial da geração de CH₄ (L₀):** pode variar amplamente 5,67 – 245,7 m³ CH₄/t de resíduo. O valor recomendado pela EPA para o L₀ é 100 m³/t.
- **Constante da geração de CH₄ (k):** os valores recomendado pela USEPA são apresentados na Tabela 2.9, na qual a escolha do valor depende da pluviometria do local.

Tabela 2.9: Valores recomendados de k (USEPA, 2008).

Pluviometria	Valores de k
< 635 mm/ano	0.02
> 635 mm/ano	0.04

2.8.2.2 Estimativa de emissões de gases controlados

As emissões dos aterros sanitários são geralmente controladas instalando-se um sistema de coleta de gás ou de combustão do gás. Este gás pode ser queimado através da utilização de motores de combustão interna, *flares* ou turbinas. O gás pode ser purificado e utilizado diretamente como combustível ou gás natural.

Os sistemas de coleta de gás não são 100% eficientes, num aterro sanitário podem ocorrer emissões de CH₄ e de compostos orgânicos não metânicos (NMOC) como o ácido sulfídrico (H₂S). Para estimar estas emissões controladas de CH₄, NMOC

e outros gases constituintes do biogás, a eficiência do sistema de coleta deve ser previamente estipulada. As eficiências de coleta reportadas normalmente variam de 50 a 95%. A EPA recomenda um valor de 75%. Baixas eficiências de coleta em aterros podem ser devido a um grande número de células abertas, sem *liners*, com coberturas de solo diária e final de pouca espessas, pobres sistemas de coleta, entre outros fatores. A maior eficiência na coleta dos gases pode ser alcançada em locais fechados, empregando bons *liners*, com um conjunto de sistemas bem projetados de coleta de gás e boa operação e manutenção para as camadas isolantes e para o sistema de coleta.

As emissões controladas podem ser calculadas com a Equação 2.6, proposta pela EPA.

$$CM_{CH_4} = \left[Q_{CH_4} \times \left(1 - \frac{\eta_{col}}{100} \right) \right] + \left[Q_{CH_4} \times \frac{\eta_{col}}{100} \times \left(1 - \frac{\eta_{cnt}}{100} \right) \right] \quad (2.6)$$

Onde:

CM_{CH_4} : emissões controladas de CH_4 (m^3 /ano).

Q_{CH_4} : emissões não controladas de CH_4 (m^3 /ano), (da Equação 2.5)

η_{col} : eficiência de sistema de coleta do LFG (%), (recomendada de 75%)

η_{cnt} : eficiência do aparelho de controle e utilização de LFG (%).

Na Tabela 2.10, se apresentam os valores para a eficiência do aparelho de controle (η_{cnt}).

Tabela 2.10: Valores para a eficiência do aparelho de controle e utilização de LFG para NMOC, (η_{cnt}) (USEPA, 2008).

Dispositivo de controle	η_{cnt} (%)
Caldeira/Turbina a vapor	98,6
<i>Flare</i>	97,7
Turbina de gás	94,4
Combustão interna	97,2

2.8.3 Metodologia do IPCC

O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 1996) possui duas metodologias para estimar as emissões de CH₄ procedentes dos aterros de RSU. A primeira é a metodologia chamada de padrão e a segunda é a metodologia cinética de primeira ordem. Estas metodologias são descritas a seguir.

2.8.3.1 Metodologia padrão

É um método muito simples para o cálculo das emissões de CH₄. Este é baseado na aproximação de balanço de massa e não incorpora todos os fatores de tempo, já que pressupõe que todo o CH₄ potencial é liberado dos resíduos no ano em estes foram depositados. Embora isto não aconteça na realidade, a metodologia fornece uma estimativa razoável das emissões atuais, sempre e quando a quantidade e composição dos resíduos depositados tiver sido constante ao longo dos anos anteriores.

Esta metodologia permite estimar o conteúdo de Carbono Orgânico Degradável (COD) dos resíduos sólidos, ou seja, o carbono orgânico que é suscetível à decomposição bioquímica, sendo esta estimativa utilizada para calcular a quantidade de CH₄ que pode ser gerada. A metodologia se baseia na equação 2.7.

$$Q_{CH_4} = \left(RSU_D \times FCM \times COD \times COD_F \times F \times \frac{16}{12} - R \right) \times (1 - OX) \quad (2.7)$$

Onde:

Q_{CH_4} : quantidade de gás CH₄ produzido (t/ano)

RSU_D : total de RSU depositados por ano (t/ano)

FCM : fator de correção para o CH₄ (%)

COD : carbono orgânico degradável (%)

COD_F : fração de COD que realmente se degrada (%)

F : fração de CH₄ no gás do aterro (o valor recomendado é 0,5)

16/12: fração que permite realizar a conversão de carbono em CH₄

R : quantidade de CH₄ recuperado (t/ano)

OX : fator de oxidação (o valor recomendado é 0)

Cada um dos parâmetros utilizados pela metodologia são descritos a seguir.

- **Fator de correção para o CH₄ (FCM):** este fator leva em conta uma correção devido ao tipo de aterro. Na tabela 2.11 pode se observar os FCMs recomendados pelo IPCC.

Tabela 2.11: Cálculo do fator de correção para o metano (IPCC, 1996).

Tipo de aterro	FCM
Controlado	1,0
Não controlado – profundo (≥ 5 m de resíduos)	0,8
Não controlado – pouco profundo (< 5m de resíduos)	0,4

- **Carbono orgânico degradável (COD):** o COD é calculado por meio da porcentagem do resíduo e do COD em cada um dos principais tipos de resíduo.

Na tabela 2.12 apresentam-se os valores recomendados de carbono orgânico degradável para cada tipo de resíduo indicado.

Tabela 2.12: Valores recomendados do COD nos principais tipos de resíduo (IPCC, 1996).

Tipos de resíduos	% de COD (por peso)
A. Papeis e tecidos	40
B. Resíduos de jardins, parques e outros resíduos orgânicos putrescíveis (excluídos os alimentos)	17
C. Resíduos de alimentos	15
D. Resíduos de madeira e palha (excluído o C da lignina)	30

Utilizando os valores da Tabela 2.13, o COD pode ser calculado pela equação 2.8.

$$COD = 0,4(A) + 0,17(B) + 0,15(C) + 0,30(D) \quad (2.8)$$

Onde:

A: porcentagem dos RSU que correspondem ao papel e os tecidos

B: porcentagem dos RSU que correspondem ao papel e resíduos de jardins, parques e outros resíduos orgânicos putrescíveis (excluídos os alimentos)

C: porcentagem dos RSU que correspondem resíduos de alimentos

D: porcentagem dos RSU que correspondem resíduos de madeira e palha

- **COD que realmente se degrada (COD_F):** o carbono orgânico degradável não se descompõe em sua totalidade e parte do material degradável permanece no aterro ainda durante longos períodos, o COD_F, corresponde à fração que realmente se degrada. O valor recomendado é de 0,77 pelo IPCC.
- **Fração do carbono liberado como CH₄ (F):** o valor recomendado é de 0,5 pelo IPCC.
- **CH₄ recuperado (R):** é a quantidade de CH₄ que é captada para a queima, por exemplo, pelos *flares*.
- **Fator de Oxidação (OX):** representa o CH₄ que é oxidado nas camadas superiores da massa de resíduos e de material de cobertura, onde o oxigênio está presente. É importante levar em conta a oxidação, porque esta pode reduzir a quantidade de CH₄ gerado. Na ausência de dados o fator de oxidação do CH₄ assume-se de 0, já que não existem valores aceitos internacionalmente.

2.8.3.2 Metodologia cinética de primeira ordem do IPCC

A metodologia cinética de primeira ordem é um método mais complexo, que serve para estimar as emissões de CH₄ de RSU, reconhecendo o fato de que o CH₄ é emitido por um longo período de tempo, em vez de instantaneamente. Esta aproximação cinética considera vários fatores que influenciam nas taxas da geração e liberação de CH₄ do RSU. Esta metodologia é dada pela equação 2.9.

$$Q_{T,x} = k \times R_x \times L_o \times e^{-k(T-x)} \quad (2.9)$$

Onde:

Q_{T-x} : quantidade de CH₄ gerado no ano atual (m³/ano)

k: constante da geração de CH₄ (1/ano)

R_x : quantidade de resíduos depositada no ano x (t)

L_o : potencial da geração de CH₄ por tonelada de lixo (m³/t)

T: ano atual

x: ano de depósito dos resíduos

Os parâmetros da constante da geração de CH₄ (k) e do potencial da geração de CH₄ por tonelada de lixo (L_o) são comuns à metodologia do BM e da EPA, sendo que são utilizados os valores recomendados pela EPA.

Para estimar as emissões em um determinado período, somam-se as emissões anuais, como é apresentado na equação 2.10.

$$Q_T = \sum Q_{T,x} \quad (2.10)$$

2.8.4 Moduelo 4.0©

O Moduelo© é um programa desenvolvido pelo Grupo de Engenharia Ambiental da Universidade de Cantabria. É um *software* que permite a simulação dinâmica de aterros de resíduos urbanos, que serve para o projeto, gestão e biorecuperação de aterros de RSU. Os dados de entrada no programa são: dados meteorológicos, produção de resíduos, geometria do terreno e do aterro e gestão de lixiviados. Com estes dados o programa permite estimar diariamente os dados de: teor de umidade, vazão do lixiviado, fluxos através do contorno, recalques e quantidade de biogás gerado. Os resultados são visualizados por meio da representação tridimensional de um aterro, cuja geometria se atualiza instantaneamente mediante um modelo de produção e, sobre o qual se aplica um modelo de fluxo não saturado tridimensional (LOBO, 2009a). O programa apresenta

quatro modelos (modelo de aterro, de geração de resíduos, meteorológico e de gestão de lixiviado), cada modelo apresenta parâmetros específicos de entrada como pode se observar na Tabela 2.13.

Tabela 2.13: Resumo de parâmetros de entrada no Moduelo©.

Modelos	Parâmetros de entrada
Modelo do Aterro	Topografia do terreno, parâmetros para a discretização do terreno e do aterro em células, tipos de células, disposição dos resíduos, tipos de sistemas de coleta do lixiviado e tipos de <i>run-off</i> .
Modelo de Geração de resíduos	Parâmetros que caracterizam os resíduos (peso, composição, umidade, densidade, entre outros).
Modelo Meteorológico	Dados médios diários de umidade relativa, temperatura, velocidade do vento, insolação, precipitação, temperatura máxima e mínima, e dados horários de precipitação.
Gestão de lixiviados	Tipos de sistemas de recirculação e armazenamento onde se definem as características do depósito de dos volumes que são extraídos para as plantas de tratamento.

De acordo com LOBO (2009a), a versão 4.0 tem sido desenvolvida sobre a plataforma .NET da Microsoft (.NET Framework 3.5) com o ambiente de desenvolvimento Visual Studio 2008 e a linguagem de programação C#. Como gestor do banco de dados se utiliza SQL Server 2008.

O Moduelo 4.0[©] é uma versão renovada, que vem sendo atualizado desde 1998 pelo Grupo de Engenharia Ambiental da Universidade de Cantabria. Os modelos que o programa inclui são simplificações ou adaptações da representação de aterros e, de expressões publicadas por outros autores sobre diferentes fenômenos que ocorrem em um aterro de RSU. A versão do Moduelo 4.0[©] está baseada nos modelos incluídos nas versões anteriores Moduelo 1.0[©], Moduelo 2.0[©] e Moduelo 3.0[©].

Algumas das aplicações do programa pelo Grupo de Engenharia Ambiental da Universidade de Cantabria são apresentadas em LOBO (2003); LOBO *et al.* (2007 a) e LOBO *et al.* (2007 b) para a versão Moduelo 2.0[©]. E em LÓPEZ *et al.* (2009 a); LÓPEZ *et al.* (2009 b); LÓPEZ *et al.* (2009 c) e LÓPEZ *et al.* (2009 d), são apresentadas modelagens com a versão Moduelo 4.0[©]. Nestes trabalhos, são explicados os princípios do programa, assim como, os modelos em que está dividido o programa. Estes trabalhos também apresentam: simulações de vários aterros europeus ao longo da sua vida útil e no futuro; mostram os parâmetros de entrada para a modelagem; e a metodologia para a utilização do programa. Como resultados estes trabalhos obtiveram: o volume diário, qualidade e os compostos presentes no lixiviado e quantidade diária de gases emitidos pelos aterros. Além disto, apresentam as calibrações feitas para os modelos com dados já existentes e medidos diretamente nos aterros. E se apresentam as melhorias que podem ser realizadas no programa com base na análise das simulações.

O Moduelo[©], vem sendo utilizado pelo Grupo de Estudo em Tratamento de Resíduos (GETRES) – UFRJ/COPPE para simulações de aterros brasileiros. Dentre os trabalhos realizados pelo grupo encontram-se as dissertações de FERREIRA, (2006) e BORBA (2006). Ambas apresentam simulações do aterro sanitário de Nova Iguaçu na cidade de Rio de Janeiro. FERREIRA (2006) fez uma comparação com alguns modelos para a estimativa da produção de lixiviado em aterro de RSU e BORBA (2006) realizou uma estimativa de produção do gás, sendo estas estimativas comparadas com outras metodologias. Os autores destacam, com vantagem do uso do Moduelo[©], a modelagem de aspectos que não são passíveis de modelar em outros modelos, como por exemplo: a degradação biológica dos resíduos, a disposição histórica e geométrica dos resíduos. Destaca-se que, com dados já existentes do aterro estudado, foram realizadas as calibração para o modelo. Os resultados obtidos foram: as quantidades de lixiviado diárias, os contaminantes presentes no lixiviado e o fluxo de gases emitidos pelo aterro de RSU.

A seguir é descrito o algoritmo geral, o qual se baseia o programa. Também é exposto detalhadamente os fundamentos do modelo de degradação, a geração de gás e o modelo de recalques do programa (LOBO, 2006).

2.8.4.1 Algoritmo geral

O modelo trabalha com a discretização tridimensional do terreno. A unidade representativa dos resíduos é a “célula”. Esta é representada por um paralelepípedo cujas dimensões horizontais são introduzidas pelo usuário e a dimensão vertical é dada pela altura da camada de resíduos e sua camada de cobertura.

O fluxograma geral do Modulo[©] é apresentado na Figura 2.24. Este é o ciclo fundamental do programa e observa-se que existem quatro entradas de dados externos.

- i) Registros climatológicos: (precipitação, temperatura, entre outros), que devem ser obtidos de uma estação meteorológica o mais próxima possível ao aterro.
- ii) Definição do aterro: representação tridimensional e ordem de disposição das células que estão contidas no aterro.
- iii) Dados de produção de resíduos: produção total, percentagens de cada um dos componentes dos resíduos, evolução temporária ou composição química do resíduo e suas características biodegradáveis na ocasião em que este resíduo foi colocado no aterro. A produção de resíduos se gerencia de forma independente, permitindo simular cenários de produção de resíduos independentemente.
- iv) Recirculação de lixiviado (caso se proceda a recirculação do lixiviado no aterro): necessita de dados diários de lixiviado que é extraído do sistema de armazenamento e enviado às plantas de tratamento.

O primeiro processo dentro do ciclo fundamental é o cálculo da configuração atual do aterro, Figura 2.24. Sendo os dados de entrada: a definição da geometria, a caracterização do aterro e, o volume e composição dos resíduos depositados. Nesta etapa leva-se em conta os recalques produzidos pela compactação do resíduo e sua temperatura inicial.

O segundo processo do ciclo fundamental é o balanço hidrológico. Este, com base na configuração do aterro e os dados climatológicos no intervalo de tempo, realiza o balanço de águas. Em cada célula calcula-se a quantidade do lixiviado que se produz em função das entradas (precipitação, filtração vertical ou horizontal das células próximas, recirculação, filtrações ao contorno, entre outros) e saídas de água (*run-off* direta,

evaporação, evapotranspiração, filtrações através do contorno, entre outros) em cada célula. Neste processo, pode-se guardar os dados neste intervalo de tempo, para posteriormente realizar uma simulação ou uma calibração do programa para um aterro ativo e desta forma realizar previsões futuras.

Com os resultados do teor umidade de cada célula (obtidos do processo anterior) o modelo de degradação estima a porcentagem de degradação, fornecendo então: a composição dos lixiviados, a perda de matéria, o incremento de temperatura por degradação e os adensamentos ocorridos em cada uma das células devido a perda de massa. Como resultado da degradação da matéria orgânica dissolvida no lixiviado se calcula também, quantitativa e qualitativamente o biogás gerado nesse período de tempo.

O ciclo fundamental se fecha com a atualização do tempo ($t \rightarrow t + \Delta t$), e os dados de produção (adição do lixo de diferentes tipos, crescimento da taxa de produção, entre outros). Esta informação atualizada entra de novo no processo de configuração atual do aterro. O ciclo se repetirá até atingir o tempo total da simulação.

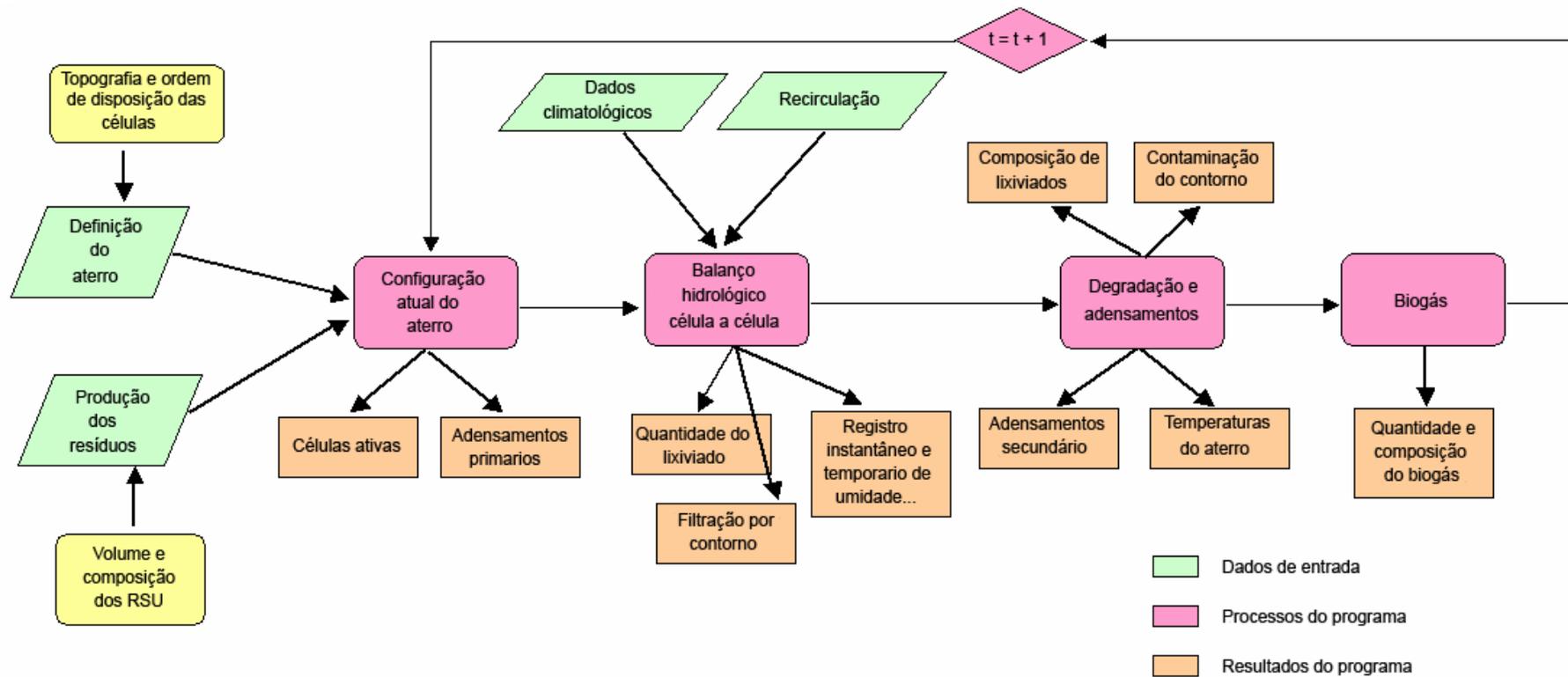


Figura 2.24: Algoritmo geral do Moduelo[©] (Modificado de LOBO, 2006).

2.8.4.2 Modelo de degradação

Neste item são descritas as características de biodegradabilidade, como: os diferentes resíduos depositados nos aterros de RSU e os fatores utilizados pelo programa para realizar a simulação dos materiais depositados. Também são apresentados os processos de degradação modelados e que fenômenos de transporte são levados em consideração pelo Moduelo[®].

- **Caracterização do resíduo:** o resíduo é formado por compostos orgânicos e inorgânicos. O modelo de biodegradação baseia-se somente em processos que afetam aos compostos orgânicos. Os compostos orgânicos são formados por duas frações: uma biodegradável e outra não biodegradável. Na fração biodegradável, uma parte é rapidamente hidrolisável (M_{rhb}) e outra lentamente hidrolisável (M_{lhb}), sendo que a fração não biodegradável também apresenta uma parte rapidamente hidrolisável (M_{rhn}) e outra lentamente hidrolisável (M_{ln}). A Figura 2.25, apresenta um esquema desta divisão e as equações químicas de cada um dos componentes. Na Tabela 2.14, se apresentam os principais componentes presentes no resíduo segundo sua biodegradabilidade, ou seja, se estes são rapidamente ou lentamente hidrolisáveis, ou ainda, se são inertes.

Tabela 2.14: Biodegradabilidade de alguns resíduos (Modificado de LOBO, 2006).

Rápidamente hidrolisável	Lentamente hidrolisável	Inertes
Papel	Madeira	Plásticos
Papelão	Tecidos	Vidro
Resíduos de comida	Borracha e couro	Metais
	Folhas	Outros inorgânicos
	Materiais celulósicos	

A biodegradabilidade dos componentes do resíduo pode ser estimada com o Potencial Bioquímico de Metano (PBM ou $PBM_{experimental}$). Sendo que, com a análise deste parâmetro, pode se conhecer a quantidade de CH_4 que o resíduo pode produzir em condições de laboratório. Também é possível se obter

um $PBM_{\text{teórico}}$ mediante a utilização de fórmulas químicas das reações teóricas da degradação total. Em geral o $PBM_{\text{teórico}}$ é maior do que o $PBM_{\text{experimental}}$. Na Tabela 2.15 observam-se os valores de PBM publicados por vários autores.

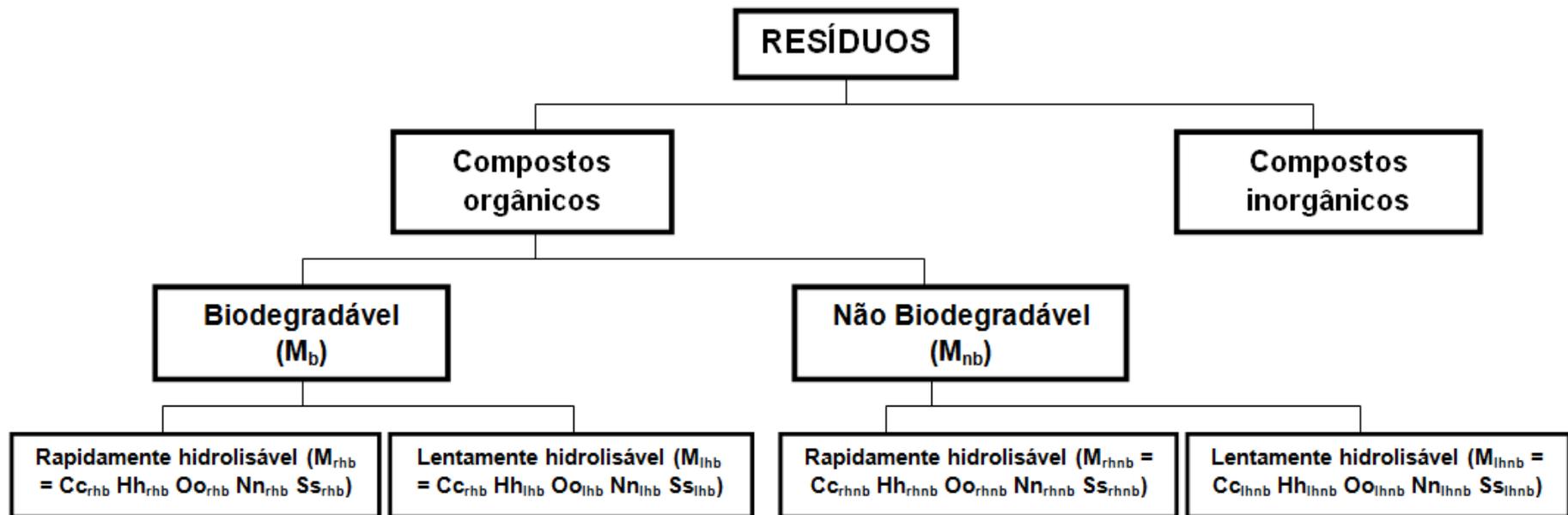


Figura 2.25: Componentes dos resíduos.

Tabela 2.15: Biodegradabilidade dos principais componentes do resíduo (Modificado de LOBO, 2006).

Componentes do resíduo		PAPEL	PAPELÃO	RESÍDUOS DE ALIMENTOS	FOLHAS	MADEIRA	TECIDO	BORRACHA E COURO
Composição meia (TCHOBANOGLOUS <i>et al.</i> , 1996)	C	43.50	44.00	48.00	47.80	49.50	55.00	69.00
	H	6.00	5.90	6.40	6.00	6.00	6.60	9.00
	O	44.00	44.60	37.60	38.00	42.70	31.20	5.80
	N	0.30	0.30	2.60	3.40	0.20	4.60	6.00
	S	0.20	0.20	0.40	0.30	0.10	0.15	0.20
Fração gaseificável (MODUELO 1)		12%	11%	22%	10%	8%	5%	6%
Fração biodegradável (TCHOBANOGLOUS <i>et al.</i> , 1996)		44%	38%	58%	45%	61%	40%	0%
PBM (mL CH ₄ / g seco)		184	161	281	207	294	222	0
PBM (mL CH₄/ g seco) (BARLAZ <i>et al.</i> , 1997)		74 - 217	152	301	31 - 144	63	-	-
Fração biodegradável correspondente		19% - 56%	39%	70%	7% - 34%	14%	-	-
PBM (mL CH₄/ g seco) (HARRIES <i>et al.</i> , 2001)		93 - 249	183	16 - 94*	91- 235	14-158	94-142	-
Fração biodegradável correspondente		30% - 40%	44%		20% - 51%	3% - 33%	17 - 25%	-
f_{bio} adotado no MODUELO 2		40%	41%	64%	35%	17%	32%	0%

O Moduelo[®] utiliza o fator Fração Biodegradável ou Gaseificável (f_{bio}), que em condições ideais, permite obter a fração que poderia se degradar. Sendo este multiplicado pela massa de cada elemento químico de cada um dos componentes do resíduo que é disposto no aterro. O f_{bio} é dado pela equação 2.11. Da mesma forma, para conhecer a fração de compostos não biodegradáveis se multiplica a fração não biodegradável ($1 - f_{bio}$) pela quantidade de massa de cada elemento. Na Tabela 2.15 também se pode observar os valores de f_{bio} calculados por diferentes autores, correspondentes aos valores de PMB. São apresentados também os valores de f_{bio} utilizados pelo Moduelo[®].

$$f_{bio} = \frac{PBM_{experimental}}{PMB_{teórico}} \quad (2.11)$$

O programa também considera outro coeficiente que é a fração de carregamento f_{ar} . Este parâmetro inclui o carregamento das substâncias não degradáveis pelo efeito da hidrólise dos componentes do seu entorno ou por processos físico-químicos (carregamento pela percolação ou dissolução química). Estas substâncias carregadas são os compostos orgânicos não biodegradáveis que estão presentes no lixiviado, denominados compostos húmicos ou Demanda Química de Oxigênio refratária (DQO refratária).

Outro coeficiente considerado é o fator de acessibilidade f_{ac} , o qual separa a fração de compostos biodegradáveis que será dissolvida no aterro ou que será realmente hidrolisada da parte que não poderá ser dissolvida pelas diferentes reações. Por exemplo: a fração que fica contida em zonas isoladas da água. Seu valor varia entre 0 (onde os microorganismos não podem ter acesso a nenhuma fração do resíduo) e 1 (situação ideal, toda a matéria degradável pode ser decomposta). Na Figura 2.26 pode se observar um diagrama de fluxo do processo de degradação dos resíduos do programa Moduelo[®], onde se apresentam os f_{bio} , f_{ar} e f_{ac} .

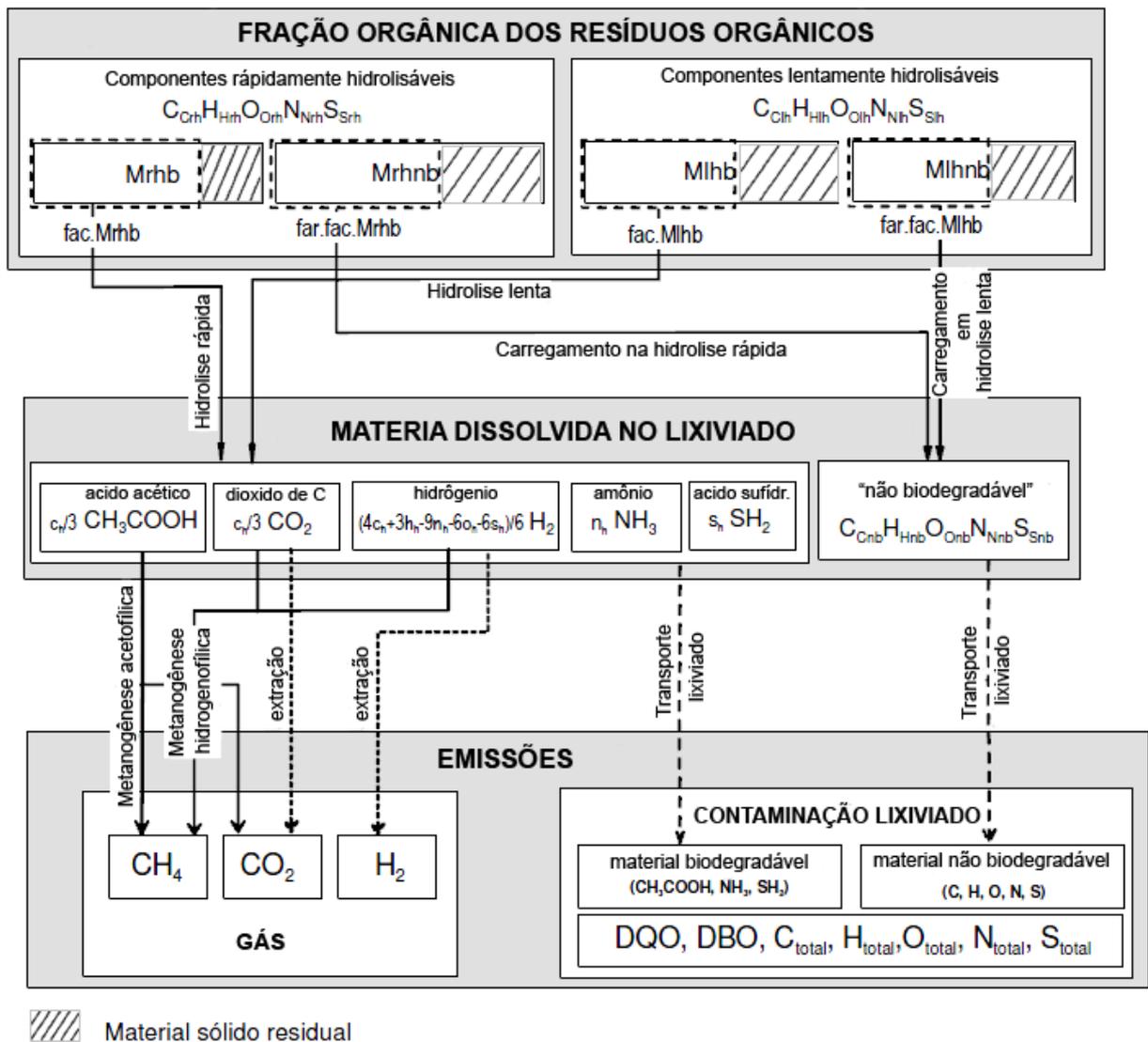


Figura 2.26: Diagrama de fluxo da degradação dos resíduos no programa Moduelo[®] (Modificado de LOBO, 2006).

- **Processos de degradação:** a seguir são descritos o processo de geração de gases e elementos presentes no lixiviado e, o processo bioquímico adotado pelo programa. As equações cinéticas de primeira ordem deste processo são descritas em LOBO (2003) e LOBO (2006).

O programa simula a aparição da matéria contaminante no lixiviado e na geração de biogás. Assim o processo é simulado em duas etapas de decomposição, sendo a primeira a hidrólise e a segunda a gasificação.

A hidrólise representa a transformação da matéria sólida em lixiviado por degradação biológica dos compostos orgânicos ou por ações de “carregamento” químico ou físico, sendo este fenômeno apresentado na primeira parte da Figura 2.26. A fração orgânica, sólida, biodegradável se transforma em compostos mais simples (ácidos e compostos intermediários) pelos fenômenos de hidrólise (rápida e lenta) e que estarão presentes na matéria dissolvida no lixiviado. Estes compostos mais simples são o ácido acético, dióxido de carbono, hidrogênio, amônio e ácido sulfídrico, nas proporções e velocidades que se indicam na Tabela 2.16 e nas reações No.1 e 2. Na Figura 2.26, também são apresentados os componentes não biodegradáveis C, H, O, N e S, que são carregados na hidrólise rápida e lenta, presentes no lixiviado. As reações e velocidades correspondentes são mostradas na Tabela 2.16 e nas reações No. 3 e 4, onde kh_r é a velocidade de hidrólise rápida e kh_l é a velocidade de hidrólise lenta.

A outra etapa do processo bioquímico é a gasificação, que é o processo final de decomposição que transforma a matéria em biogás. Na Figura 2.26 este processo é mostrado. A geração do CH_4 se dá por dois sistemas biológicos: o primeiro pela utilização do acetato (metanogênese acetofílica) e o segundo pela redução do CO_2 com H_2 (metanogênese hidrogenofílica). Na Tabela 2.16 são mostradas as duas reações da gasificação (reações No. 5 e 6) e a suas velocidades, onde é observado que a metanogênese acetofílica produz CH_4 e CO_2 e a metanogênese hidrogenofílica produz CH_4 e H_2O . O K_{ac} representa a velocidade de produção de metano a partir do acetato, k_{H_2} é a velocidade de produção do CH_4 a partir do hidrogênio e AC quantidade de acetato.

Na Tabela 2.17 apresenta-se uma matriz que resume todos os processos explicados anteriormente e os respectivos compostos produzidos em cada etapa, para o modelo de degradação com que trabalha o Modulo[©].

Na Figura 2.26, apresenta-se também, a composição do lixiviado, do material biodegradável e do material não biodegradável transportado. Estes, são apresentados como DQO, DBO e C_{total} , H_{total} , O_{total} , N_{total} , S_{total} .

Tabela 2.16: Reações de degradação do resíduo segundo o Moduelo© (Modificado de LOBO, 2006).

Reação	Descrição	Transformação	Velocidade
1	Hidrolise do material rapidamente hidrolisável biodegradável	$C_{c_{rhb}}H_{h_{rhb}}O_{o_{rhb}}N_{n_{rhb}}S_{s_{rhb}} + \frac{4.c_{rhb} - 3.o_{rhb}}{3}H_2O \rightarrow \frac{c_{rhb}}{3}CH_3COOH + \frac{c_{rhb}}{3}CO_2 +$ $+ \frac{4.c_{rhb} + 3.h_{rhb} - 9.n_{rhb} - 6.o_{rhb} - 6.s_{rhb}}{6}H_2 + n_{rhb}NH_3 + s_{rhb}SH_2$	$kh_r \cdot M_{rhb}$
2	Hidrolise do material lentamente hidrolisável biodegradável	$C_{c_{lhb}}H_{h_{lhb}}O_{o_{lhb}}N_{n_{lhb}}S_{s_{lhb}} + \frac{4.c_{lhb} - 3.o_{lhb}}{3}H_2O \rightarrow \frac{c_{lhb}}{3}CH_3COOH + \frac{c_{lhb}}{3}CO_2 +$ $+ \frac{4.c_{lhb} + 3.h_{lhb} - 9.n_{lhb} - 6.o_{lhb} - 6.s_{lhb}}{6}H_2 + n_{lhb}NH_3 + s_{lhb}SH_2$	$kh_l \cdot M_{lhb}$
3	Carregamento do material não biodegradável na hidrólise rápida	$C_{c_{rhn}}H_{h_{rhn}}O_{o_{rhn}}N_{n_{rhn}}S_{s_{rhn}} \rightarrow C_{c_{nb}}H_{h_{nb}}O_{o_{nb}}N_{n_{nb}}S_{s_{nb}}(disueltos)$	$f_{ar} \cdot kh_r \cdot M_{rhb}$
4	Carregamento do material não biodegradável na hidrólise lenta	$C_{c_{lhn}}H_{h_{lhn}}O_{o_{lhn}}N_{n_{lhn}}S_{s_{lhn}} \rightarrow C_{c_{nb}}H_{h_{nb}}O_{o_{nb}}N_{n_{nb}}S_{s_{nb}}(disueltos)$	$f_{ar} \cdot kh_l \cdot M_{lhb}$
5	Metanogênese acetofílica	$CH_3COOH \rightarrow CH_4 + CO_2$	$K_{ac.AC}$
6	Metanogênese hidrogenofílica	$CO_2 + 4H_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$	$k_{H_2} \cdot H_2$

Tabela 2.17: Matriz de processos de modelos de degradação do Modulo© (Modificado de LOBO, 2006).

	Materia sólida biodegradável rapidamente hidrolisável $C_{rhb}H_{rhb}O_{rhb}N_{rhb}S_{rhb}$	Materia sólida biodegradável lentamente hidrolisável $C_{lhb}H_{lhb}O_{lhb}N_{lhb}S_{lhb}$	Materia sólida não biodegradável de componentes rapidamente hidrolisáveis $C_{rhn}H_{rhn}O_{rhn}N_{rhn}S_{rhn}$	Materia sólida não biodegradável de componentes lentamente hidrolisáveis $C_{ln}H_{ln}O_{ln}N_{ln}S_{ln}$	Água	Acetato	Dióxido de carbono gás	Hidrogênio gás	Amônio dissolvido	Ácido sulfídrico dissolvido	Metano gás	Materia dissolvida não biodegradável	
Processo / Variáveis	M_{rhb}	M_{lhb}	M_{rhn}	M_{ln}	H_2O	CH_3COOH	CO_2	H_2	NH_3	SH_2	CH_4	MD_{nb}	
Hidrolise rápida	-1	-	$-f_{ar}$	-	$-b_{rhb} (1)$	$c_{rhb}/3$	$c_{rhb}/3$	$a_{rhb} (2)$	n_{rhb}	s_{rhb}	-	f_{ar}	$kh_r.M_{rhb}$
Hidrolise lenta	-	-1	-	$-f_{ar}$	$-b_{lhb} (1)$	$c_{lhb}/3$	$c_{lhb}/3$	$a_{lhb} (2)$	n_{lhb}	s_{lhb}	-	f_{ar}	$kh_l.M_{lhb}$
Metanogênese acetofílica	-	-	-	-	-	-1	1	-	-	-	1	-	$kac.AC$
Metanogênese hidrogenofílica	-	-	-	-	2	-	-1	-4	-	-	1	-	$k_{H_2}.H_2$

$$(1) b_{hb} = \frac{4.c_{hb} - 3.o_{hb}}{3}$$

$$(2) a_{hb} = \frac{4.c_{hb} + 3.h_{hb} - 9.n_{hb} - 6.o_{hb} - 6.s_{hb}}{6}$$

- **Transporte de contaminantes:** é simulado no programa os fenômenos de difusão simplificados. O transporte de substâncias dissolvidas com os líquidos no aterro é modelado pelo fenômeno de advecção, instantaneamente em cada célula. Supõe-se que, cada um dos elementos químicos dos resíduos, encontra-se em forma livre, sem formar moléculas e distribuídos homogeneamente em cada célula.

2.8.4.3 Modelo de recalques

Para este modelo o programa Moduelo 4.0[©] utiliza a teoria de adensamento unidimensional, com a descrição dos recalques em diferentes etapas (inicial, primaria e secundaria). A célula é tomada como unidade de cálculo, na qual se apresentam incrementos de carregamentos e é onde ocorre a evolução do processo de biodegradação.

- Recalques primários: o Moduelo 4.0[©] considera que os recalques primários iniciais produzem-se durante a colocação e compactação do resíduo, estes recalques são incluídos na espessura total final da célula. Depois se começam a produzir os recalques primários por efeito do peso dos próprios resíduos, incluindo a água presente e a camada de cobertura.

Para a estimativa dos recalques primários é empregada a equação de adensamento universal.

$$S_p = C'_p \times H_0 \times \log \frac{\sigma_{V_0} + \Delta\sigma_{V_0}}{\sigma_{V_0}} \quad (2.12)$$

Onde:

C'_p : índice de compressão primaria modificado = $C_p/(1+e_0)$

C_p : índice de compressão primaria

H_0 : altura inicial do aterro (m)

σ_0 : tensão efetiva previa no aterro (kPa)

$\Delta\sigma_0$: sobre carregamento efetivo (kPa)

e_0 : índice de vazios pela compressão inicial

- Recalques secundários: o Modulo 4.0[®] utiliza as hipóteses:

- a) os recalques secundários são devidos unicamente ao processo de biodegradação dos resíduos;
- b) a relação entre os recalques produzidos e a massa degradada é igual a uma constante α característica do tipo de aterro e dos resíduos depositados.

$$\alpha = \frac{S_s/H}{RD/RT} \quad (2. 13)$$

Onde:

α : coeficiente de perda de massa convertida em recalques

S_s : recalques (mm)

H: altura do aterro (mm)

RD: resíduos degradados (kg)

RT: resíduos totais (kg)

Em cada tempo t, o programa Modulo 4.0[®] calcula os recalques primários e secundários segundo os fluxogramas apresentados em LOBO (2006). O recalque total é a soma dos recalques primários e secundários. Supõe-se que só são possíveis os recalques pela eliminação do volume de poros. Se o recalque faz com que a célula esteja saturada, então o recalque está limitado pelo volume de vazios disponíveis. Ficará então um recalque remanescente, que ocorre quando existe volume suficiente de vazios. Ao saturar a célula, tende-se a produzir-se um fluxo de água para o exterior, liberando os vazios e serão ocupados por novos recalques na seguinte etapa.

CAPÍTULO 3- MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo descreve-se do aterro estudado e suas características. Além da metodologia, procedimento e materiais utilizados para a realização dos ensaios de campo e de laboratório. Também é descrito o melhoramento feito no instrumento para medição de gás e como foram obtidos os dados climatológicos. Por último, apresenta-se a metodologia utilizada para o cálculo das emissões de biogás pelo programa Moduelo 4.0[©].

3.1 Estudo do caso

Estudou-se um aterro de resíduos sólidos padrão, localizado na cidade do Rio de Janeiro, ao qual foi nomeado de “Macondo”.

O aterro “Macondo” está localizado no município de Duque de Caxias, na Baixada Fluminense que faz parte da Região Metropolitana do município do Rio de Janeiro, junto ao estuário dos rios Sarapuí e Iguaçu. O aterro está situado nas coordenadas 22°44'56.00’’ S e 43°15'35.0’’ W. O município de Duque de Caxias fica aproximadamente a 17 km da cidade do Rio de Janeiro, seus municípios limítrofes são: Belford Roxo, Rio de Janeiro, Magé, Miguel Pereira, Nova Iguaçu, Petrópolis e São João de Meriti. A localização do Aterro pode ser visualizada na Figura 3.1.

Sondagens feitas mostram que o subsolo do aterro é composto por uma camada espessa de argila orgânica muito mole ($SPT < 1$), seguida de argila inorgânica de consistência média ($5 < SPT < 9$) e dois sedimentos arenosos superpostos. A camada de argila orgânica muito mole apresenta espessuras de 6 a 18 m e representa importante condicionante para a estabilidade geotécnica do aterro. (COMLURB, 2001).

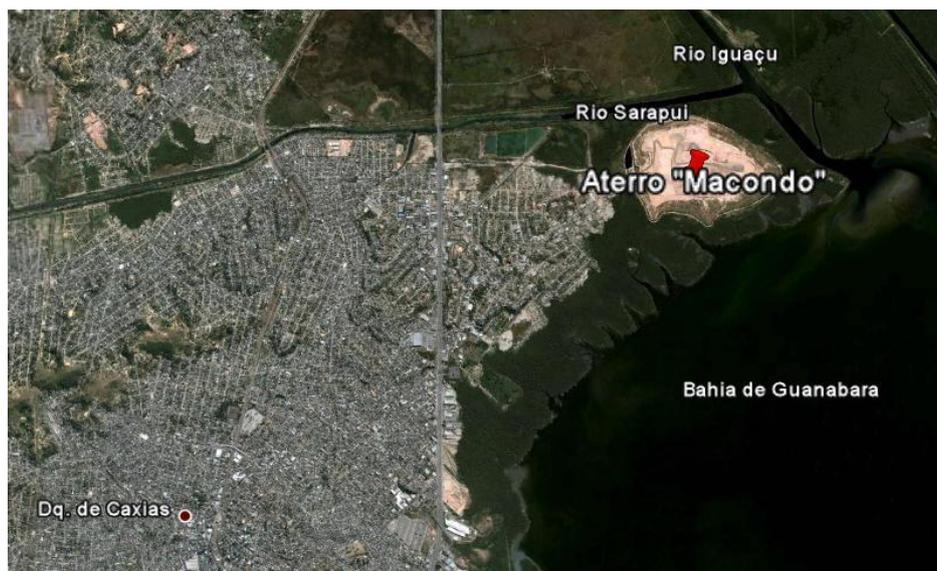


Figura 3.1: Localização Aterro “Macondo”.

O aterro tem uma área de 1.300.000 m², recebendo 7.200 toneladas de resíduos por dia oriundo dos municípios de Duque de Caxias, São João do Meriti, Belford Roxo, Queimados, Mesquita, além do município Rio de Janeiro (COMLURB, 2007).

O início de operação deste aterro data de setembro de 1978, com lançamentos de lixo domiciliar, público e hospitalar, além de outros resíduos dos Municípios do Rio de Janeiro, Duque de Caxias, Nilópolis e São João de Meriti. A partir de 1995 o aterro passou a ser operado de forma controlada. No período de 1978 a 1988 a média mensal de lançamento era da ordem de 100 mil toneladas por mês. No início dos anos 90 lançava-se cerca de 125 mil toneladas por mês. Nos anos 1996 a 2001 foram lançados por volta de 220 mil toneladas por mês. (COMLURB, 2001).

As condições climáticas do aterro são: clima tropical úmido, índices pluviométricos superiores a 860 mm ao ano e, umidade relativa do ar em média superior a 70%. (SILVEIRA, 2004).

3.2 Medições de gás

Neste item são descritos os procedimentos realizados para os ensaios de gás em campo, os melhoramentos feitos na placa para as medições de gás e, também, se apresentam as localizações dos pontos onde foram realizados os ensaios de campo.

3.2.1 Ensaios de campo

Para a determinação de quantidade e qualidade de gás que passa pela cobertura foi utilizada a Placa de Fluxo de Leituras Instantâneas (PFLI) apresentada na tese de GUEDES, (2007), desenvolvida na Geotecnia da COPPE/UFRJ. A PFLI é apresentada na Figura 3.2.



Figura 3.2: Placa de fluxo com leitura instantânea (PFLI) (GUEDES, 2007).

A PFLI é cravada no solo de cobertura de aterros de RSU e conectada a equipamentos de monitoramento de alta sensibilidade, possibilitando o acompanhamento com leituras instantâneas da vazão e concentração do biogás.

A placa de fluxo é de forma cilíndrica com diâmetro de 57 cm, área de 0.255 m² e altura de 8 cm em aço galvanizado. Possui acoplados dois aparelhos, os quais são:

- DRÄGER modelo XAM- 7000: para medir a concentração (% volume) dos gases: CH₄, CO₂, O₂ e H₂S.
- Fluxímetro da marca VARIAN, modelo Digital FlowMeter: digital de alta sensibilidade e precisão para medição de fluxo de gases (ml/min).

Após a instalação da placa na camada de cobertura, as leituras foram realizadas cada 5 minutos. Também se mediram parâmetros como: temperatura interna do solo, temperatura do ambiente e umidade do ar em cada ponto ensaiado.

Segundo o item 2.7, o princípio da PFLI, consiste em que esta é uma placa estática. O gás que é produzido pela degradação dos resíduos passa através da camada de cobertura e é confinado na PFLI. Em seguida, o fluxo passa através do aparelho DRÄGER, onde são medidas as concentrações do gás, retornando este fluxo à placa em um ciclo fechado. A placa possui outra saída de gás, a qual está ligada ao fluxímetro, no qual se mede a vazão de gás e logo este gás é emitido à atmosfera.

O procedimento de medição de gás consiste nos seguintes passos:

- a. A placa é cravada no solo de cobertura do aterro, Figura 3.3 e Figura 3.4.
- b. Prepara-se uma mistura de solo com bentonita e água e coloca-se ao redor da PFLI para evitar possíveis vazamentos de gás, Figuras 3.5 e 3.7.
- c. Depois são conectados os aparelhos anteriormente descritos, e se começam a fazer as leituras até que o fluxo de metano esteja estabilizado, Figuras 3.8 a 3.10.
- d. Coletaram-se aproximadamente 5 kg de amostra do solo para posteriormente realizar a caracterização do solo de cobertura, Figura 3.11.



Figura 3.3: Escavação para a colocação da PFLI.



Figura 3.4: Cravação da PFLI.



Figura 3.5: Preparação da mistura bentonita e solo.



Figura 3.6: Mistura bentonita e solo.



Figura 3.7: Colocação da mistura ao redor da PFLI.



Figura 3.8: Aparelhos de medição conectados à PFLI.



Figura 3.9: Aparelho para a medição de concentração de gases, Dräger.

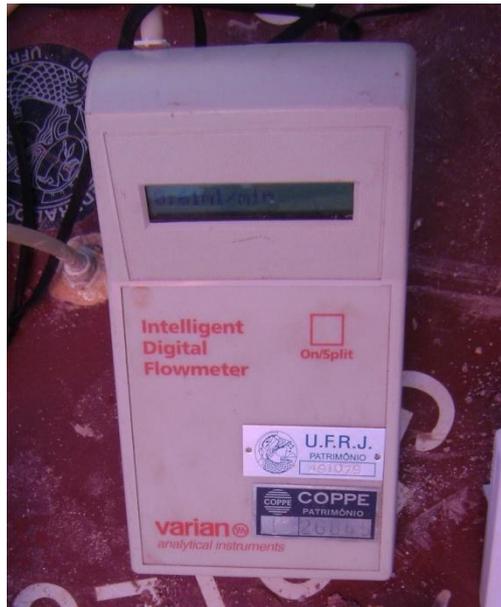


Figura 3.10: Fluxímetro para medir a vazão de gás.



Figura 3.11: Coleta de amostra de solo de cobertura

3.2.2 Melhoria da PFLI

Com o intuito de melhorar o equipamento construído por GUEDES (2007), realizaram-se modificações na PFLI. Projetou-se uma placa com materiais que não degradáveis, quando instalados em campo, com bom isolamento térmico, que causasse o mínimo impacto possível no local de instalação e que fosse de fácil portabilidade. Para este fim, utilizou-se o acrílico, devido ao seu baixo custo de aquisição em relação a outros materiais, facilidade na elaboração da placa, menor aquecimento devido à

coloração transparente, além da sua adequada durabilidade no campo. Também foi modificado o diâmetro da placa.

A PFLI modificada é apresentada no esquema e uma foto nas Figuras 3.12 e 3.13, respectivamente. Os componentes da placa foram: (i) acrílico em forma circular, com diâmetro de 54 cm e espessura de 10 mm, (ii) flange em alumínio, com diâmetro interno de 50 cm e aba para fixação do acrílico com diâmetro de 54 cm, espessura do flange de 5 mm, (iii) orig de vedação: material poliuretano, (iv) 14 parafusos com porca tipo borboleta, e (v) 4 conectores.

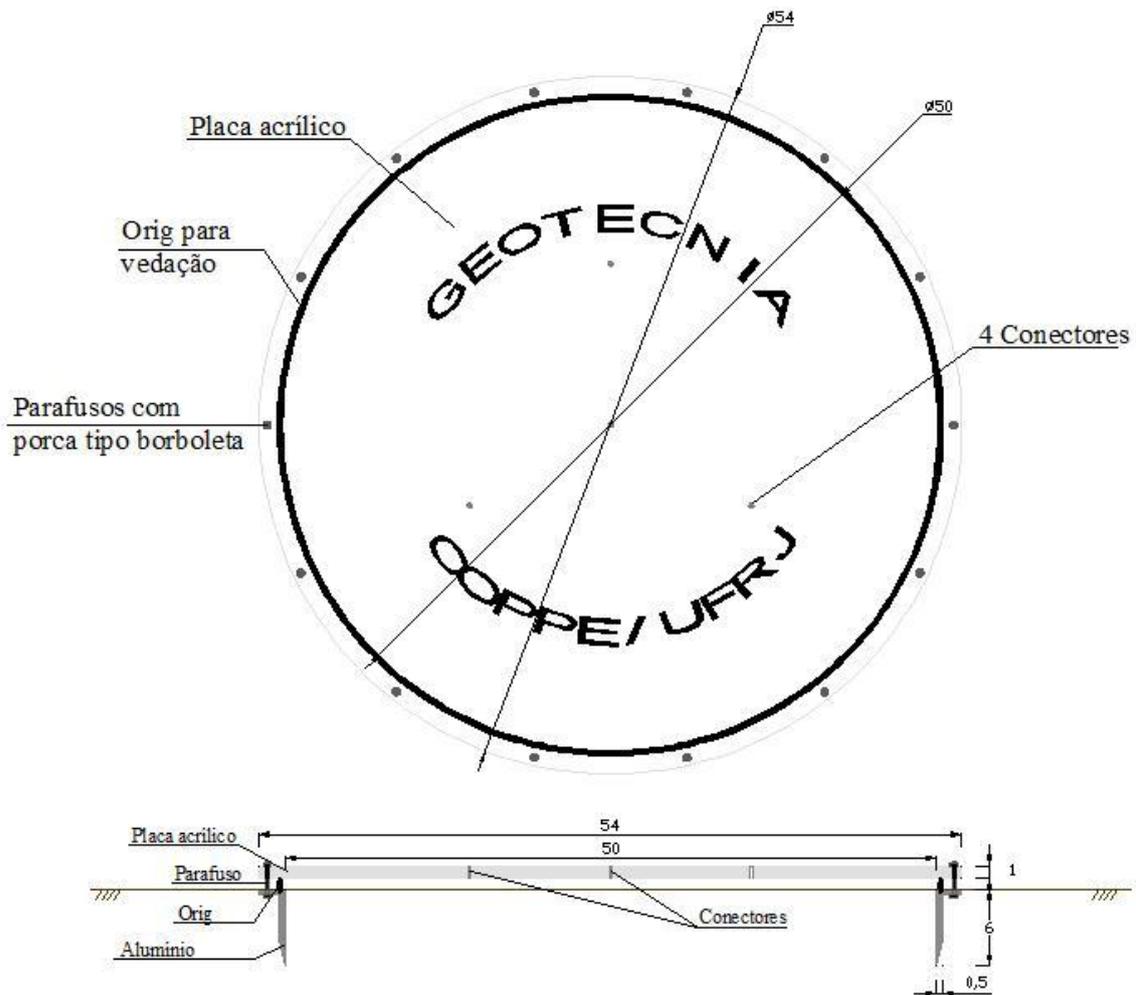


Figura 3.12: Esquema da PFLI modificada, medidas em cm.



Figura 3.13: PFLI modificada.

A área da PFLI melhorada é de 0.196 m^2 de área. O procedimento para a instalação da placa é o mesmo que para a PFLI projetada por GUEDES, (2007).

3.2.2.1 Vantagens da PFLI modificada

As vantagens obtidas com o novo equipamento desenvolvido da PFLI consistiram em um menor tempo de execução do ensaio, com a diminuição do diâmetro da placa. Com a utilização de melhores materiais, como no caso o acrílico substituindo o alumínio, a PFLI nova apresenta melhor durabilidade, isolamento térmico, portabilidade e menor degradação por agentes externos. Com o orig e os parafusos se obteve uma boa vedação dos gases que são confinados na placa.

3.2.3 Localização dos Pontos de Medição

Foram realizadas 18 medições de gases. Para ter uma boa representatividade, os pontos foram escolhidos em diferentes lugares e níveis do aterro. Na Figura 3.14 se apresentam os pontos dos ensaios.



Figura 3.14: Localização dos pontos de medição gás

3.3 Ensaios de laboratório

Com as amostras de solo coletadas a cada ensaio de campo, dos pontos AM 01 até o AM 14, foram feitos ensaios laboratoriais de caracterização do solo de cobertura.

3.3.1 Caracterização do solo de cobertura

Os ensaios feitos para a caracterização do solo de cobertura foram os realizados segundo as seguintes metodologias da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT):

- NBR – 6457/84: Preparação das amostras para ensaios de caracterização
- NBR – 6508/84: Peso específico dos grãos
- NBR – 7181/84: Análise granulométrica

Na Figura 3.15 se apresentam as curvas granulométricas das amostras de solo de cobertura que foram coletadas nos ensaios de campo. Nota-se que o solo de cobertura é

similar para todos os pontos, sendo provavelmente oriundo da mesma jazida. O solo é classificado como sendo areno- siltoso.

Curva Granulométrica

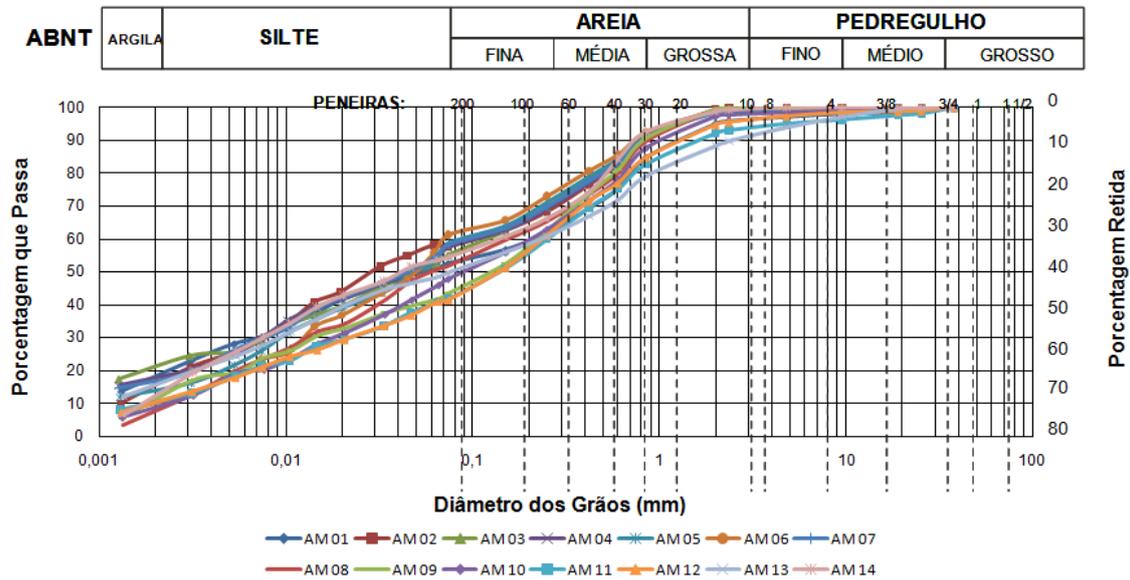


Figura 3.15: Curvas granulométricas para o solo de cobertura.

3.4 Dados meteorológicos

Os dados meteorológicos foram solicitados ao Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, da estação meteorológica automática de Xerém/Rio de Janeiro. Esta estação foi escolhida por estar localizada mais perto do aterro de RSU onde os ensaios de campo foram realizados. Esta estação tem altitude de 23,00 m em relação ao nível do mar e está localizada na latitude: 22°35'S e longitude: 043°16'W.

Os dados fornecidos pela estação foram a temperatura do ar, ponto de orvalho, temperatura máxima e mínima em °C, precipitação total horária em mm, radiação global em KJ/m², velocidade do vento em m/s e direção do vento em graus, pressão atmosférica em hPa e umidade relativa do Ar em %.

3.5 Metodologia Moduelo 4.0[©]

Foi empregado o programa Moduelo 4.0[©] para realizar a modelagem do aterro de RSU “Macondo”, simulando os diferentes processos que influenciam a geração de gás CH₄, com o intuito de se obter as quantidades do gás gerado, posteriormente comparado com os ensaios medidos em campo e com os valores calculados pela aplicação das metodologias para a estimativa de CH₄ propostos pelo BM, EPA e IPCC.

A seguir se faz uma descrição do procedimento para a utilização do programa Moduelo[©], de acordo com o Manual do Usuário do Moduelo 4.0[©]. (LOBO, 2009a)

3.5.1 Modelo do Aterro

Como foi mostrado na Tabela 2.14 o programa apresenta quatro tipos de modelos sendo eles o modelo do terreno, o modelo do aterro, os tipos de sistema de coleta do lixiviado e a gestão do *run-off*

a. Modelo do terreno:

Com a planta contendo as curvas de nível do terreno (sobre o qual vão ser depositados os resíduos), em arquivo com extensão .dxf, importam-se estes arquivos ao Moduelo[©]. O programa também lê o modelo do terreno a partir de arquivos com extensão .xml.

Importado o arquivo ao *software*, se faz a discretização tridimensional do terreno. O programa toma como unidade de trabalho representativa dos resíduos, a “célula”, a qual é um paralelepípedo. O Moduelo[©] divide o plano em células com dimensões x, y, espessura da camada, que são definidas pelo usuário. Também devem ser fornecidos parâmetros de cota do terreno, condutividade hidráulica e altura do lençol freático.

b. Modelo de aterro:

Após o fornecimento de dados acima, inicia-se a modelagem do aterro de resíduos. Esta modelagem é feita mediante a disposição sucessiva das células e a definição das características de cada um dos materiais colocados no aterro (geomembranas, camadas drenantes, resíduos, entre outros).

Os tipos de células que o programa oferece são:

- **Células aterro e células de aterro fechado:** estes dois tipos de células incluem uma camada de resíduo e sua cobertura de solo correspondente. A célula aterro fechado é utilizada para a camada de cobertura final e, diferencia-se das células de aterro nas propriedades hidrológicas superficiais, já que em esta camada se produz a evapotranspiração no lugar de evaporação simples.

Os parâmetros de entrada para este tipo de células são a característica do resíduo (teor de umidade, capacidade de campo, permeabilidade), características da cobertura (espessura, teor de umidade, densidade, capacidade de campo, permeabilidade), modelo hidrológico, modelo de infiltração superficial (velocidades de infiltração, parâmetro de Horton), modelo de evapotranspiração (profundidade de evaporação, ponto de murchamento), modelo de *run-off* superficial, modelo de fluxo preferencial, modelo de umidade residual, modelo de biodegradação dos resíduos, curva de umidade-hidrólise e outros modelos (temperatura, recalques). Na Figura 3.16 apresenta-se a janela para a definição destes tipos de células.

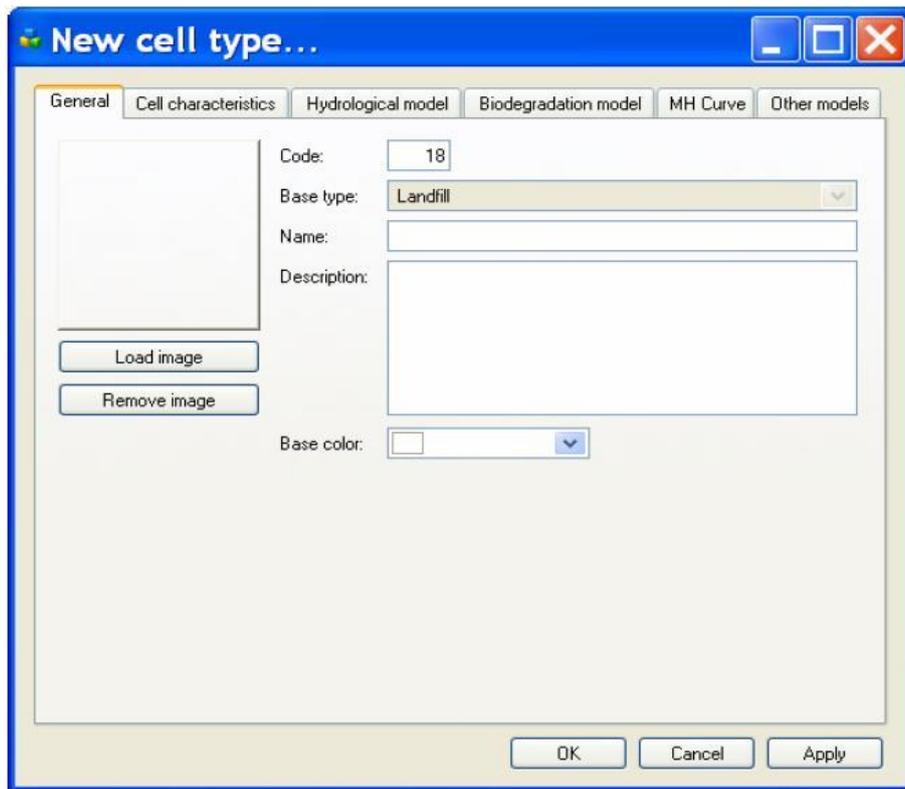


Figura 3.16: Definição de células aterro e aterro fechado (LOBO, 2009a).

- **Células solo e células solo fechado:** estes tipos de células são compostas somente por um tipo de material homogêneo. São utilizadas para representar as camadas drenantes, geomembranas, muros, outras estruturas. As células de solo fechado se diferenciam das células solo, pois nestas há a produção da evapotranspiração.

Os parâmetros de entrada para este tipo de células se diferenciam das células de aterro e aterro fechado, pois não incluem as características da cobertura, modelo de umidade residual, e modelo de biodegradação. Na Figura 3.17 apresenta-se a janela do programa para a entrada de dados destes tipos de células.

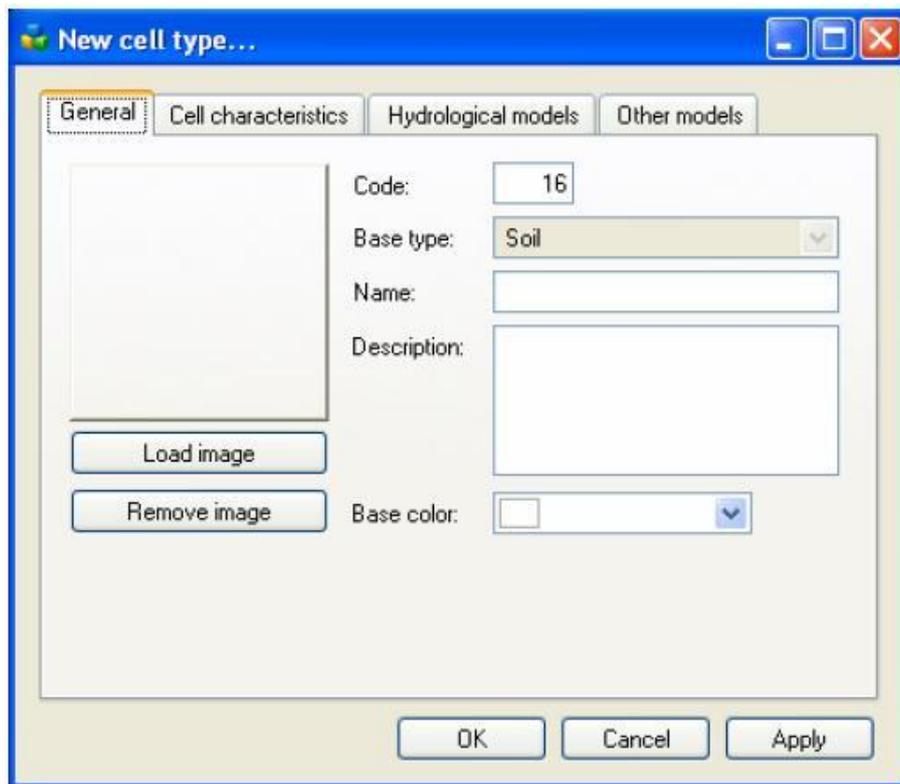


Figura 3.17: Definição de células solo e solo fechado (LOBO, 2009a).

Definidos os tipos e as características de cada célula, procede-se à colocação de cada célula na posição e na ordem sucessiva que o usuário quiser, simulando desta forma a disposição real dos resíduos em campo. Na Figura 3.18 pode-se visualizar a seleção das células.



Figura 3.18: Seleção de células (LOBO, 2009a).

c. Tipos de sistema de drenagem do lixiviado:

Depois de colocar todas as células no aterro, define-se o sistema de coleta do lixiviado. No Modulo[©] podem-se escolher entre três tipos: Brita, Tubulação e Poço. Definem-se suas propriedades: inclinação da drenagem, número de células servidas pela drenagem, permeabilidade embaixo da drenagem.

A Figura 3.19, a seguir, ilustra a colocação de um sistema de drenagem no aterro, a drenagem horizontal está em cor cinza.

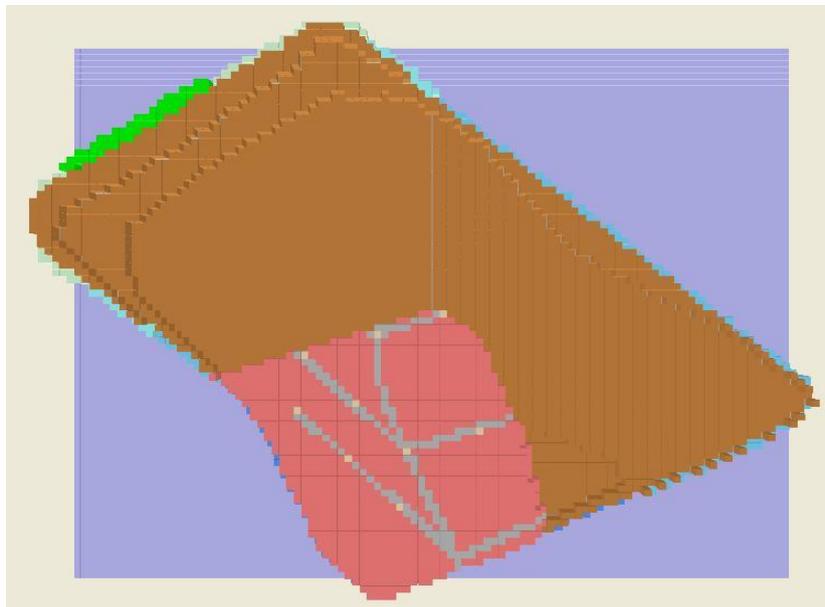


Figura 3.19: Seleção do sistema de drenagem

d. Gestão do *run-off*:

No Modulo[©] pode-se representar a drenagem superficial do aterro, a gestão dos volumes de água que não se infiltram nas células superiores e escorrem pela gravidade na forma de *run-off* superficial.

Existem 5 tipos de gestão de *run-off*:

- **Não evacuado:** consiste no volume de água que não infiltra e não flui no aterro, permanecendo sobre as células até que se evapore ou evapotranspire.

- **Conectada:** quando o volume de água que escoar flui através de um sistema de drenagem (por exemplo, coletado por uma valeta perimetral) conectado ao sistema de lixiviado.
- **Não conectada:** o sistema de infiltração das águas superficiais não está conectado a nenhum sistema de coleta de lixiviados, a gestão do *run-off* se faz independentemente.
- **Combinada:** representa uma gestão dos sistemas de drenagem inferior com vários condutos em paralelo. Cada conduto de serviço trata de uma área do aterro e não se conecta ao sistema de infiltração de lixiviados até que aquela área começa a ser explorada depositando resíduos. Enquanto isso o conduto serve para saída do *run-off* das águas que não estarão contaminadas.
- **Dique:** no caso em que se colocam diques de baixa permeabilidade nas áreas que permitem controlar o *run-off*, conectando à rede geral de lixiviados somente as provenientes das áreas de exploração.

Quando a gestão do *run-off* é de tipo combinado, seleciona-se a direção do *run-off*: embaixo, esquerdo, direito ou acima. Na Figura 3.20 a seguir, se apresentam os tipos de gestão do *run-off*.

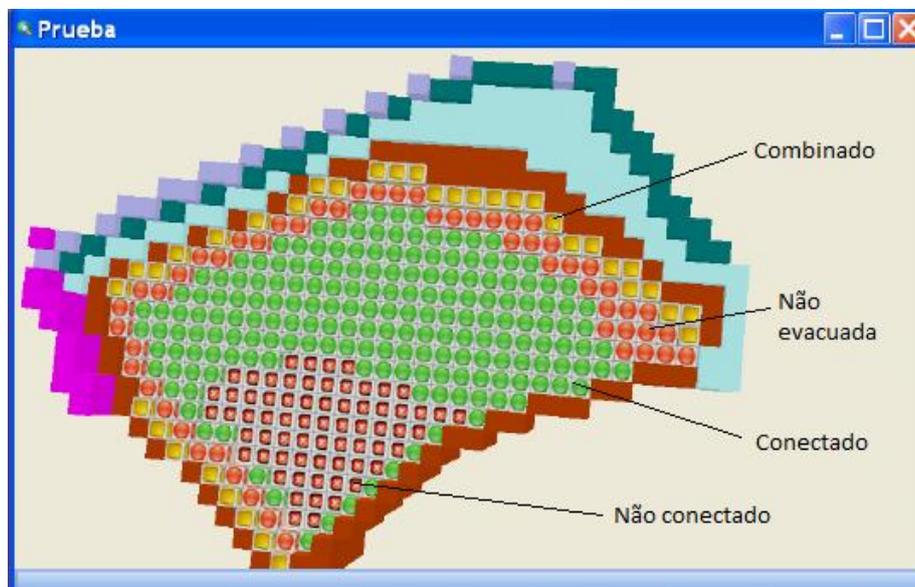


Figura 3.20: Seleção do sistema de drenagem (Modificado de LOBO, 2009a).

3.5.2 Modelo de Geração de resíduos

Neste modelo se inserem os dados dos resíduos que são colocados no aterro de acordo com o tempo de disposição. Este modelo consta de três módulos:

- **Componentes:** correspondem à informação sobre a quantidade dos diferentes materiais que chegam ao aterro (composição: % carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio, enxofre e cinzas, biodegradabilidade).
- **Períodos de geração:** permitem definir as quantidades dos resíduos e os tempos em que estes chegam ao aterro. Existem 5 diferentes formas de períodos de geração que podem ser inseridos no programa, dependendo da informação da qual se dispõe. Na Figura 3.21, é apresentada a janela em que são escolhidos estes tipos de dados. A seguir apresenta-se uma descrição de cada um:
 - **Geração global por população:** definem-se a população (número de habitantes) que gera os resíduos, a taxa diária de geração de resíduos por habitante e as taxas de crescimento da população e da geração dos resíduos.
 - **Geração global mensal:** insere-se a geração mensal dos resíduos durante o período definido de estudo.
 - **Geração por componente e população:** especifica-se a composição dos resíduos por componente e a fração reciclada de cada um. Insere-se a população geradora dos resíduos e sua taxa de crescimento, a taxa diária de geração de resíduos por habitante e as taxas de crescimento de geração de resíduos. Também existe outra opção de só definir as taxas de crescimento de produção de cada componente, selecionando Crescimento por componente.
 - **Geração por componentes e geração mensal:** inserem-se a composição do resíduo por componentes com o tempo assim como a fração reciclada de cada um e a geração mensal global de resíduos durante o período a definir.
 - **Geração mensal por componente:** especificam-se os componentes e a geração mensal de cada um durante o período a definir.
 -

- **Simulações:** permite realizar simulações com diferentes períodos definidos pelo usuário.

Nas simulações obtêm-se dados como: resíduo gerado, reciclado, vertido, teor de umidade, densidade, matéria rápida e lentamente biodegradável e, resultados de composição do resíduo.

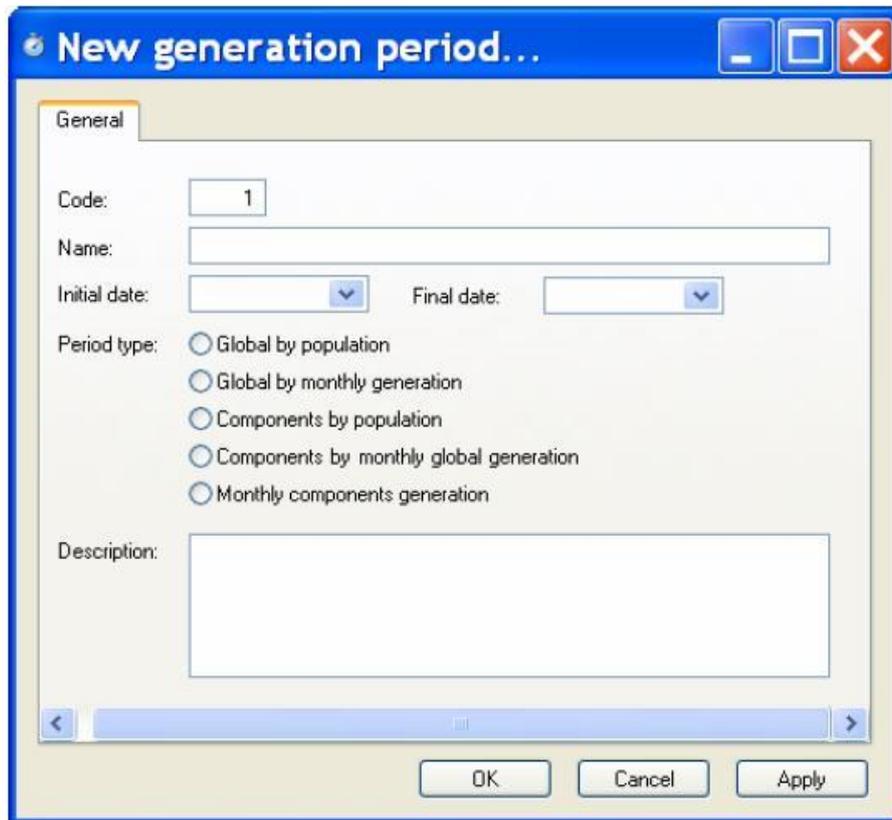


Figura 3.21: Períodos de Geração (LOBO, 2009a).

3.5.3 Modelo Meteorológico

Os dados históricos podem ser fornecidos diretamente ao programa ou importados de um arquivo com extensão .xls, construído anteriormente. Os dados meteorológicos fornecidos ao programa são: a umidade relativa média diária (%), a temperatura média diária (°C), a velocidade média diária do vento (km/h), a insolação (No. horas diárias de sol), a precipitação horária (mm), a precipitação diária (mm), a temperatura máxima diária (°C) e a temperatura mínima diária (°C).

3.5.4 Gestão de lixiviados

Na gestão de lixiviados são inseridos os tipos de sistemas de recirculação e os modelos de armazenamento, onde se descrevem as características do depósito de lixiviado, que são extraídos para as plantas de tratamento.

- **Tipos de sistema de recirculação de lixiviados:** permitem definir os sistemas de recirculação de lixiviados durante a exploração do aterro e no período depois do fechamento.
 - **Durante a exploração do aterro:** pode-se escolher entre 7 tipos de sistemas de recirculação de lixiviados. Sendo estes: pré-umedecimento do resíduo, irrigação na frente de trabalho, irrigação mediante difusores, lagoas sobre a superfície, injeção mediante condutores horizontais, injeção mediante poços verticais e extração mediante poços verticais.
 - **Depois do fechamento:** se podem escolher entre 5 tipos de sistemas de recirculação de lixiviados: irrigação mediante difusores, lagoas sobre a superfície, injeção mediante condutores horizontais, injeção mediante poços verticais e extração mediante poços verticais.
- **Modelos de armazenamento de lixiviado:** permitem simular depósitos de armazenamento onde os diferentes fluxos de líquido gerado no aterro são misturados, para posterior realização de recirculação e envio para estações de tratamento, entre outros. O modelo de armazenamento estabelece a quantidade e características principais (conteúdo de contaminantes) do lixiviado armazenado no depósito ao longo da simulação.

Os dados de entrada para este modelo são: capacidade de armazenamento, superfície horizontal, taxa de evaporação média, taxa de sedimentação, fração sedimentável, taxa de degradação, coeficiente de arrhenius.

3.5.5 Simulação

Depois de inseridos os dados de entrada para o aterro, procede-se a simulação, escolhendo os diferentes modelos. Tais como: o modelo meteorológico, simulação de geração de resíduos e se existir o modelo de armazenamento do lixiviado. Como se pode observar na Figura 3.22.

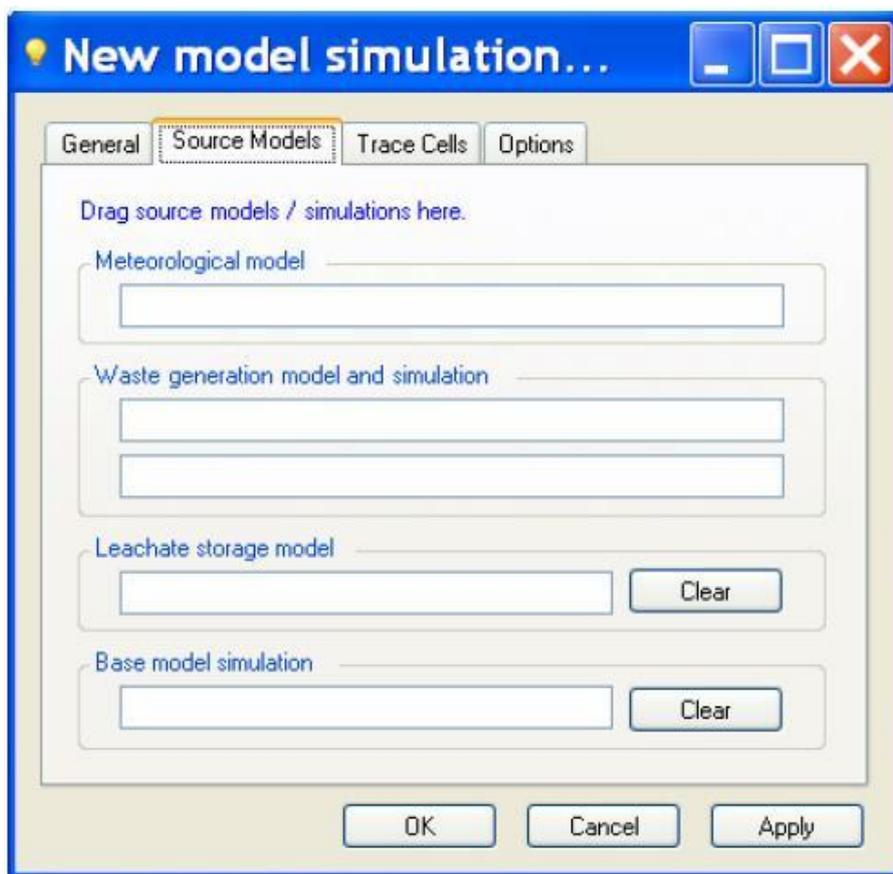


Figura 3.22: Simulações (LOBO, 2009a).

Na parte de simulação de modelo básico na Figura 3.22, podem-se colocar simulações anteriores.

Às células, das quais se deseja ter uma avaliação mais detalhada, insere-se um número identificador para posteriormente, se fazer uma revisão das mesmas.

Na Figura 3.22, definem-se com que frequência são guardados os resultados diários da simulação e o período de tempo entre os mesmos.

Também o usuário pode escolher na coluna esquerda os modelos que serão simulados. Sendo eles: a avaliação da água superficial, avaliação do fluxo horizontal, avaliação da degradação, avaliação do armazenamento de lixiviado, avaliação da recirculação e na coluna direita, os dados a guardar dos resultados, registro de dados diários, registro de dados diários de diferentes fluxos de lixiviado, registro de dados diários das células e registros de dados diários de diferentes fluxos em cada célula.

Pode-se realizar uma simulação visual, para revisar se a ordem de disposição é correta com o tempo. A Figura 3.23 apresenta a janela com esta simulação visual.

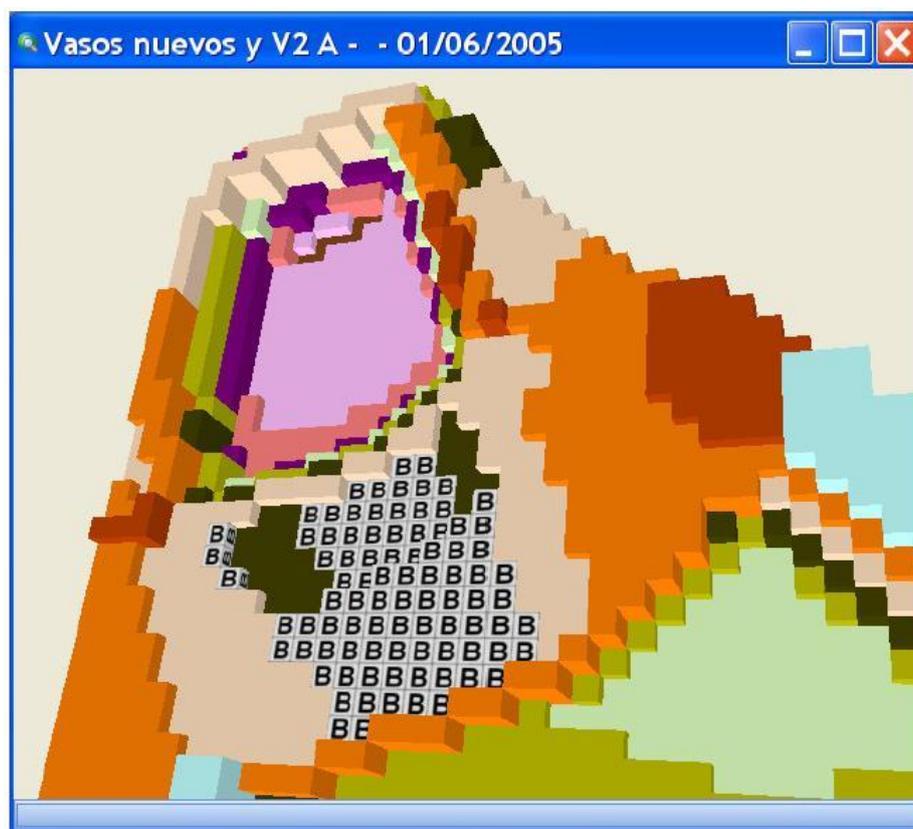


Figura 3.23: Simulação visual (LOBO, 2009a).

3.5.6 Resultados

Os resultados podem ser visualizados de quatro formas, sendo estas: resultados finais de cada célula, resultados globais diários, resultados no visor, e gráficos de resultados

- **Resultados finais de cada célula:** pode-se consultar o estado/resultado de todas as células no modelo na data final da simulação. A forma como se podem visualizar estes dados é apresentada na Figura 3.24. Os resultados que podem ser consultados são:

- Umidades do resíduo e da camada de cobertura.
- Condutividade hidráulica
- Cota de saturação.
- Gás metano, dióxido de carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio em kg.
- Adensamento.
- Carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio, enxofre: sólido biodegradável e não biodegradável, e rapidamente e lentamente biodegradável em kg.
- Carbono, hidrogênio, oxigênio de compostos intermediários dissolvido, em Kg.
- Acetato, nitrogênio amoniacal, sulfeto de hidrogênio, dióxido de carbono, hidrogênio, nitrogênio, oxigênio dissolvido, em kg.
- Carbono, hidrogênio, nitrogênio, enxofre, não biodegradável dissolvido, em kg.

Um exemplo da forma como se podem visualizar estes dados é apresentado na Figura 3.24.

Cell	Filled Date	Moisture Content
625	01/08/2005	82,14
626	01/08/2005	244,80
627	01/08/2005	244,83
628	01/08/2005	244,83
629	01/08/2005	244,83
630	01/08/2005	244,83
631	01/08/2005	244,80
632	01/08/2005	244,83
633	01/08/2005	244,83
634	01/08/2005	244,83
635	01/08/2005	244,83
636	01/08/2005	244,83

Figura 3.24: Resultados finais de cada célula (LOBO, 2009a).

- **Resultados globais diários:** podem-se consultar os resultados diários globais do aterro no final da simulação. A Figura 3.25 mostra a janela de consulta destes dados. Os resultados que se pode consultar são:
 - Precipitação total, evaporada, infiltração, *run-off* total, água superficial evaporada.
 - Teor de umidade total no aterro.
 - Metano liberado, dióxido de carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio: liberado e gerado em kg.
 - Adensamento.
 - Água consumida na degradação: em kg.

The screenshot shows a window titled "Global daily data" with a table containing the following data:

Day	Total Landfill Moisture Content
01/08/2005	2.920,171
02/08/2005	5.995,163
03/08/2005	9.075,392
04/08/2005	12.041,418
05/08/2005	15.120,536
06/08/2005	18.199,138
07/08/2005	21.279,278
08/08/2005	24.247,944
09/08/2005	27.311,161
10/08/2005	30.360,261
11/08/2005	33.416,501
12/08/2005	36.368,614
13/08/2005	39.440,862
14/08/2005	42.515,786
15/08/2005	45.592,210
16/08/2005	48.554,583
17/08/2005	51.631,793
18/08/2005	54.711,007

The status bar at the bottom of the window indicates "Ready." and "1065 rows."

Figura 3.25: Resultados globais diários (LOBO, 2009a).

- **Resultados no visor:** também se podem consultar os resultados na tela por meio do visor. Mostra-se o aterro com todas as células colocadas durante a simulação com o adensamento sofrido durante a mesma. O estado de cada uma ao final da

simulação se pode consultar como mostra o exemplo da Figura 3.26. Os resultados que se podem consultar são características das células, fluxo vertical, composição do sólido, adensamento, componentes dissolvidos e a composição da mistura de gases.

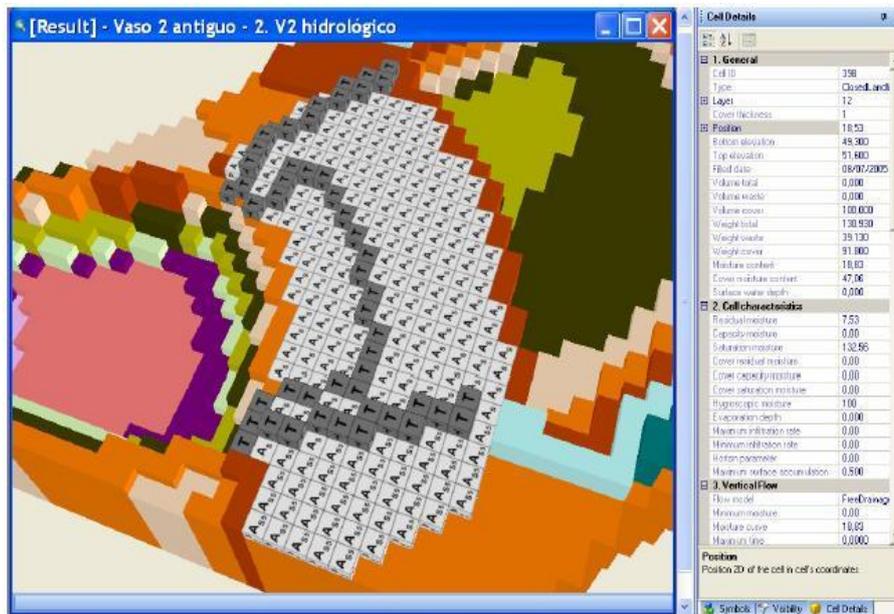


Figura 3.26: Resultados no visor (LOBO, 2009a).

- **Gráficos de resultados:** o programa possui uma ferramenta gráfica que permite analisar graficamente os resultados. O usuário pode escolher os parâmetros e realizar o gráfico. Na Figura 3.27 se apresenta um exemplo de uma representação gráfica.

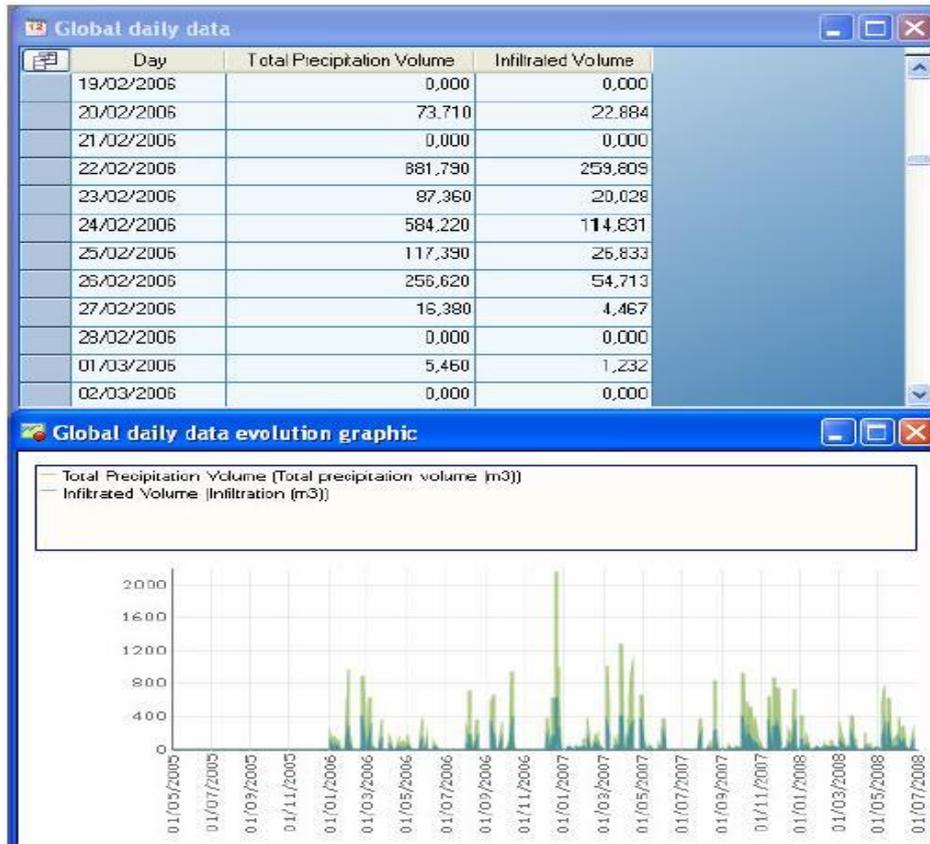


Figura 3.27: Gráfico de resultados (LOBO, 2009a).

CAPÍTULO 4- APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados e analisados os resultados obtidos dos ensaios de campo para a medição do fluxo de gás por meio da PFLI. Além disto, será analisada a influência dos diferentes fatores climatológicos na emissão de gás. Também serão apresentadas a aplicação e os resultados das metodologias para a estimativa de emissão de gás pelo Banco Mundial, EPA e IPCC, será descrita a simulação do aterro por meio do programa Moduelo 4.0[©] e os resultados obtidos pela modelagem. Por último se comparará o as quantidades do gás calculado pelos ensaios de campo, pelas três metodologias (BM, EPA e IPCC) e pelo programa Moduelo[©].

4.1 Ensaios de Campo para Medições de Emissões Gasosas

Foram realizados 18 ensaios utilizando a PFLI de acordo com a metodologia descrita no item 3.2.1.

No anexo B são apresentados os dados obtidos em campo em cada um dos ensaios. Estes dados consistem nas concentrações em porcentagem de CO₂, CH₄, O₂ e H₂S, a vazão total dos gases em ml/min, temperatura interna do solo em °C, umidade relativa do ar em % e a temperatura externa do ambiente em °C. Também são apresentados os dados dos cálculos de vazão de cada gás (CO₂, CH₄, O₂) em ml/min*m², que se obtêm ao multiplicar cada concentração pela vazão total e dividir pela área da placa.

Para os ensaios AM 01 ao AM 12, foi utilizada a PFLI de GUEDES (2007), com área da placa de 0,255 m² e para os ensaios AM 13 ao AM 18 foi utilizada a PFLI reconstruída, a qual foi descrita no item 3.2.2, com área da placa de 0,196 m². Nos ensaios AM 16 ao AM 18, não foram registrados dados de concentrações de CO₂ e CH₄.

Da Figura 4.2 até 4.31, se apresentam os gráficos de concentração (%) versus tempo e fluxo (ml/min*m²) versus tempo, para os gases CO₂, CH₄ e O₂ para cada um dos ensaios feitos. Não foram realizados os gráficos para H₂S, porque em nenhum ensaio foi registrado a presença deste gás.

- **AM 01:** este ensaio foi feito nas coordenadas S 22°44'44,86" WO 43°15'22,57", com cota de 35 m. Deu-se no dia 10 de dezembro de 2008 às horas 14:55. No local encontravam-se depositados apenas resíduos domiciliares.

Nas Figuras 4.1 e 4.2, observa-se a concentrações e os fluxos de CO₂, CH₄ e O₂ para o ponto de medição da AM 01. Nota-se que as curvas apresentam um acréscimo com o tempo para CO₂ e CH₄ e um decréscimo para O₂, isto é conseqüência do processo de estabilização das concentrações de gases no interior da PFLI onde, com o tempo, as concentrações dos gases que saem do aterro aumentam e, conseqüentemente, ocupam o lugar onde anteriormente somente havia ar. As medidas estabilizadas observadas de CH₄ (51%) são maiores do que as medidas de CO₂ (31%).

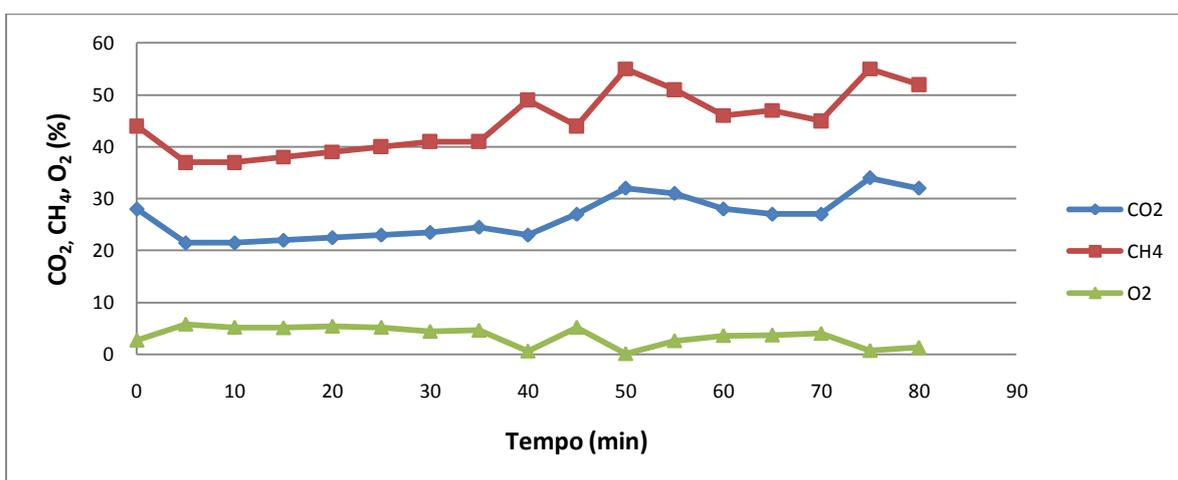


Figura 4.1: Concentração de CO₂, CH₄ e O₂ (%) no ponto AM 01.

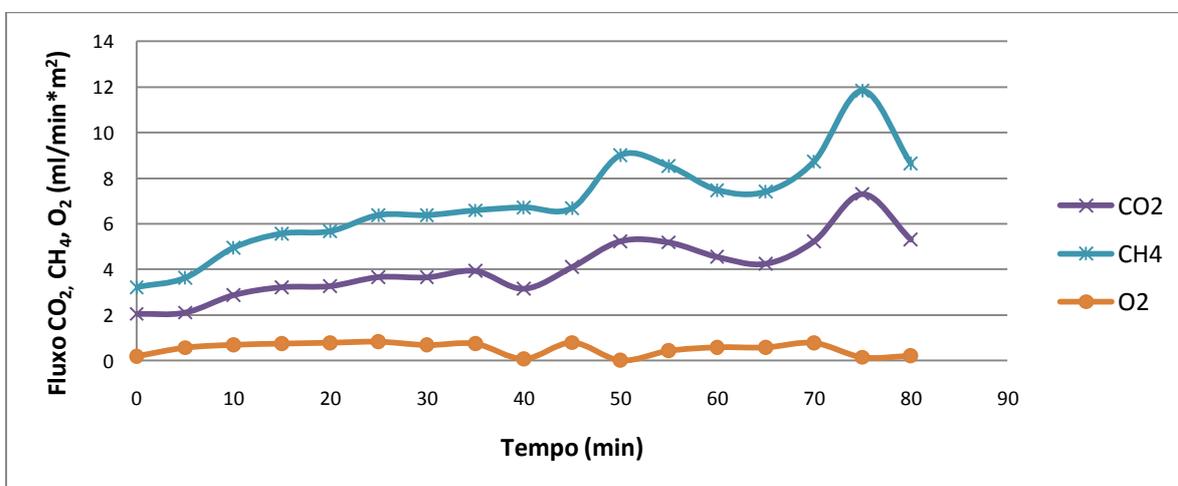


Figura 4.2: Fluxo de CO₂, CH₄ e O₂ (ml/min*m²) no ponto AM 01.

- **AM 02:** este ensaio foi realizado nas coordenadas S 22°44'46,17" W 43°15'22,15", com cota de 35 m. Deu-se no dia 15 de dezembro de 2008 às 11:30. No local encontravam-se depositados apenas resíduos domiciliares.

Nas Figuras 4.3 e 4.4, pode se observar o aumento quase constante das concentrações e fluxos de CO₂ e CH₄, além do decréscimo nos valores de O₂. As medidas das concentrações e fluxos para este ensaio em particular foram muito constantes. Novamente observa-se que os dados de concentração e fluxo do CH₄ foram maiores do que os de CO₂. A concentração do CH₄ foi de 61% e a concentração do CO₂ foi de 38%.

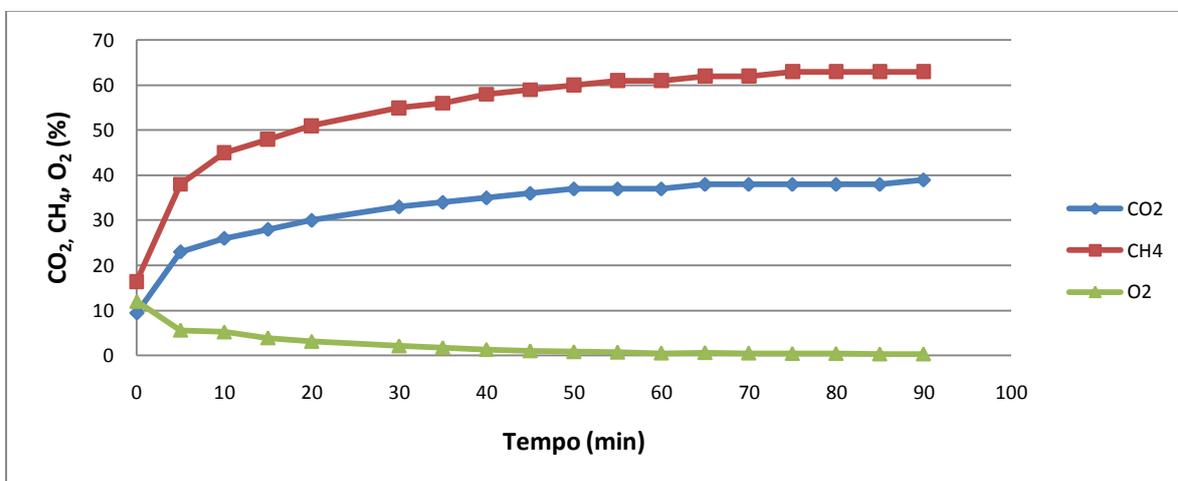


Figura 4.3: Concentração de CO₂, CH₄ e O₂ (%) no ponto AM 02.

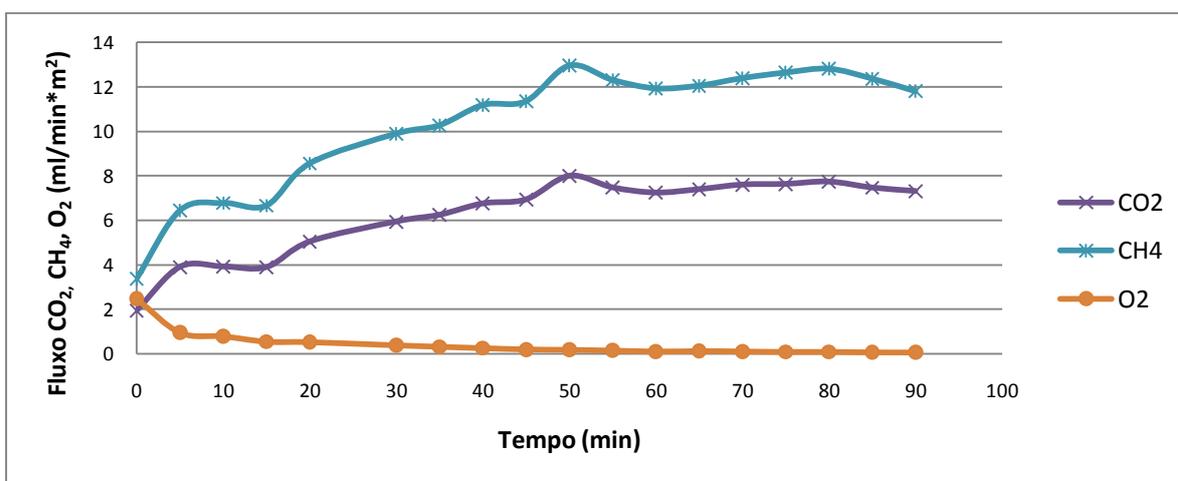


Figura 4.4: Fluxo de CO₂, CH₄ e O₂ (ml/min*m²) no ponto AM 02.

- AM 03:** este local de ensaio teve como localização a coordenada S 22°44'55,0" W 43°15'22,4", com cota de 40 m. Foi realizado no dia 07 de fevereiro de 2009 às 10:45 da manhã. Neste local encontravam-se depositados apenas resíduos domiciliares.

Na Figura 4.5, nota-se o aumento constante das concentrações de CO₂ e CH₄ e o decréscimo constante das concentrações de O₂ no ponto AM 03. Ainda foram observadas oscilações bruscas nas medidas de fluxo dos três gases, como é apresentado na Figura 4.6. Os fluxos de CO₂ e CH₄ foram menores do que os fluxos nos ensaios AM 01 e AM 02.

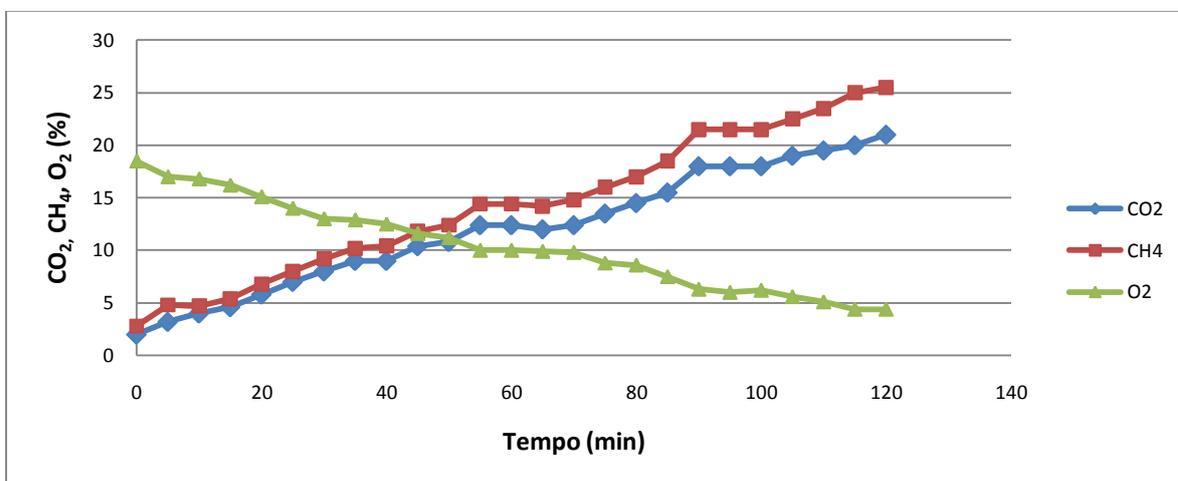


Figura 4.5: Concentração de CO₂, CH₄ e O₂ (%) no ponto AM 03.

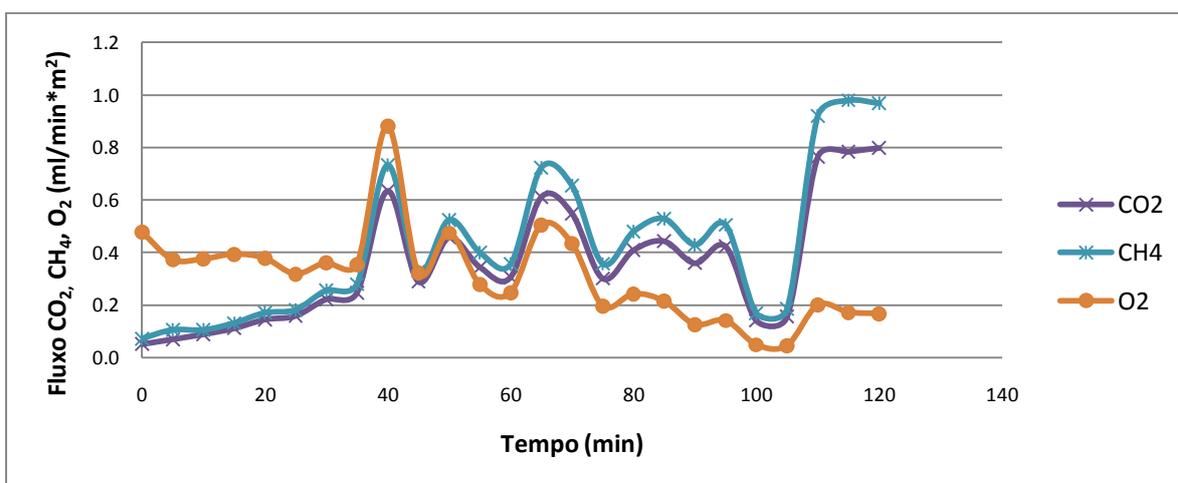


Figura 4.6: Fluxo de CO₂, CH₄ e O₂ (ml/min*m²) no ponto AM 03.

- **AM 04:** este local de ensaio foi localizado na coordenada S 22°44'56,4" W 43°15'21,9", com cota de 40 m. Foi feito no dia 09 de fevereiro de 2009 às 10:10 da manhã. Neste local encontravam-se depositados apenas resíduos domiciliares.

Na Figura 4.7, pode-se observar novamente o aumento constante das concentrações de CO₂ e CH₄ e decréscimo constante de O₂. Na Figura 4.8 se observa um aumento com muitas oscilações dos fluxos de CO₂ e CH₄. Apresenta-se um decréscimo do fluxo de O₂, mas sem muita variação.

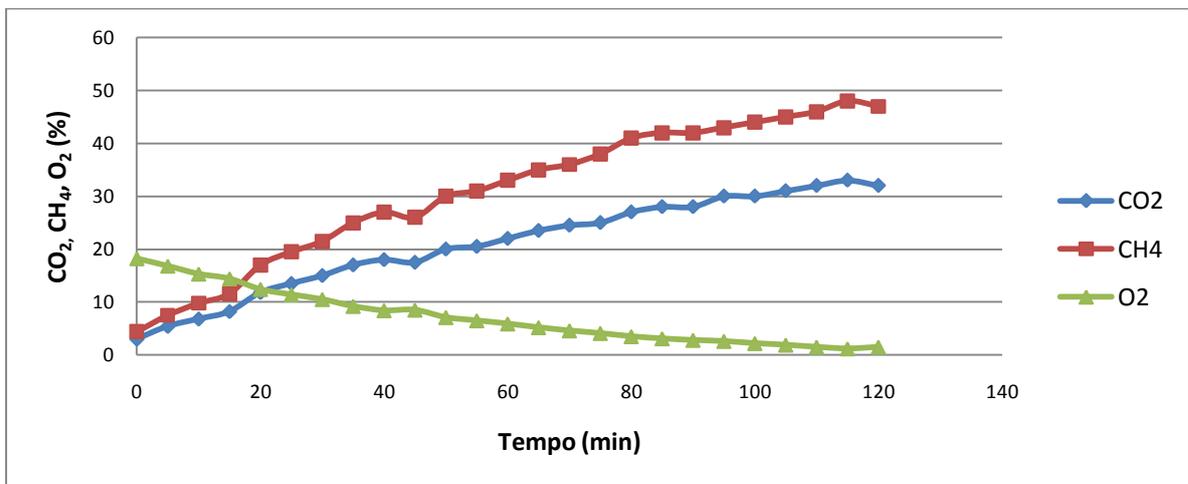


Figura 4.7: Concentração de CO₂, CH₄ e O₂ (%) no ponto AM 04.

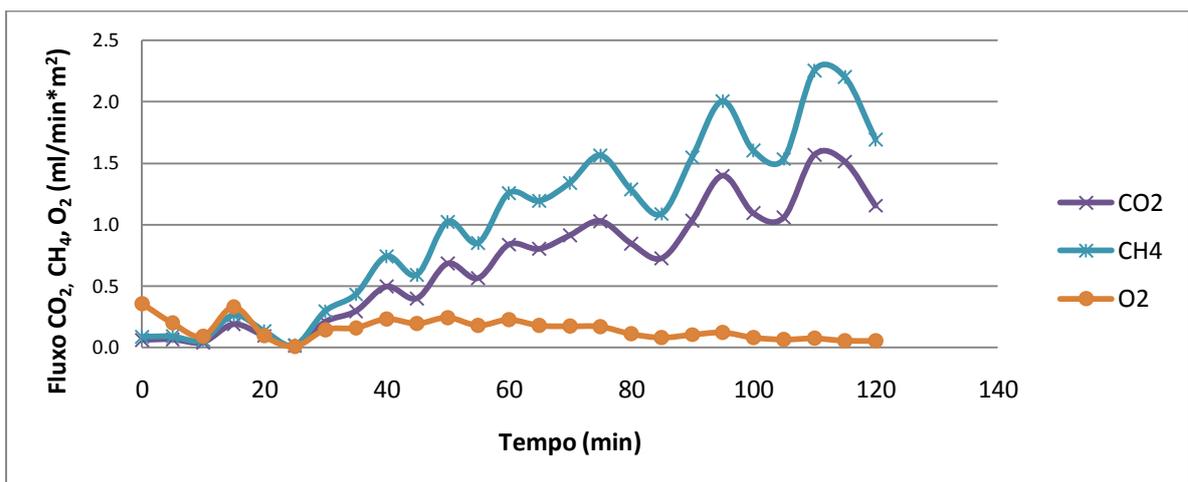


Figura 4.8: Fluxo de CO₂, CH₄ e O₂ (ml/min*m²) no ponto AM 04.

- **AM 05:** este local de ensaio localiza-se na coordenada S 22°44'56,9" W 43°15'20,6", que estava a uma cota de 40 m. Foi feito o dia 09 de fevereiro de 2009 às 12:40. Este local continha apenas resíduos domiciliares.

Na Figura 4.9, nota-se, mais uma vez, o aumento das concentrações de CO₂ e CH₄ em detrimento à concentração de O₂. Observaram-se oscilações bruscas nas medidas de fluxo dos três gases, na Figura 4.10, provavelmente em virtude de fatores climáticos, uma vez que no anexo A pode se observar variações dos dados registrados, ao longo do ensaio, de temperatura do ar bem como variações da umidade relativa.

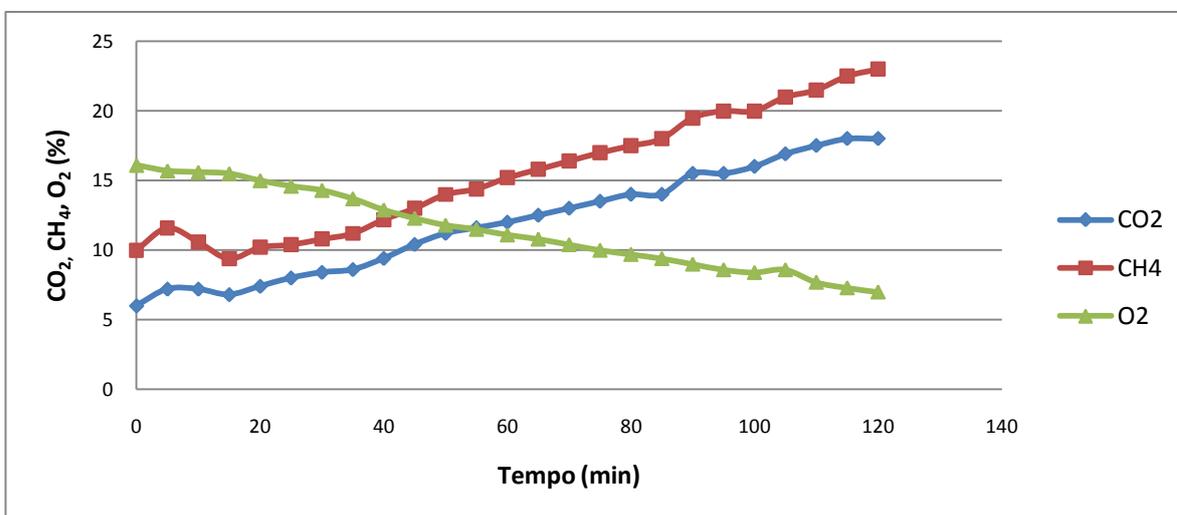


Figura 4.9: Concentração de CO₂, CH₄ e O₂ (%) no ponto AM 05.

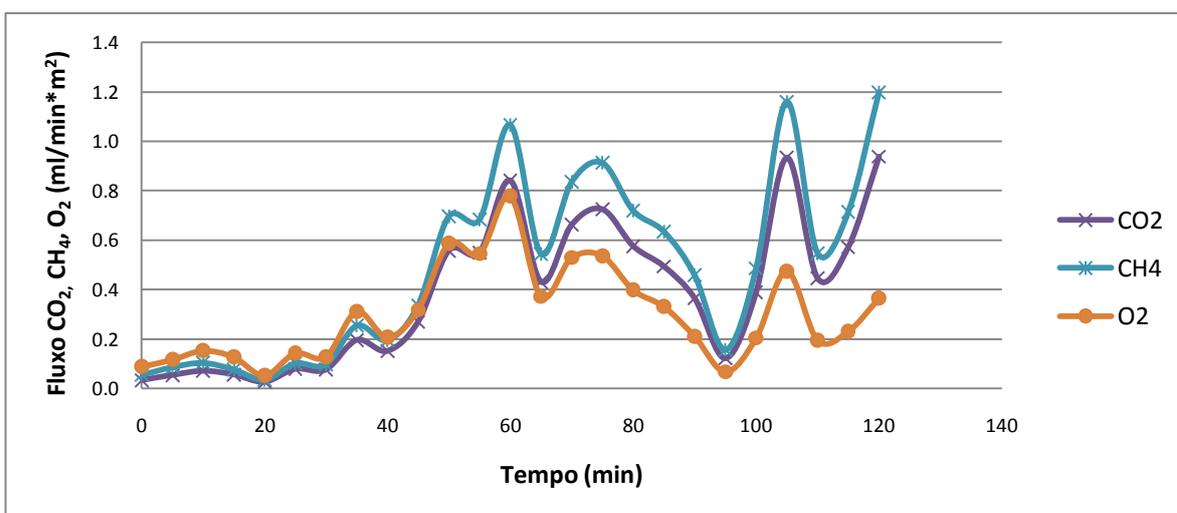


Figura 4.10: Fluxo de CO₂, CH₄ e O₂ (ml/min*m²) no ponto AM 05.

- **AM 06:** este ensaio foi feito na coordenada S 22°44'57,9" W 43°15'21,6", na cota de 40 m. Foi realizado no dia 11 de fevereiro de 2009 às 10:00. Apenas resíduos domiciliares foram depositados neste local.

Na Figura 4.11, como nos outros pontos, houve um decréscimo da concentração de O₂ e um aumento das concentrações de CO₂ e CH₄. No início deste ensaio, por volta do 5º minuto, registrou-se uma variação nas concentrações, devido talvez algum erro de operação dos aparelhos. Em relação aos fluxos, na Figura 4.12, observam-se duas oscilações em relação ao CO₂ e CH₄, sendo um decréscimo aos 55 minutos de ensaio e um aumento brusco aos 100 minutos de ensaio. No anexo B são apresentados os registros climatológicos, onde se observa que aos 100 minutos de ensaio, a temperatura externa teve um aumento e a umidade do ambiente diminuiu consideravelmente, no entanto, a temperatura do solo não teve oscilações.

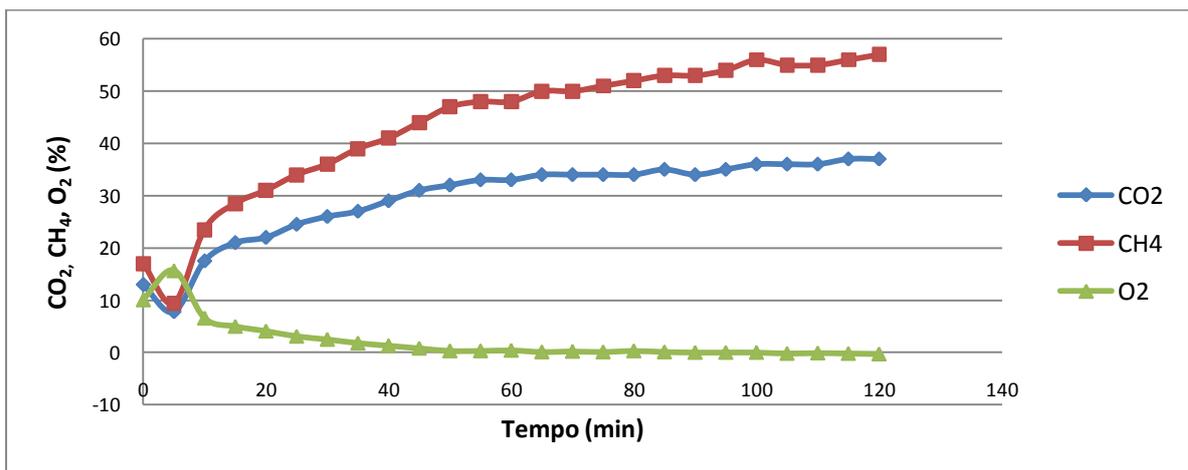


Figura 4.11: Concentração de CO₂, CH₄ e O₂ (%) no ponto AM 06.

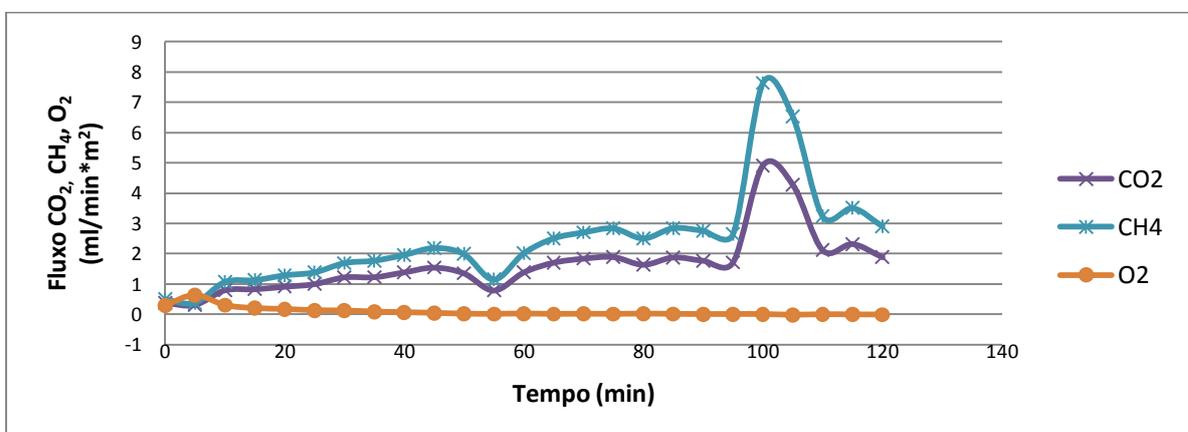


Figura 4.12: Fluxo de CO₂, CH₄ e O₂ (ml/min*m²) no ponto AM 06.

- **AM 07:** este ensaio foi localizado na coordenada S 22°44'55,7" W 43°15'21,0", com cota de 40 m. Foi feito o dia 11 de fevereiro de 2009 às 13:00. Neste local haviam apenas resíduos domiciliares depositados.

Nas Figuras 4.13 e 4.14, observa-se que o ensaio no ponto AM 07 apresentou uma concentração de CO₂ e CH₄ muito pequena e um fluxo muito baixo, praticamente zero. Provavelmente isto deve-se ao fato de que neste local do aterro, o material de cobertura é solo misturado com resíduos inertes (resíduos de construção). Por estas razões este ensaio não foi considerado para posteriores análises.

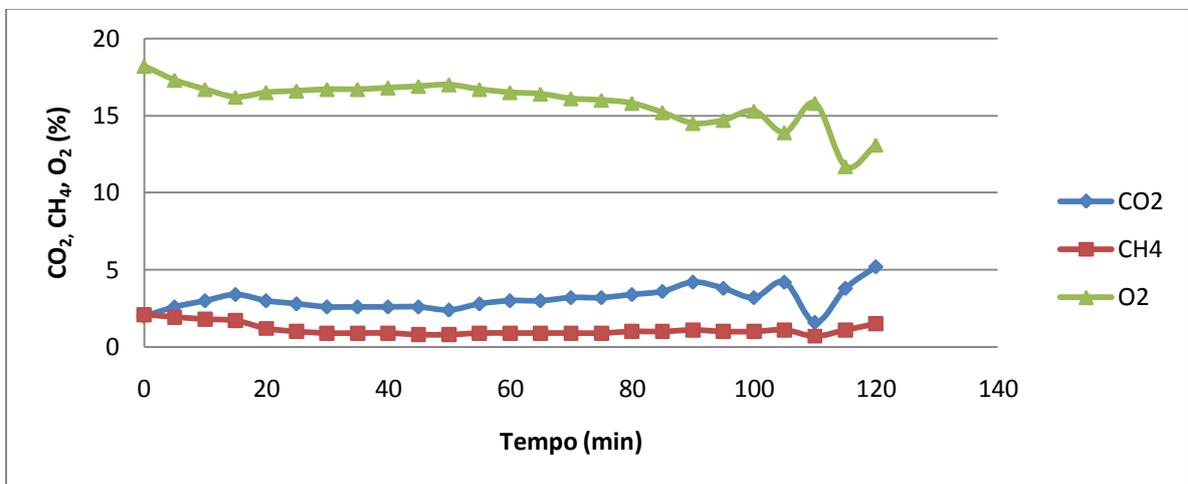


Figura 4.13: Concentração de CO₂, CH₄ e O₂ (%) no ponto AM 07.

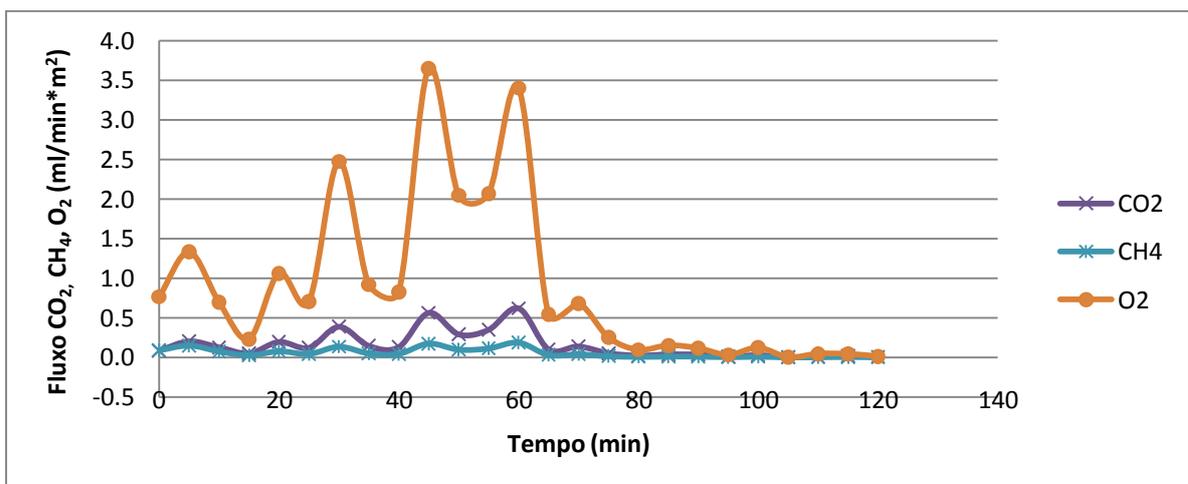


Figura 4.14: Fluxo de CO₂, CH₄ e O₂ (ml/min*m²) no ponto AM 07.

- **AM 08:** a coordenada deste local de ensaio foi S 22°45'03,3" W 43°15'43,5", com cota de 35 m. Este ensaio foi feito no dia 16 de fevereiro de 2009 às 10:55. Neste local havia apenas resíduo hospitalar.

As concentrações do CO₂ e CH₄, observadas na Figura 4.15, são menores do que a concentração de O₂. Pode-se observar também na Figura 4.16 que o fluxo de CO₂ e CH₄ é menor do que o fluxo de O₂. O fluxo dos gases CO₂ e CH₄ diminuíram consideravelmente quando comparados aos ensaios anteriores. O que foi observado no ponto AM 08 se deve, provavelmente, ao fato de que o ensaio foi feito sobre resíduo hospitalar. Na Figura 4.16 observa-se que houve oscilações no fluxo devido, provavelmente, às variações climáticas, como temperatura ambiente e umidade do ar (vide Anexo A).

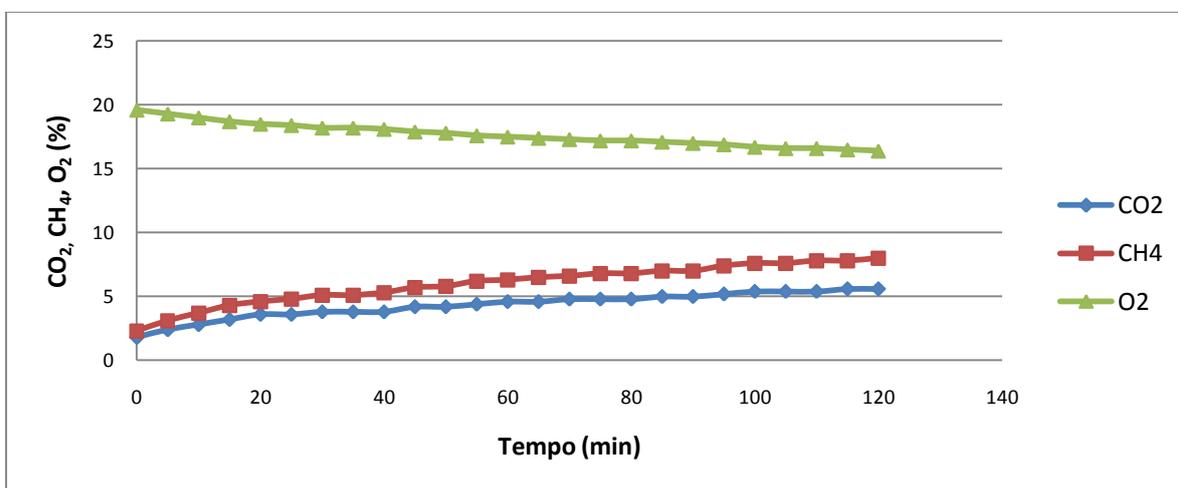


Figura 4.15: Concentração de CO₂, CH₄ e O₂ (%) no ponto AM 08.

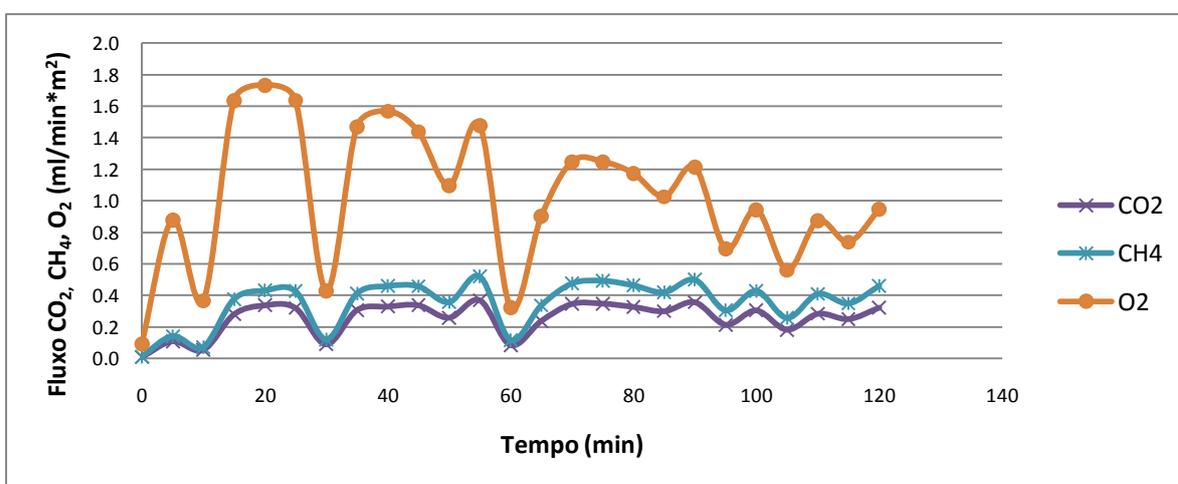


Figura 4.16: Fluxo de CO₂, CH₄ e O₂ (ml/min*m²) no ponto AM 08.

- **AM 09:** este ensaio foi localizado na coordenada S 22°45'02,7" W 43°15'44,8", na cota de 35 m. Foi feito no dia 18 de fevereiro de 2009 às 10:30. No local encontrava-se depositado apenas resíduo hospitalar.

Na Figura 4.17, observa-se que para o ponto AM 09, igualmente a outros ensaios realizados, houve um aumento constante das concentrações de CO₂ e CH₄ e uma diminuição da concentração de O₂. Já na Figura 4.18, observa-se que o fluxo de CO₂ e CH₄ foi baixo quando em comparação com outros ensaios (AM 01 a AM 07)) e que também ficou abaixo do fluxo de O₂. Atribui-se este fato ao local onde foi feito o ensaio estar sobre resíduo hospitalar, porém, nota-se que este local apresentou um fluxo pouco maior do que no ensaio AM 08. Ainda, nota-se, que os fluxos apresentaram muitas oscilações de temperatura ambiente e umidade relativa do ar (vide Anexo A).

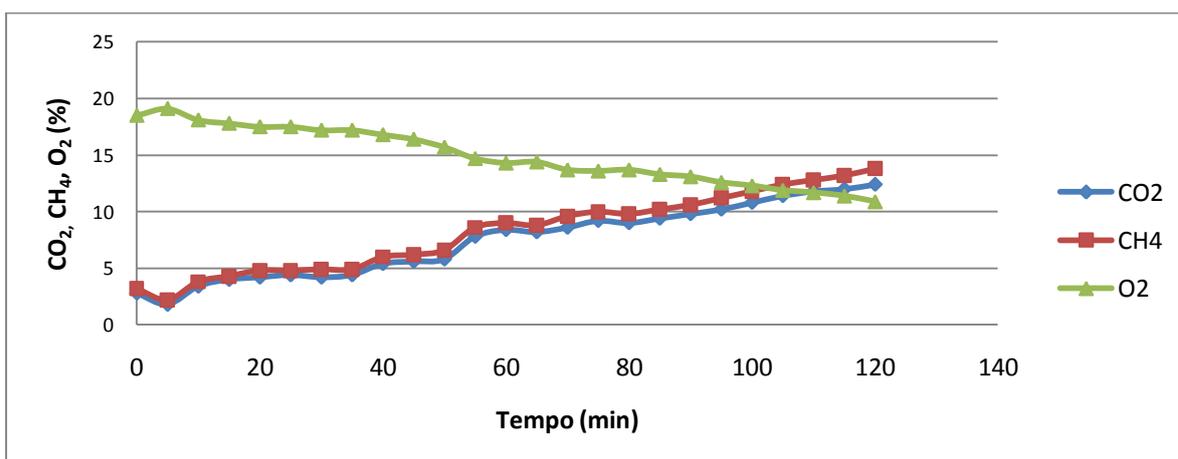


Figura 4.17: Concentração de CO₂, CH₄ e O₂ (%) no ponto AM 09.

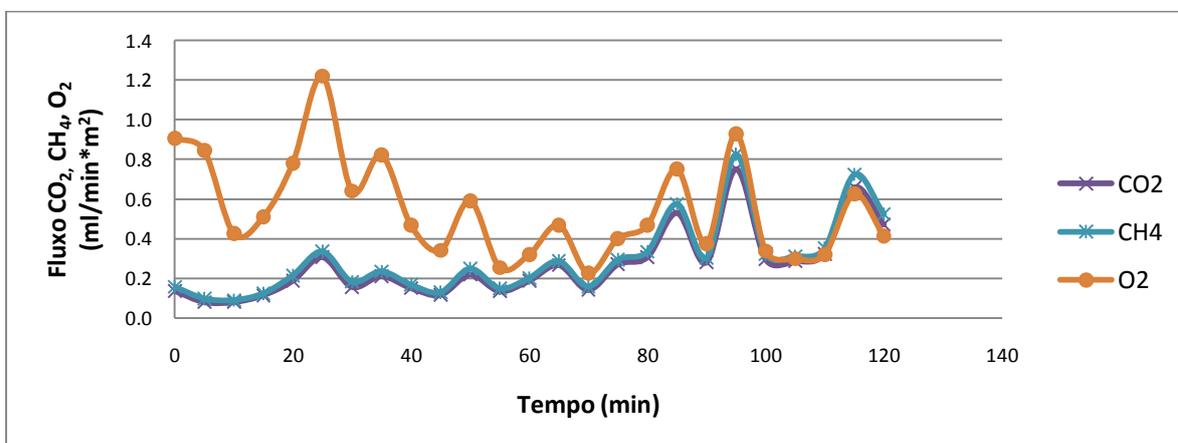


Figura 4.18: Fluxo de CO₂, CH₄ e O₂ (ml/min*m²) no ponto AM 09.

- **AM 10:** as coordenadas deste local de ensaio foram S 22°45'0,25" W 43°15'43,4", estando ele na cota de 35 m. Este ensaio foi feito no dia 18 de fevereiro de 2009 com início às 13:15. Neste local havia resíduo hospitalar.

Nas Figuras 4.19 e 4.20, observa-se que a concentração e fluxo de CO₂ e CH₄ são bem próximos de zero, podendo-se afirmar que no local onde este ensaio foi realizado, as emissões destes gases foram baixíssimas, provavelmente o resíduo disposto neste local é resíduo hospitalar. Como se observar na Figura 3.14, o ponto AM 10 se encontra um pouco afastado dos pontos AM 08 e AM 09, o que indica que o resíduo depositado no AM 10 pode ser um é um resíduo diferente e, ainda, disposto mais recentemente. Isso pode explicar a emissão quase nula de CO₂ e CH₄. Na Figura 4.20 nota-se um aumento no fluxo de O₂, que atribui-se a um aumento da umidade relativa (vide anexo A).

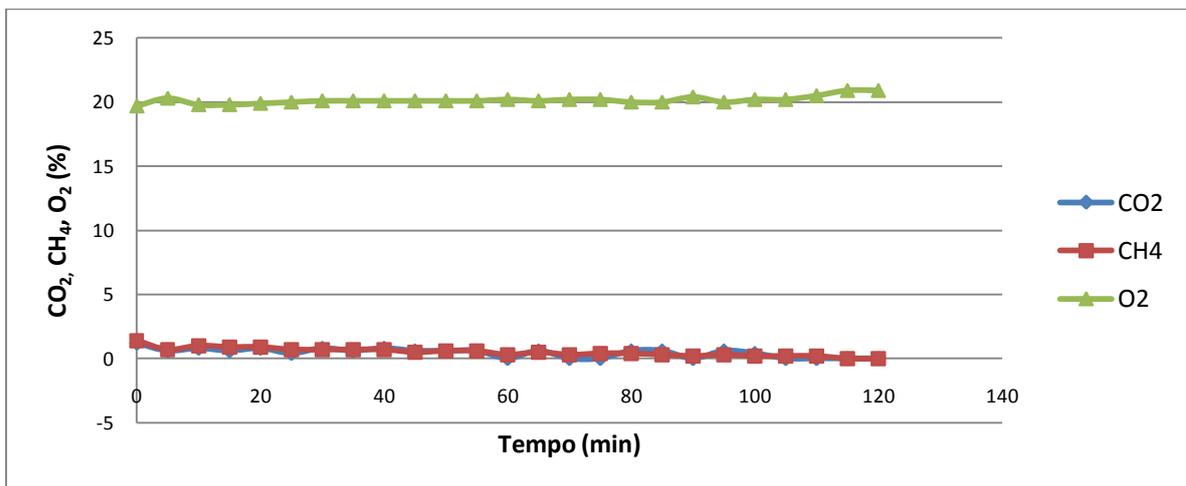


Figura 4.19: Concentração de CO₂, CH₄ e O₂ (%) no ponto AM 10.

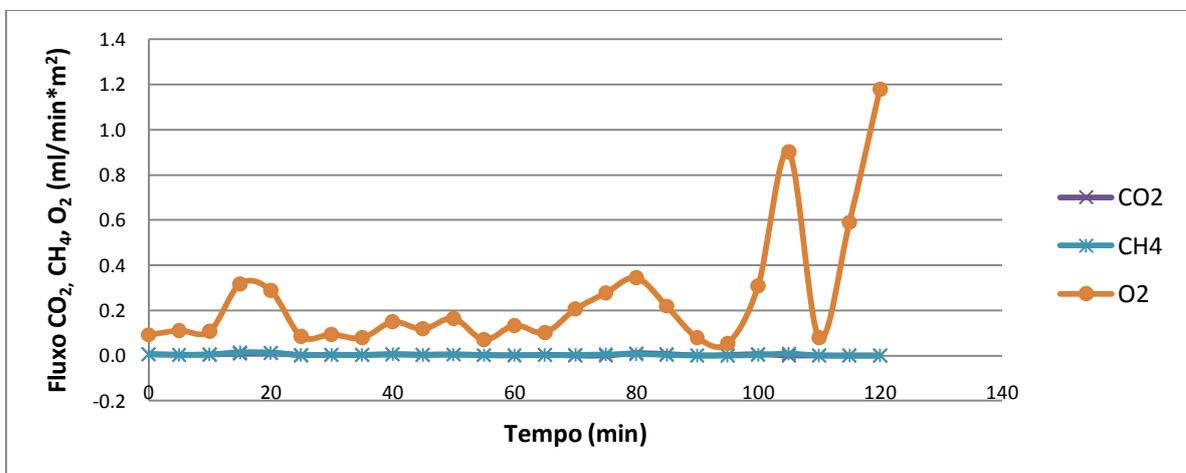


Figura 4.20: Fluxo de CO₂, CH₄ e O₂ (ml/min*m²) no ponto AM 10.

- AM 11:** este ensaio foi realizado nas coordenadas S 22°44'45,41" W 43°15'34,30", com uma cota de 30 m. Foi feito no dia 03 de junho de 2009 às 10:10. Existia informação de que neste local foram depositados resíduos domiciliares. Neste local, notava-se nas proximidades a existência de alguns poços para extração de gás e ainda trabalho de perfuração para a instalação de outros.

Nas Figuras 4.21 e 4.22, observa-se que as concentrações e fluxo de CO₂ e CH₄ são menores do que os medidos para o gás O₂, existindo muito pouca emissão destes gases. Isto é devido, provavelmente ao início, alguns meses antes deste ensaio ser feito o funcionamento da usina de coleta de biogases instalada no aterro. O pouco fluxo registrado se explica, possivelmente, pela influência do sistema de coleta de biogás recentemente instalado no aterro.

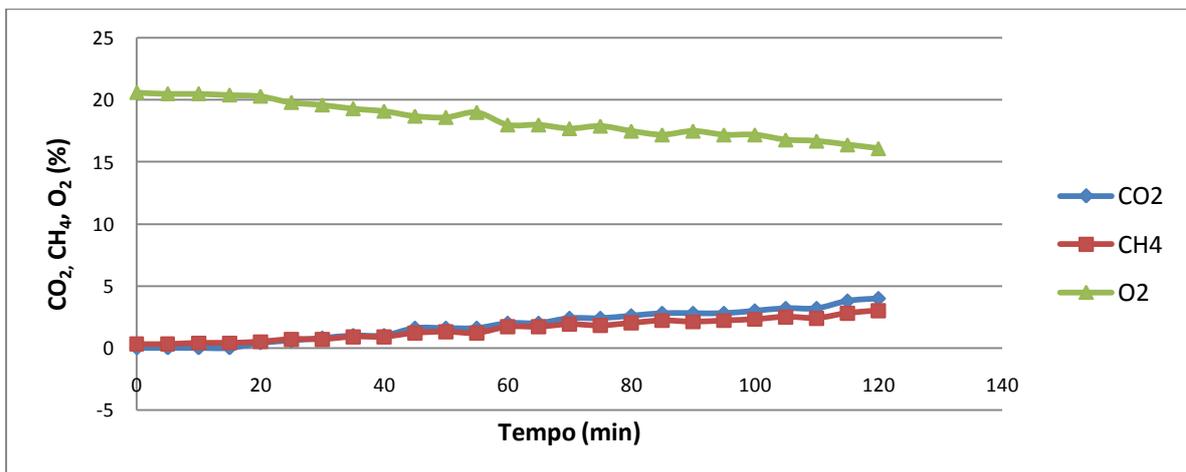


Figura 4.21: Concentração de CO₂, CH₄ e O₂ (%) no ponto AM 11.

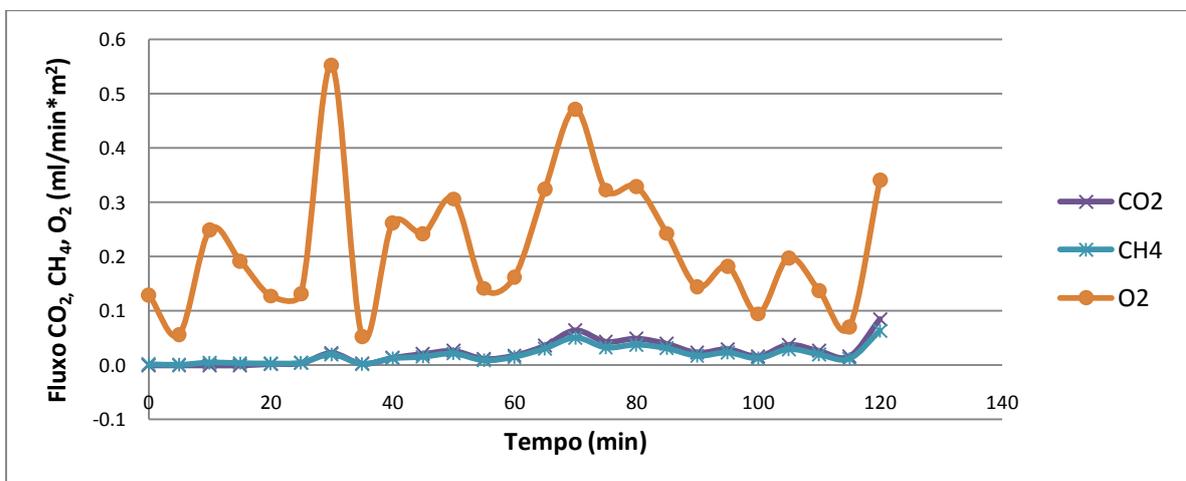


Figura 4.22: Fluxo de CO₂, CH₄ e O₂ (ml/min*m²) no ponto AM 11.

- AM 12:** este ensaio localizou-se na coordenada S 22°44'45,32" W 43°15'33,54", que estava a uma cota de 30 m. Foi feito no dia 03 de junho de 2009 às 12:30. Neste local haviam apenas resíduos domiciliares. Existiam, novamente, alguns poços para extração de biogás próximos e outros que estavam sendo perfurados.

Nas figuras 4.23 e 4.24, observa-se que as concentrações e fluxos de CO₂ e CH₄, no ensaio AM 12, aumentam enquanto as do O₂ diminuíram. A emissão dos gases CO₂ e CH₄ para a atmosfera, em comparação com primeiros ensaios (AM 01 ao AM 06), foi menor. Também se observou que as emissões neste ponto foram maiores do que no ponto anterior (AM 11). O reduzido fluxo de CO₂ e CH₄, neste ensaio, provavelmente deve-se ao início do processo de extração do biogás muito próximo a este ponto, porém ainda abaixo da capacidade total, visto que algum CO₂ e CH₄ foram medidos.

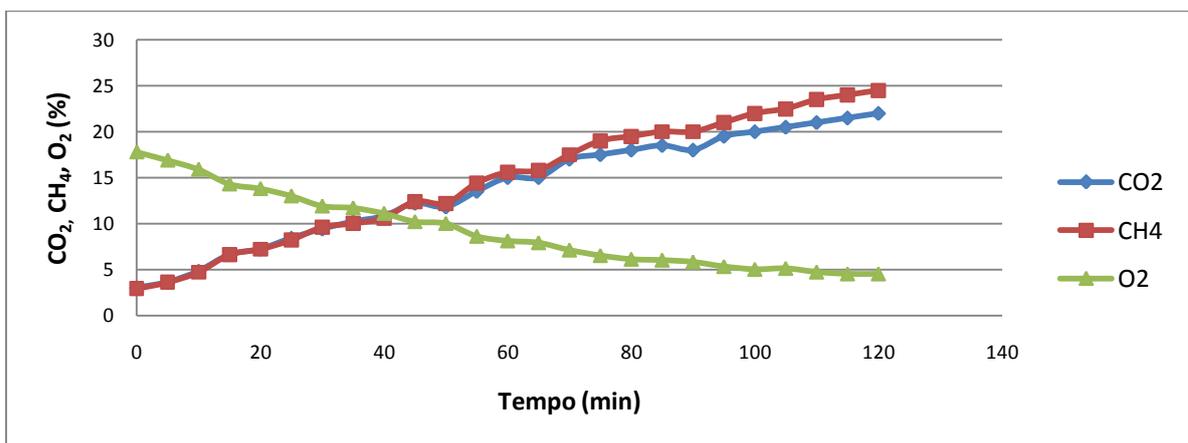


Figura 4.23: Concentração de CO₂, CH₄ e O₂ (%) no ponto AM 12.

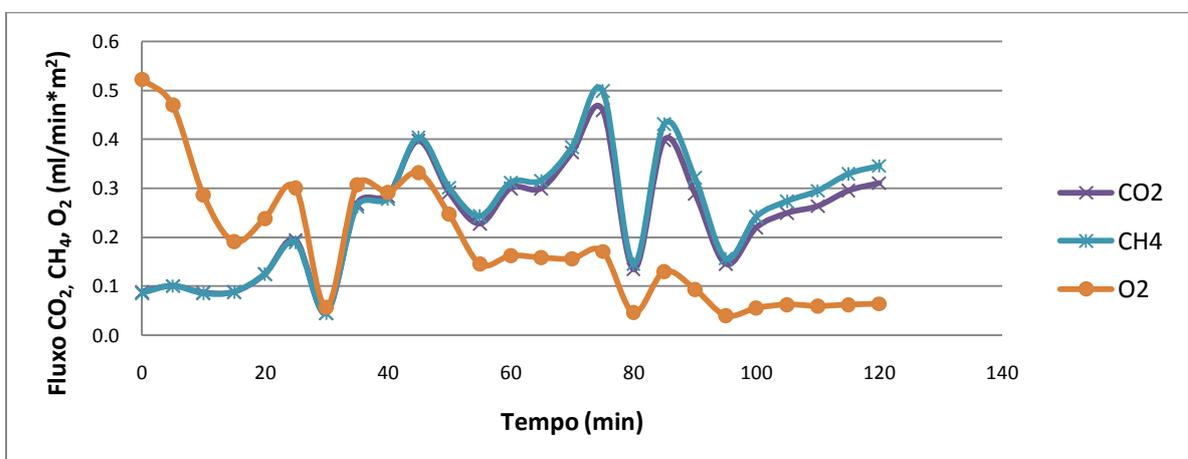


Figura 4.24: Fluxo de CO₂, CH₄ e O₂ (ml/min*m²) no ponto AM 12.

- AM 13:** este ensaio localizou-se nas coordenadas S 22°44'50,2" W 43°15'38,8", a uma cota de 50 m. Foi feito no dia 13 de agosto de 2008 às 10:30. Neste local haviam resíduos domiciliares depositados. Também, existiam poços de extração de biogás próximos ao local, sendo que alguns poços estavam em operação e outros não.

Na Figura 4.25 observam-se concentrações crescentes de CO₂ e CH₄ e uma diminuição da concentração de O₂ com o tempo. Aos 170 minutos de ensaio, houve uma queda brusca das concentrações de CO₂ e CH₄ e um aumento de O₂ devido provavelmente ao processo de extração do biogás, já que nesse dia estavam sendo abertos e fechados os drenos de sucção do biogás. Na figura 4.26 podem se observar muitas oscilações do fluxo dos três gases. Também pode se observar que ao final do ensaio o fluxo dos gases foi zero, isto também pode ser explicado pela extração de biogás no aterro.

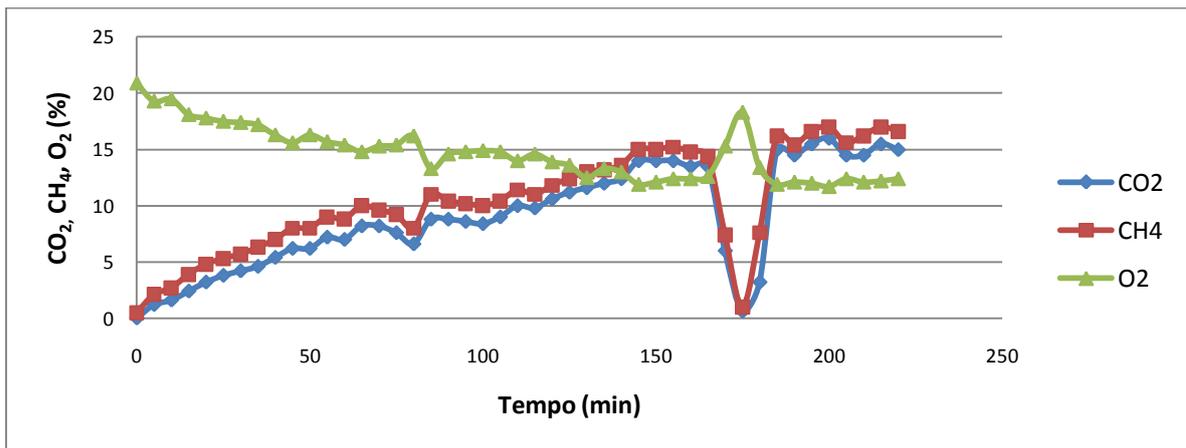


Figura 4.25: Concentração de CO₂, CH₄ e O₂ (%) no ponto AM 13.

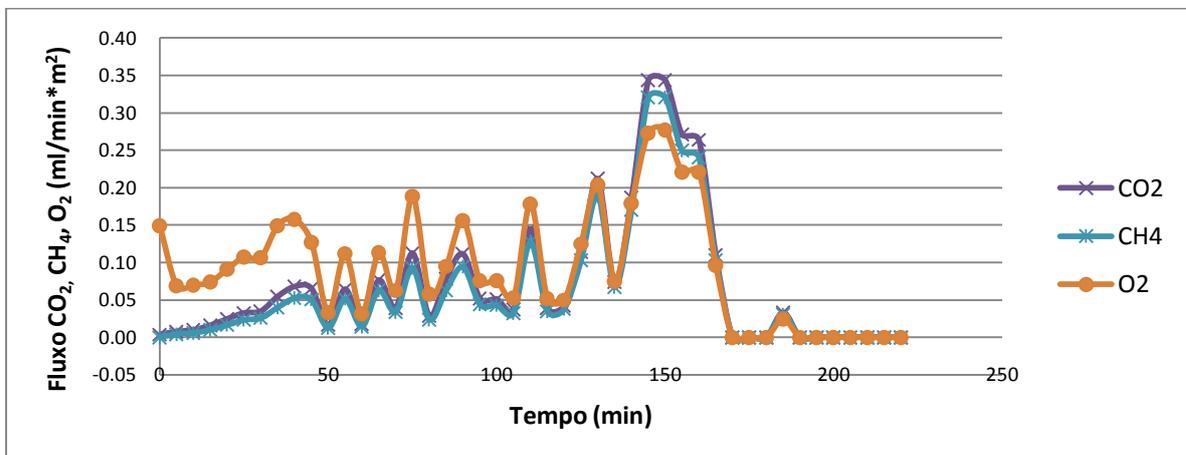


Figura 4.26: Fluxo de CO₂, CH₄ e O₂ (ml/min*m²) no ponto AM 13.

- **AM 14:** as coordenadas deste local de ensaio são S 22°44'48,4" W 43°15'36,9", com uma cota de 50 m. Foi feito no dia 13 de agosto de 2009 às 10:30. Neste local havia apenas resíduos domiciliares. Existiam alguns poços de extração de biogás próximos ao local, sendo que alguns poços estavam em funcionamento e outros não.

Nas Figuras 4.27 e 4.28, pode se observar que as concentrações e fluxo de CO₂ e CH₄ são baixas. Mais uma vez constata-se o efeito da extração do biogás. Os pequenos fluxos de CO₂ e CH₄ medidos, apresentados na Figura 4.28, podem ser gases que escaparam da influência dos drenos de coleta próximos, semelhantemente ao ocorrido nos ensaios AM 11 a AM 13. Observa-se também muitas oscilações do fluxo de O₂.

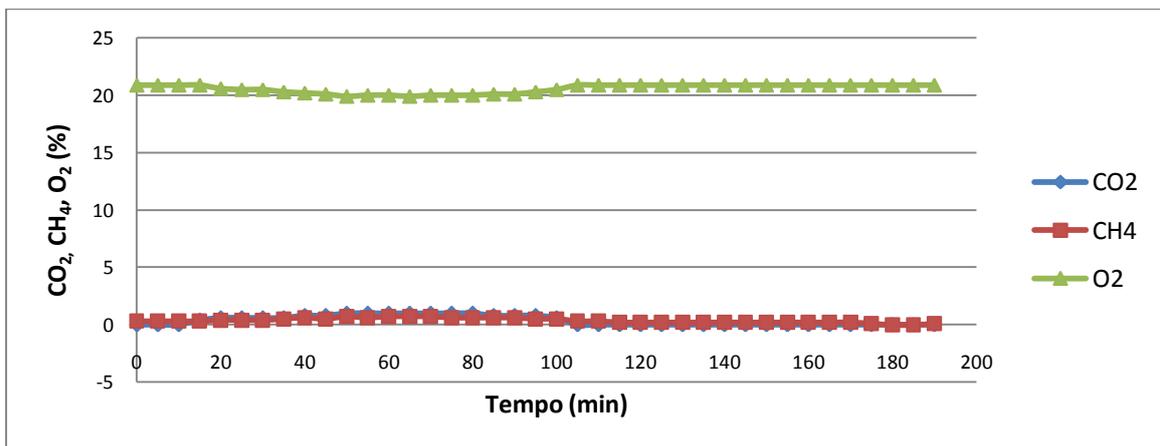


Figura 4.27: Concentração de CO₂, CH₄ e O₂ (%) no ponto AM 14.

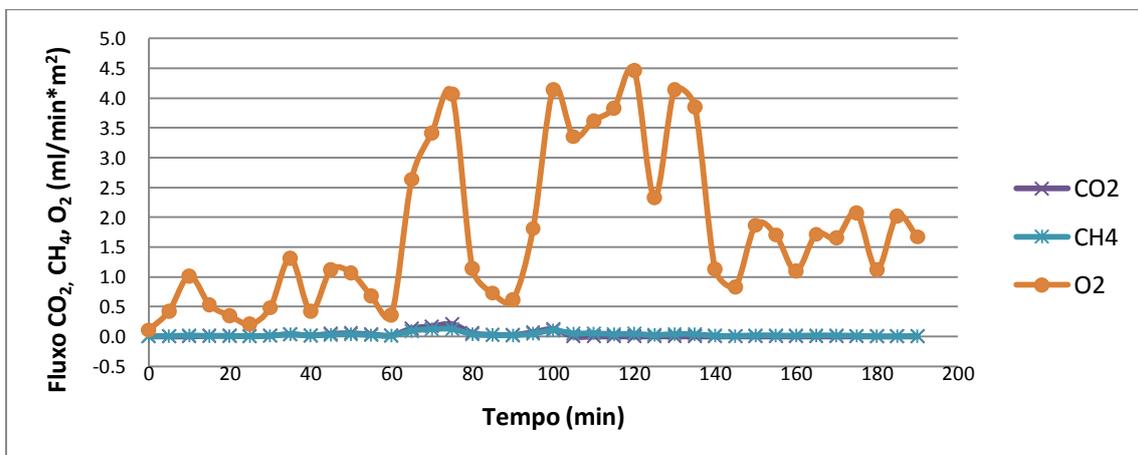


Figura 4.28: Fluxo de CO₂, CH₄ e O₂ (ml/min*m²) no ponto AM 14.

- AM 15:** este local se localizou nas coordenadas S 22°44'57,4" W 43°15'28,2", na cota de 50 m. Foi feito no dia 18 de agosto de 2009 às 11:25. Na área havia apenas resíduos domiciliares. Havia poços de extração de biogás próximos ao local, alguns poços estavam operando outros não. O solo apresentava muitas trincas e o vento no local estava muito forte.

Nas Figuras 4.29 e 4.30, observa-se um comportamento similar aos pontos AM 11 a AM 14. A emissão dos gases CO₂ e CH₄ foi baixa, provavelmente devido à extração de biogás do aterro. Os baixíssimos fluxos registrados podem ser devido a gases que escaparam pelas trincas do solo no local do ensaio. Nota-se, na Figura 4.30, que ao final do ensaio se observa um aumento do fluxo de O₂, neste mesmo momento, houveram variações climáticas (Anexo B) e aumento do vento.

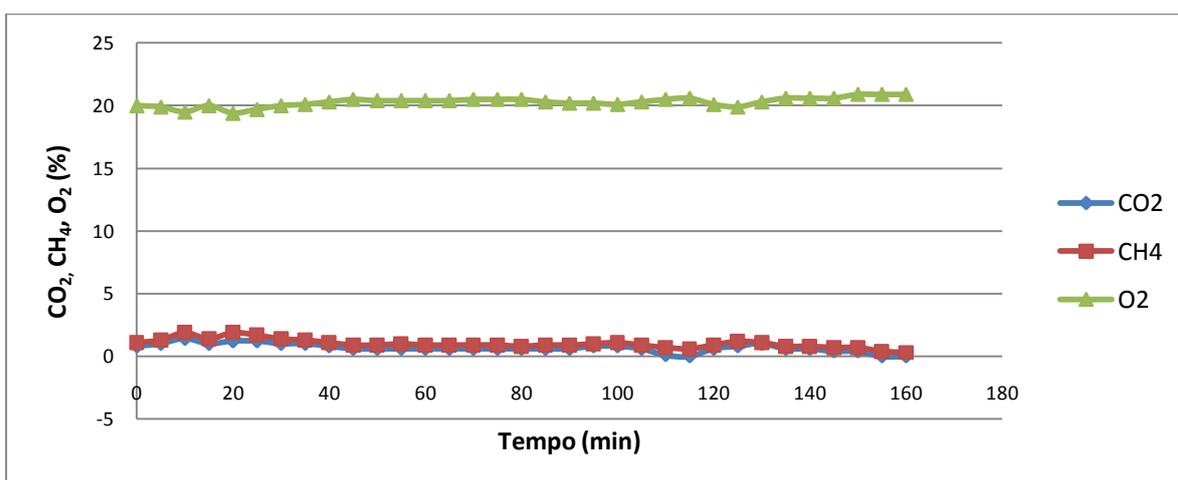


Figura 4.29: Concentração de CO₂, CH₄ e O₂ (%) no ponto AM 15.

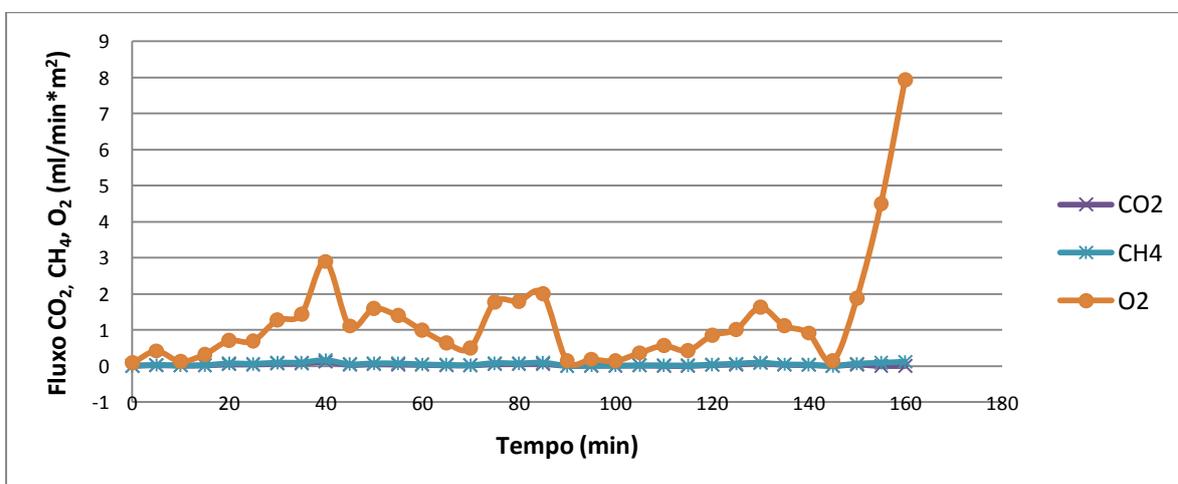


Figura 4.30: Fluxo de CO₂, CH₄ e O₂ (ml/min*m²) no ponto AM15.

- **AM 16:** foi realizado nas coordenadas S 22°44'41,8" W 43°15'34,5", na cota de 35 m. Foi feito no dia 22 de novembro de 2009 às 10h30min. Não foi registrado CO₂ nem CH₄ neste ensaio, isto se deve provavelmente ao pleno funcionamento do sistema de sucção de gás no aterro, já que neste local do aterro e no período que este ensaio foi feito, o sistema de extração do biogás estava em pleno funcionamento.
- **AM 17:** este ensaio localizou-se na coordenada S 22°44'41,0" W 43°15'34,6", na cota de 35 m. Foi feito no dia 22 de novembro de 2009 às 11h30min. Não foi registrado nenhum valor de concentração de CO₂ nem de CH₄ neste ensaio, isto foi devido, provavelmente, ao pleno funcionamento do sistema de sucção de biogás no aterro.
- **AM 18:** este ensaio localizou-se na coordenada S 22°44'42,3" WO 43°15'29,8", na cota de 35 m. Foi feito no dia 22 de novembro de 2009 às 12h30min. Não foi registrado nenhum valor de concentração de CO₂ nem de CH₄ neste ensaio, visto que a esta altura, o sistema de sucção de biogás no aterro já encontrava-se em total funcionamento.

4.2 Influência dos Fatores Climatológicos nos Ensaio de Emissão de Gases

Neste item se apresenta um resumo dos valores finais de fluxo de cada ensaio de campo e os dados meteorológicos correspondentes, alguns dos dados obtidos foram medidos em campo e outros foram obtidos pela estação climatológica da INMET como foi explicado no item 3.4. Também foi realizada uma análise da influência que estes fatores climatológicos têm na emissão de gases.

Os ensaios foram organizados nos grupos A, B, C, D, E e G segundo a localização, a data e hora em que foram realizados, como se apresenta na Tabela 4.1.

Depois de obter os gráficos de concentração (%) *versus* tempo e de fluxo (ml/min*m²) *versus* tempo para os gases CO₂, CH₄ e O₂, obteve-se os valores de fluxo de CO₂, CH₄ máximos no final de cada ensaio, referentes aos instantes em que os fluxos

dentro da PFLI estivessem estabilizados. Exemplos disto são mostrados nas Figuras 4.31 e 4.32, onde foram tomados os dados de fluxo de CO₂ e CH₄ da Figura 4.2 (ensaio AM 01), a partir do traçado de uma linha de tendência, com o melhor ajuste possível. Na Figura 4.31 pode se observar a linha de tendência polinomial de CO₂, sendo que neste caso o valor tomado para o fluxo foi de 5,9 ml/min*m². Na Figura 4.32, se observa a linha de tendência polinomial para o fluxo de CH₄, sendo o valor de fluxo estável tomado neste caso de 9,89 ml/min*m². Isto foi feito para cada uma das curvas de fluxo dos ensaios realizados, sendo os resultados obtidos mostrados na Tabela 4.1.

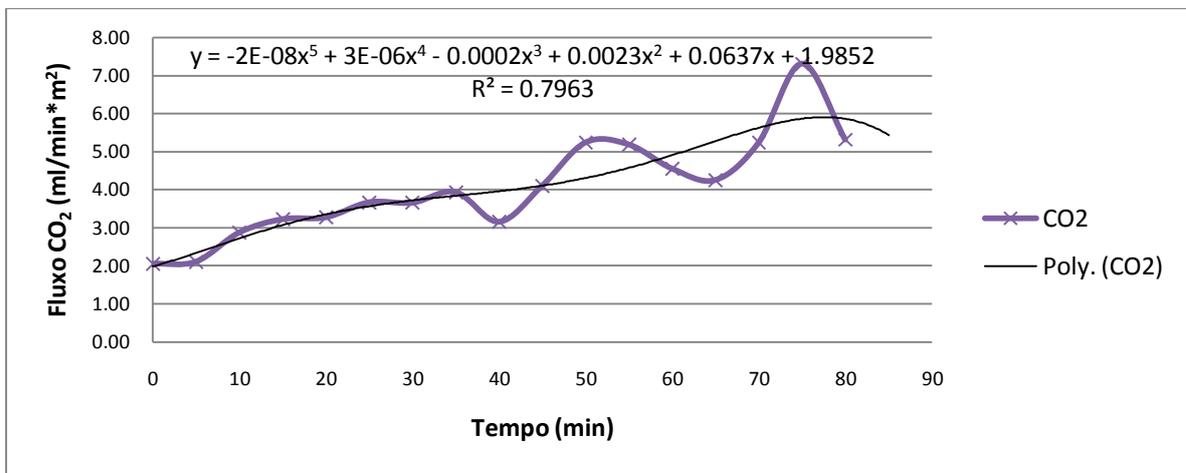


Figura 4.31: Valor de fluxo de CO₂ (ml/min*m²) para o ensaio AM 01.

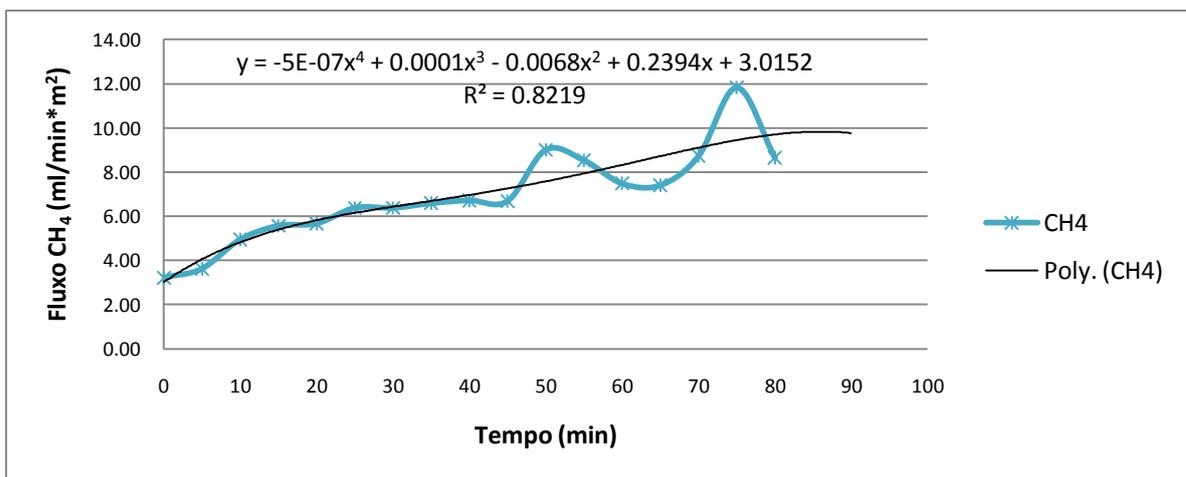


Figura 4.32: Valor de fluxo de CH₄ (ml/min*m²) para o ensaio AM 01.

Na Tabela 4.1, também são apresentados alguns fatores climatológicos que influenciam a emissão de gases. Estes dados climatológicos foram medidos em campo (vide anexo A) ou obtidos através da estação meteorológica da INMET, como foi explicado no item 3.4. Assim, os dados climatológicos obtidos foram: a temperatura do ar em °C, a umidade relativa em %, a precipitação em mm, a pressão atmosférica em hPa, a temperatura interna do solo em °C e, a velocidade do vento em m/s. Os espaços vazios na Tabela 4.1 correspondem a valores em que não foi possível a medição ou dias em que a estação meteorológica esteve sem funcionar. Nos ensaios AM 16, AM 17 e AM 18, não foram medidos nenhum dos dados meteorológico por estes ensaios não terem apresentado fluxos de CO₂ e CH₄.

Objetivando melhor analisar a influência climatológica nas emissões gasosas em aterros de RSU e para melhor análise todos os resultados obtidos, foram traçados gráficos dos valores de fluxo de CO₂ e CH₄, temperatura do ar (medida em campo e obtida pela estação meteorológica), umidade relativa do ar (medida e da estação), precipitação horária (da estação), pressão atmosférica (da estação), temperatura interna do solo (medida em campo) e velocidade do vento. Os dados foram agrupados de diferentes formas, sendo que, a Figura 4.33 mostra os resultados para o grupo A e B, a Figura 4.34 para o grupo C e a Figura 4.35 para os grupos D, E e F. Para os dados obtidos nos ensaios do grupo G não foram feitos os gráficos, já que as concentrações medidas CO₂ e CH₄ foram iguais a zero, estes resultados são um indicativo da eficiência do sistema de sucção do gás, como já foi explicado no item 4.1.

Tabela 4.1: Resumo dos dados de fluxo da PFLI e dos dados meteorológicos para cada ensaio.

ENSAIO	GRUPO	Data	Hora		Concentração			Fluxo			Temperatura do ar		Umidade relativa		Precipitação horaria	Pressão atmosférica	Temperatura interna	Velocidade do vento	OBSERVAÇÕES
					CO ₂	CH ₄	O ₂	CO ₂	CH ₄	O ₂	°C		%						
			Início	Término	%			ml/min*m ²			medido	estação	medido	estação	estação	estação	medido	estação	
AM 01	A	10/12/2008	14:55	16:15	31	51	1	5,9	9,8	0,22	36,5	33,7	-	53	0	1004,9	-	2,1	Resíduos domiciliares.
AM 02		15/12/2008	11:30	13:00	38	61	0,1	7,7	12,6	0,1	24,4	20,5	-	93	1,4	1006,7	-	1	
AM 03	B	07/02/2009	10:45	12:45	21	25	4	0,6	0,8	0,17	31,6	28,8	-	73	0	1009,4	-	1,3	Resíduos domiciliares.
AM 04		09/02/2009	10:10	12:10	33	49	1	1,34	1,9	0,05	28,9	28,2	60	78	0	1009,5	-	0,9	
AM 05		09/02/2009	12:40	14:40	18	23	6	0,64	0,81	0,37	38,9	30,6	56	70	0	1008,2	32	2,9	
AM 06		11/02/2009	10:00	12:00	37	56	0	2,7	4,1	0	34,3	28,4	70	77	0	1009,3	31,7	0,7	
AM 07		11/02/2009	13:00	15:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AM 08	C	16/02/2009	10:55	12:55	5,6	8	16,3	0,29	0,41	0,7	34	30,1	57	61	0	1011,2	28,8	1,7	Resíduo hospitalar
AM 09		18/02/2009	10:30	12:30	12,2	14	11	0,48	0,53	0,4	35,7	28,4	52	76	0	1013,5	29,2	1,1	Resíduo hospitalar
AM 10		18/02/2009	13:15	15:15	0	0	20,9	0	0	1	34,6	31,9	56	60	0	1012	30,1	1,5	Resíduo hospitalar.
AM 11	D	03/06/2009	10:10	12:10	3,75	3	16	0,043	0,035	0,15	40,3	17,9	48	86	0	1019,4	33,8	0	Resíduos domiciliares. Estavam sendo perfurados poços para extração de gás.
AM 12		03/06/2009	12:30	14:30	22,5	24	4,2	0,3	0,32	0,05	-	19	-	75	0	1020	-	0	
AM 13	E	13/08/2009	10:30	13:40	14	16,2	12	0,14	0,078	0	28,6	-	41	-	-	-	22,9	-	Estação meteorologica não estava em funcionamento. Apresentaram poços instalados perto. Resíduos domiciliares.
AM 14		14/08/2009	10:30	13:40	0	0	20,9	0,08	0,05	1,7	25,1	-	64	-	-	-	23,3	-	
AM 15	F	18/08/2009	11:25	14:05	0	0,3	20,9	0,053	0,08	8	32,25	-	40	-	-	-	26,6	-	
AM 16	G	22/11/2009	10:30	11:15	-	-	20,9	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Não foram registradas concentrações de CO ₂ e CH ₄ . Funcionamento dos poços de gás. Resíduos domiciliares.
AM 17		22/11/2009	11:30	12:15	-	-	20,9	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
AM 18		22/11/2009	12:30	13:15	-	-	20,9	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

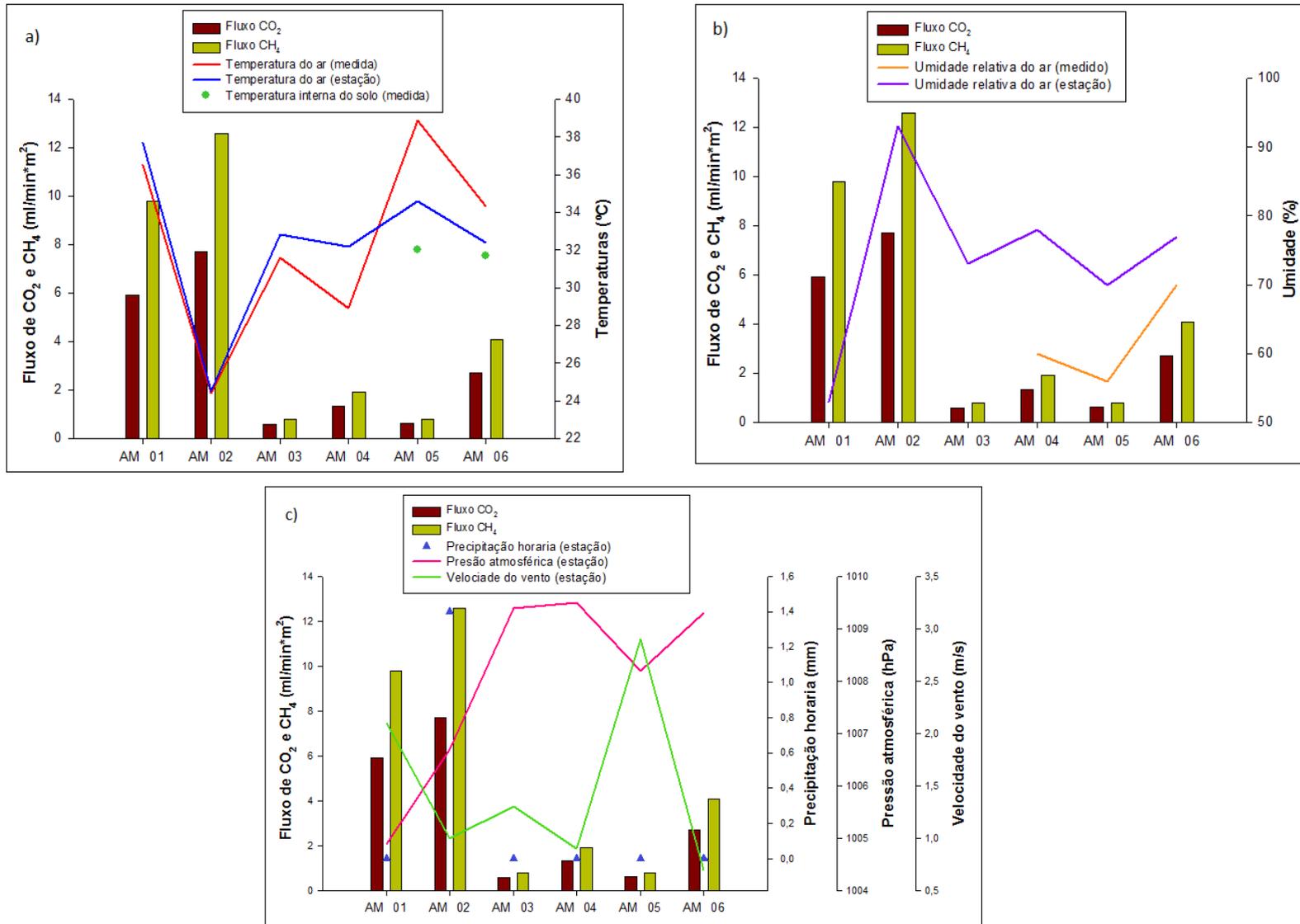


Figura 4.33: Gráficos de fluxo para os grupos A e B, a) temperaturas, b) umidade e c) precipitação, pressão atmosférica e velocidade do vento.

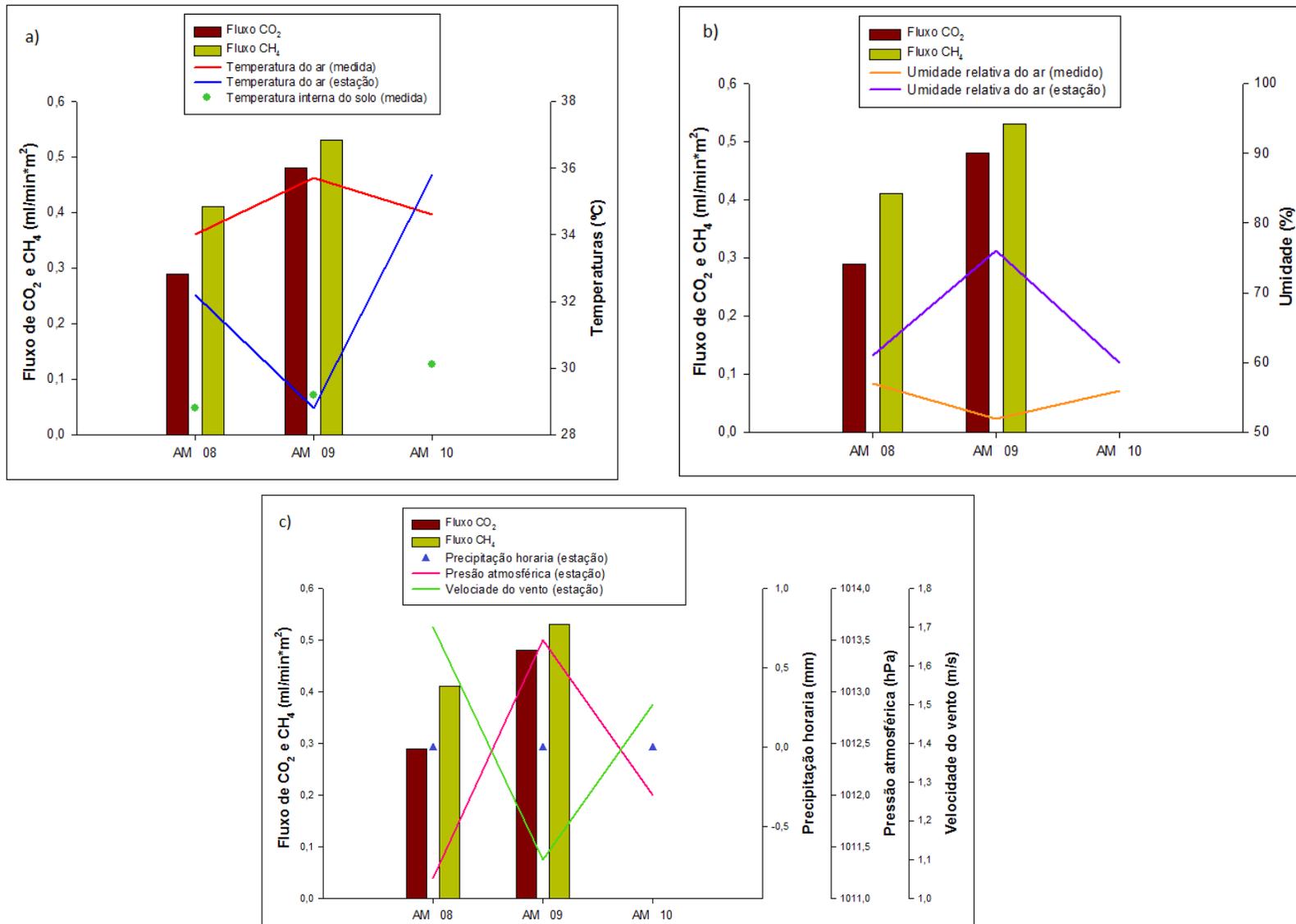


Figura 4.34: Gráficos de fluxo para o grupo C, a) temperaturas, b) umidade e c) precipitação, pressão atmosférica e velocidade do vento.

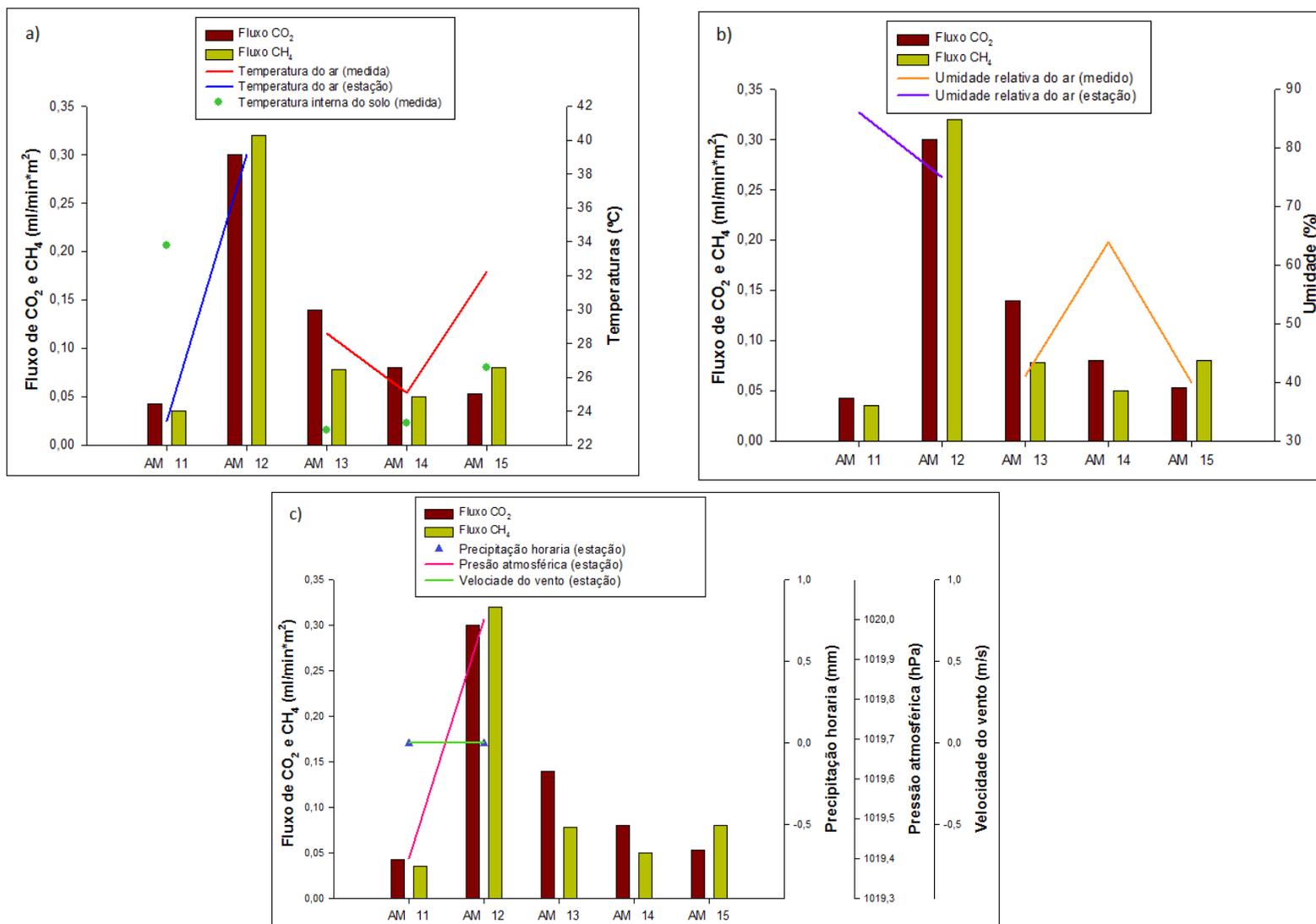


Figura 4.35: Gráficos de fluxo para os grupos D,E e F, a) temperaturas, b) umidade e c) precipitação, pressão atmosférica e velocidade do vento.

A título de se obter uma estimativa, foi considerado o maior valor de fluxo de CH₄ e CO₂, medido entre todos os ensaios de campo feitos, o qual se verificou ser o do local AM 02 e foi calculado o fluxo total de CH₄, CO₂ e O₂ em m³/ano (similar ao que foi feito por GUEDES, 2007) para o aterro de Macondo. Os cálculos são apresentados no Anexo C.

Através da análise da Tabela 4.1 e das Figuras 4.33, 4.34 e 4.35, considerando os dados de emissão CH₄ e CO₂ em relação aos dados meteorológicos, pode se considerar que:

- A concentração de CH₄ é sempre maior do que a concentração de CO₂, exceto no ensaio AM 11, devido provavelmente a existência de poços para extração de biogás próximo ao ponto.
- Observou-se que quando a concentração de O₂ foi igual a zero, a concentrações de CH₄ e CO₂ com o tempo se estabilizaram.
- Com o aumento da concentração de CH₄ e CO₂ a concentração de O₂ diminuía. E quando a concentração de CH₄ e CO₂ era próximo a zero, a concentração de O₂ era de aproximadamente 20%.
- O fluxo do gás CH₄ foi sempre maior do que o fluxo do gás CO₂, nos grupos A, B e C, nos quais, nota-se que ainda não tinha sido implementado o sistema de extração de gases do aterro.

Nos ensaios do grupo D, E e F, o fluxo de CH₄ nem sempre é maior do que o fluxo de CO₂, isto provavelmente se deve aos inícios do processo de extração de gases do aterro.

- Os fluxos de pico de CH₄ e CO₂ foram os registrados nos ensaios do grupo A (AM 01 e AM 02). Observa-se que os fluxos do grupo B, diminuíram muito em comparação com os fluxos do grupo A. Isto deve-se provavelmente a que o local das medidas foi diferente a que e talvez os resíduos dispostos em cada grupo foram depositados em diferentes períodos de tempo, sendo diferentes as

etapas decomposição do resíduo. No grupo C, o fluxo é muito baixo o que corrobora com o fato dos ensaios terem sido feitos sobre resíduos hospitalares, que emite menos gases CH_4 e CO_2 do que os resíduos domiciliares, pois, estes, apresentam quantidade elevada de matéria orgânica. Nos pontos dos grupos D, E e F, o fluxo medido foi muito baixo, isto talvez seja devido ao funcionamento da usina de biogás, e estes serem gases que ainda não tinham sofrido influência dos drenos de captação.

- Os resultados de fluxo gasoso, obtidos nos ensaios dos grupos A e B, são similares aos medidos por GUEDES (2007) no mesmo aterro. Os valores do grupo C são menores, talvez pelos ensaios terem sido feitos sobre resíduos hospitalares. Os valores de fluxo dos grupos D, E e F são muito menores quando comparados ao encontrados por GUEDES (2007), devido muito provavelmente aos ensaios terem sido feitos no período de início de funcionamento da usina de sucção do biogás, recém implantada no aterro.

- Nos ensaios do grupo G, a extração do biogás já estava em estágio avançado de instalação, o que resultou em medidas de fluxo e concentração do biogás extremamente baixa e em alguns casos até mesmo nulas.

A seguir são apresentadas as análises dos resultados, observando a influência dos fatores climatológicos, nos ensaios dos grupos A, B e C, que foram realizados antes do início da extração de gás no aterro.

4.2.1 Temperatura do ar e temperatura interna do solo

Como pode ser observado na Tabela 4.1 e nas Figuras 4.33a e 4.34a, em alguns ensaios (AM 01, e AM 08 e AM 09 para a temperatura do ar medida *in situ*), conforme o esperado foi observado que o fluxo de CH_4 e CO_2 é maior quando a temperatura do ar e a temperatura do solo aumentam. Nos ensaios restantes, não se observou este comportamento, devido, provavelmente, à influência de outros fatores como a pressão atmosférica e precipitação que deverão ser analisados em conjunto à temperatura.

4.2.2 Umidade relativa do ar

Como se pode observar na Tabela 4.1 e na Figura 4.34b, nos ensaios AM 08 e AM 09, há um aumento do fluxo do CH_4 e CO_2 quando a umidade relativa do ar, obtida pela medição em campo, diminuiu. Entretanto, ao contrário do esperado, nos ensaios AM 01 e AM 02, Figura 4.33b, este comportamento não foi observado. Provavelmente, o transporte de CH_4 e CO_2 à superfície depende de outros fatores atmosféricos que deverão ser melhor avaliados.

4.2.3 Precipitação

Na figura 4.33c, pode-se observar que quando há precipitação ocorre, logo em seguida, diminuição do fluxo dos gases que passam pela camada de cobertura. Segundo MACIEL (2003), este fator aumenta a saturação do solo, diminuindo a permeabilidade e o fluxo de gases e também pode apresentar um aumento da concentração de CH_4 devido à diminuição da atividade microbológica na cobertura de solo (redução da oxidação do CH_4).

4.2.4 Pressão atmosférica

Na figura 4.33c, pode-se observar que os valores de pressão atmosférica maiores correspondem a os valores de fluxo de CO_2 e CH_4 menores (AM 03 ao AM 06). Os fluxos maiores nos ensaios AM 01 e AM 02 foram observados para pressões atmosféricas menores, isto deve-se as diferenças de pressão. A emissão de gases CO_2 e CH_4 inversamente proporcional à pressão atmosférica.

4.2.5 Velocidade do vento

As variações de fluxo de CO_2 e CH_4 com as velocidades do vento podem ser observadas nas figuras 4.33c e 4.34c. Nota-se que geralmente quando a velocidade do vento diminuiu, há um aumento no fluxo de CO_2 e CH_4 , e vice-versa. Este fator tem influência no fluxo, mas provavelmente nas medições com PFLI não seja muito

significativo em comparação a outros instrumentos de medição, já que a placa é um instrumento fechado que não permite a passagem do vento pelo interior da placa.

4.3 Estimativa da emissão de gás CH₄ pelas modelos do BM, EPA e IPCC

Nesta seção serão descritos os parâmetros de entrada que serão utilizados nas metodologias do BM, EPA e IPCC, além de ser apresentada uma explicação das metodologias para o cálculo da emissão de gás CH₄ para o aterro em estudo. Ao final será realizada uma comparação entre os resultados obtidos destes três modelos.

4.3.1 Modelo do Banco Mundial

Inicialmente calculou-se a quantidade de CH₄ produzido pelo aterro, mediante a utilização da equação 2.4, na qual são requeridos os seguintes parâmetros de entrada: constante da geração de CH₄ (k), potencial da geração de CH₄ (L₀), massa dos resíduos depositados em cada ano (m_i) e anos após o encerramento do aterro (t). A seguir, cada parâmetro será definido.

- **Constante da geração de CH₄ (k):** valores desta constante são propostos pelo BM segundo a Tabela 2.7, os quais dependem da precipitação e da biodegradabilidade do resíduo depositado no aterro.

O aterro de Macondo apresenta precipitações médias anuais de 1813,33 mm, segundo os dados meteorológicos obtidos pela estação Xerém da INMET, seção 3.4. O resíduo que é depositado no aterro foi classificado como moderadamente biodegradável. Segundo a Tabela 2.7, para precipitações médias anuais maiores do que 1000 mm e para os resíduos moderadamente degradáveis, é proposto um valor de k de 0,06 ano⁻¹, valor que foi aplicado nesta metodologia.

- **Potencial da geração de CH₄ (L₀):** valores para L₀ são propostos pelo BM segundo a Tabela 2.8, dependendo da biodegradabilidade do resíduo. O valor de L₀ adotado foi de 170 m³ de CH₄/t (resíduos moderadamente biodegradáveis).

- **Massa dos resíduos depositados (m_i):** a quantidade de resíduos depositados no período foi obtida junto à operadora do aterro.

O aterro começou ser operado como aterro controlado em 1995. Desta forma, não se tem informações exatas da quantidade de resíduos recebidos nos anos anteriores a esta data. Antes de 1995 existem apenas estimativas de valores médios da quantidade de resíduos ali depositados (COMLURB, 2001). Os valores do período 2004 até 2009 foram fornecidos pela empresa operadora do aterro. Estas quantidades de resíduo podem ser observadas na Tabela 4.2. Embora tenham sido obtidos dados das quantidades de resíduos depositados no aterro a partir de setembro de 1978, foram considerados para a análise os dados obtidos a partir de janeiro de 1979, pois a metodologia utiliza como período de tempo o ano. Para se facilitar a compreensão e os cálculos adotou-se como sendo o período de um ano o intervalo de tempo entre janeiro e dezembro. -

Devido à presença de catadores na frente de trabalho dentro do aterro, é difícil medir as quantidades de material biodegradável que realmente permanecem dentro do aterro. Desta forma, uma estimativa desta quantidade foi obtida pela análise em conjunto da densidade do resíduo que chega ao aterro, do volume atual do aterro, do adensamento tanto do solo quanto dos resíduos ali depositados, dados estes obtidos junto à operadora do aterro, e à gravimetria dos resíduos sólidos urbanos da cidade do Rio de Janeiro segundo o estudo da COMLURB (2006) e COMLURB (2009), o qual é apresentado no Anexo C, considerando os materiais orgânicos putrescíveis, folhas, osso e coco e como uma porcentagem de material reciclado dos materiais de papel/papelão, plástico, vidro, metal, inerte, madeira, borracha e couro, pano e trapo, vela e parafina.

Os dados calculados de quantidade do resíduo depositado no aterro que são utilizados para o modelo do BM foram os resíduos depositados, retirando o material inerte. Na Tabela 4.2, são apresentadas as quantidades de resíduos recebidos, depositados e resíduos sem material inerte.

Tabela 4.2: Resíduos recebidos, depositados e sem material inerte no aterro de Macondo. (COMLURB, 2001)

ANO	RESÍDUO RECEBIDO		RESÍDUO DEPOSITADO		RESÍDUO DEPOSITADO SEM MATERIAL INERTE	
	Tn/ano	Tn/mês	Tn/ano	Tn/mês	Tn/ano	Tn/mês
1979	1.200.000	100.000	845.864	70.489	845.389	70.449
1980	1.200.000	100.000	849.265	70.772	848.784	70.732
1981	1.200.000	100.000	852.779	71.065	852.304	71.025
1982	1.200.000	100.000	852.609	71.051	852.107	71.009
1983	1.200.000	100.000	850.625	70.885	850.108	70.842
1984	1.200.000	100.000	854.309	71.192	853.781	71.148
1985	1.200.000	100.000	852.155	71.013	851.617	70.968
1986	1.200.000	100.000	852.042	71.003	851.472	70.956
1987	1.200.000	100.000	861.054	71.754	860.474	71.706
1988	1.200.000	100.000	870.690	72.557	870.056	72.505
1989	1.500.000	125.000	1.103.878	91.990	1.103.047	91.921
1990	1.500.000	125.000	1.122.582	93.549	1.121.923	93.494
1991	1.500.000	125.000	1.148.372	95.698	1.147.970	95.664
1992	1.500.000	125.000	1.130.872	94.239	1.130.344	94.195
1993	1.500.000	125.000	1.121.024	93.419	1.120.318	93.360
1994	1.500.000	125.000	1.130.872	94.239	1.130.344	94.195
1995	2.168.328	180.694	1.661.465	138.455	1.661.046	138.420
1996	2.248.000	187.333	1.733.981	144.498	1.733.022	144.418
1997	2.393.000	199.417	1.853.398	154.450	1.851.788	154.316
1998	2.389.000	199.083	1.831.005	152.584	1.830.070	152.506
1999	2.436.000	203.000	1.869.903	155.825	1.869.229	155.769
2000	2.411.000	200.917	1.776.756	148.063	1.775.813	147.984
2001	2.280.000	190.000	1.776.110	148.009	1.775.388	147.949
2002	2.340.000	195.000	1.860.649	155.054	1.860.289	155.024
2003	2.280.000	190.000	1.799.587	149.966	1.798.123	149.844
2004	2.333.759	194.480	1.927.117	160.593	1.925.711	160.476
2005	2.337.625	194.802	1.929.205	160.767	1.928.321	160.693
2006	2.474.464	206.205	2.042.837	170.236	2.042.021	170.168
2007	2.657.126	221.427	2.161.759	180.147	2.160.894	180.075
2008	2.793.261	232.772	2.236.100	186.342	2.234.859	186.238
2009	2.929.396	244.116	2.308.895	192.408	2.307.491	192.291

- **Tempo após o encerramento do aterro:** este tempo é igual a zero, já que o aterro ainda está em operação.

No anexo E são apresentados os cálculos da quantidade de CH₄ gerado aplicando a metodologia do Banco Mundial – modelo Scholl Canyon.

4.3.2 Modelo da EPA

Para o modelo proposto pela EPA foi aplicada a metodologia de estimativa de emissões gasosas não controladas, como se apresentado no item 2.8.2.1. Também, foi estimado o CH₄ produzido no ano 2009 com a metodologia da EPA para estimativa de emissões gasosas controladas, já que este foi o ano em que começou-se a coletar-se o biogás.

- **Estimativa de emissões não controladas de gases:** se aplicou a equação 2.5, utilizando como parâmetros de entrada: o potencial de geração de CH₄ (L₀), a quantidade de resíduos depositados no aterro (R), a constante da geração de CH₄ (k), o tempo de encerramento do aterro (c) e o tempo desde o início da disposição dos resíduos no aterro (t). Os parâmetros L₀ e k são similares aos parâmetros utilizados pelo modelo proposto pelo Banco Mundial, mas a EPA propõe diferentes valores para estes parâmetros. A seguir são explicados quais foram os valores de entrada tomados para a utilização do modelo da EPA.

- **Potencial da geração de CH₄ (L₀):** o valor recomendado pela EPA é de 100 m³ CH₄/t de resíduo.
- **Quantidade de resíduos depositados no aterro (R):** correspondem aos apresentados na Tabela 4.2, resíduos depositados sem material inerte.
- **Constante da geração de CH₄ (k):** na Tabela 2.9 apresentam-se os valores recomendados pela EPA para esta constante, que depende da pluviometria no aterro. No caso do aterro em estudo, para pluviometria maior do que 635 mm/ano, o valor para k recomendado é de 0,04 ano⁻¹.
- **Tempo desde o encerramento do aterro (c):** para aterro ainda ativos o valor de c é igual a zero.

Os cálculos feitos para se utilizar a metodologia da EPA, para a estimativa da emissão de CH₄ não controlado, são apresentados no Anexo D.

- **Estimativa de emissões controladas de gases:** se utilizou a equação 2.6, somente para o ano 2009. Os parâmetros de entrada para este modelo são: a emissão não controlada de CH₄ calculada, a eficiência do sistema de coleta do LFG e a eficiência do aparelho de controle e utilização de LFG. A seguir são descritos os dados adotados.

- **Emissão não controlada de CH₄ (C_{CH4}):** calculada utilizando-se a equação 2.5, como é apresentada no Anexo D. Para o ano 2009 a emissão não controlada de CH₄ foi de 90.261.429,28 m³/ano.
- **Eficiência de sistema de coleta do LFG (η_{col}):** o valor recomendado pela EPA é de 75% de eficiência.
- **Eficiência do aparelho de controle e utilização de LFG (η_{ent}):** no aterro o gás coletado é queimado mediante a utilização de *flares*, a eficiência deste aparelho proposto pela EPA, apresentada na Tabela 2.10, é de 97,7%.

O valor calculado para as emissões controladas de CH₄ (C_{MCH4}) foi de 43.822.038,90 m³/ano.

4.3.3 Modelo do IPCC

Para a aplicação do modelo proposto pelo IPCC foi utilizado o Método de Cinética de Primeira Ordem, descrito no item 2.8.3.2. Não foi aplicada a segunda metodologia proposta pelo IPCC, “Metodologia Padrão”, já que para estimar o CH₄ produzido se necessitam de informações da quantidade de CH₄ captado pela queima dos gases coletados, valores os quais não foram possíveis de serem obtidos.

Para o cálculo, pelo método de cinética de primeira ordem, se utilizaram as equações 2.9 e 2.10. A equação 2.9, é função da constante da geração de CH₄ (k) e do potencial da geração de CH₄ por tonelada de lixo (L_o), que são constantes também utilizadas pela metodologia do BM e da EPA e são utilizados os valores recomendados pela EPA. Utilizam-se também, dados da quantidade de resíduos depositada em cada ano (R_x), tempo de disposição dos resíduos (x), e o ano atual (T). Para se conhecerem as emissões em um determinado período, a equação 2.10 é utilizada, onde se somam as emissões anuais de CH₄. Os caçulos referentes à utilização desta metodologia são apresentados no Anexo D. A seguir se apresentam os dados adotados para os parâmetros de entrada.

- **Constante da geração de CH₄ (k):** para esta constante foi utilizado o valor recomendado pela EPA de 0,04 de acordo com a Tabela 2.10.
- **Quantidade de resíduos depositada (R_x):** valores adotados segundo a Tabela 4.2, referente a resíduos depositados sem material inerte.
- **Potencial da geração de CH₄:** se utilizou o valor de 100 m³ CH₄/t de resíduo, recomendado pela EPA.

4.3.4 Comparação das metodologias

Os valores da constante de geração de CH₄ (k) e o potencial de geração de CH₄ (L_o) utilizados para cada modelo descritos nos itens 4.3.1, 4.3.2 e 4.3.3, são apresentados na Tabela 4.3.

Tabela 4.3: Parâmetros de k e L_o utilizados para as metodologias do BM, EPA e IPCC.

Parâmetro/metodologia	BM	EPA	IPCC
k	0,06	0,04	0,04
L _o	170	100	100

Os parâmetros de k e L_o foram adotados de acordo com os cálculos feitos para as três metodologias, que se encontram no Anexo D. Após esta etapa foi possível

traçar o gráfico das estimativas da geração de CH₄, que é apresentado na Figura 4.36. Nota-se que a emissão de CH₄ calculada pela metodologia do Banco Mundial é muito menor do que as calculadas pela metodologia da EPA e do IPCC. Ainda, as emissões calculadas pela metodologia da EPA são maiores do que as calculadas pela metodologia do IPCC. Isto é coerente com as análises feitas por BORBA (2007), que também fez os cálculos pelas três metodologias para outro aterro do Rio de Janeiro.

No caso do modelo do BM o valor adotado para a constante de geração de CH₄, que representa a velocidade de geração deste gás, foi maior do que para os outros modelos, obtendo-se resultados de quantidade de biogás gerado menores. No entanto, o valor do potencial de geração de CH₄ (L₀) foi maior do que as outras metodologias. Isto ilustra as diferenças existentes na aplicação das três metodologias e as diferenças obtidas na utilização dos parâmetros de k e L₀. Também pode-se observar para as metodologias da EPA e do IPCC, que tomando valores dos parâmetros de k e L₀ iguais, os resultados obtidos pela EPA são maiores do que os obtidos pelo IPCC.

A análise destas metodologias mostra que suas aplicações carecem de um procedimento sistemático para a definição dos parâmetros de entrada de k e L₀ requeridos (OTSUKA, *et al.* 2009). Para o estudo do presente caso, foram utilizados os valores sugeridos por cada modelo, o qual requer uma análise mais detalhada de cada um dos parâmetros com relação às características específicas de cada aterro em particular.

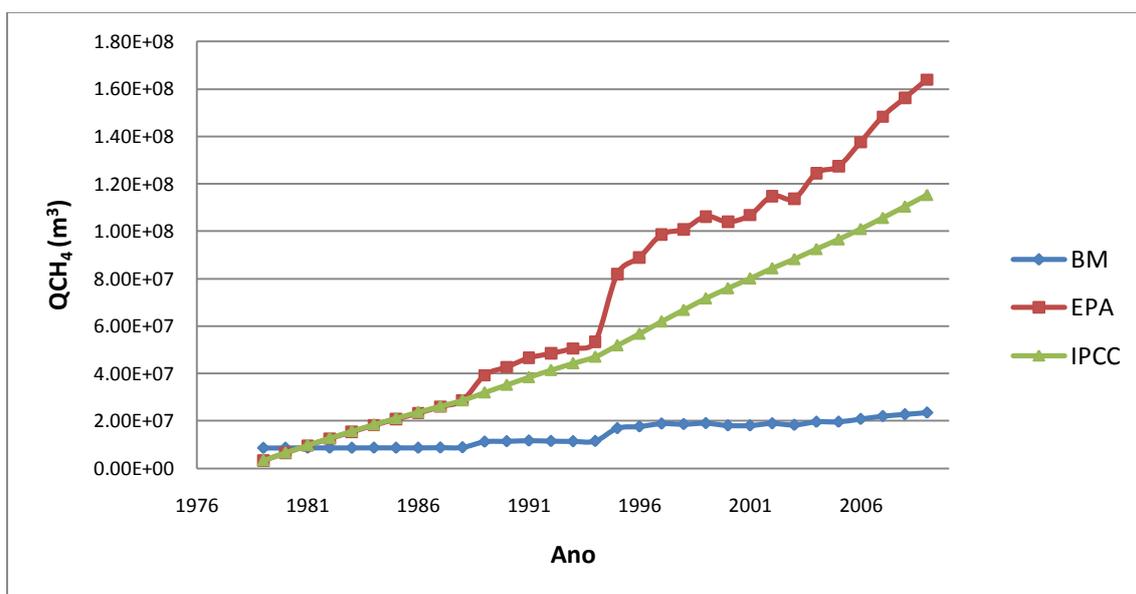


Figura 4.36: Resultados das metodologias do BM, EPA e IPCC.

4.4 Modelagem mediante o programa Moduelo 4.0©

Utilizando o *software* Moduelo 4.0[©], foi feita uma simulação dinâmica do aterro de Macondo mediante a representação tridimensional da geometria, a caracterização dos componentes, estimativa da biodegradação dos resíduos, e de fatores climáticos, fatores estes, que influenciam nos processos físicos e químicos que ocorrem neste aterro, com o objetivo de obter uma estimativa da produção de biogás do aterro.

Para o caso específico do aterro de Macondo, se fez uma modelagem simplificada, já que não havia a disponibilidade da maioria dos parâmetros de entrada requeridos pelo o *software* Moduelo 4.0[©]. Devido ao fato do aterro estudado, no início de sua construção, ter sido um aterro de resíduos sem controle técnico e devido a isso não ter um histórico detalhado deste período. Desta forma tentou-se fazer uma estimativa aproximada da sua configuração e das suas características. A seguir se apresenta a descrição dos parâmetros adotados para o aterro Macondo, seguindo da metodologia, descrita no item 3.5., para estimativa de produção do biogás gerado. São apresentados, também, a simulação feita, os resultados obtidos e a análise dos resultados.

4.4.1 Parâmetros de entrada

Nesta seção são descritos os dados de entrada do programa, que estão divididos em quatro partes, sendo a primeira o modelo do aterro, seguido do modelo de geração de resíduos, modelo meteorológico e Gestão do *Run-off* (ver item 2.8.4.)

4.4.1.1 Modelo do Aterro

- a. Modelo do terreno:** por meio de plantas em autocad, fornecidas pela empresa operadora do aterro, foi delimitado o perímetro do aterro e o arquivo foi salvo com extensão “.dxf”. Na Figura 4.37 é apresentada esta planta.

Utilizando o Modulo 4.0[©], se seleccionou o arquivo com extensão “.dxf”, salvo, para fazer a discretização do terreno. Os parâmetros para a discretização, requeridos pelo programa, são apresentados na Figura 4.38. A área foi dividida em células de 25x25 metros e altura de 5 m. A espessura das camadas foi definida como sendo 5 m, pois esta espessura é uma média da altura das camadas que efetivamente são construídas no aterro de Macondo.

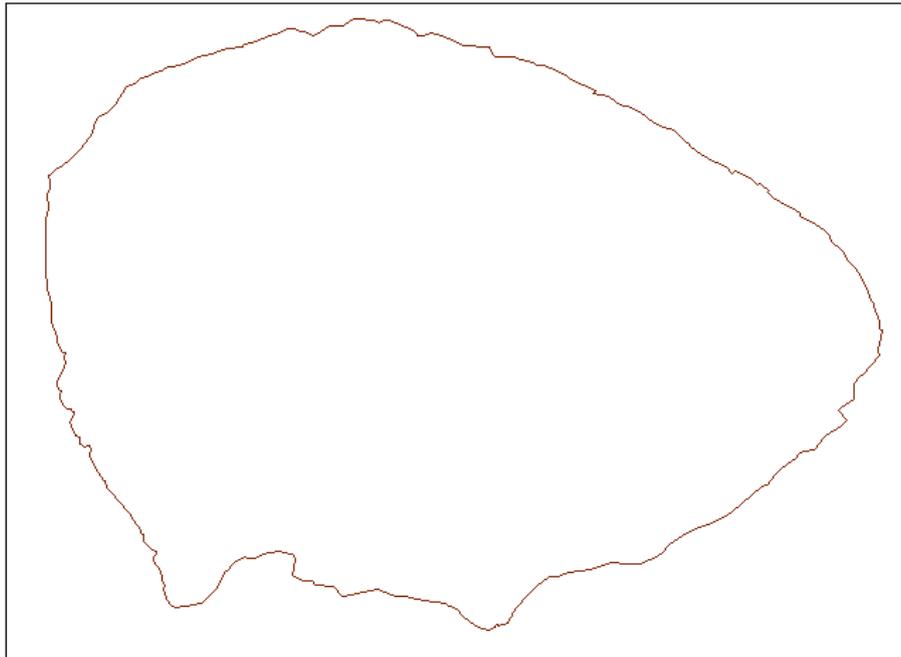


Figura 4.37: Planta de perímetro do aterro arquivo .dxf.

A imagem mostra uma interface de usuário com quatro painéis de configuração. O primeiro painel, 'Parámetros de discretización', contém: 'Mínimo espesor de terreno' (5), 'Tamaño en X de la celda' (25), 'Tamaño en Y de la celda' (25), 'Espesor de la capa' (5,0) e 'Radio de selección' (1). O segundo, 'Opciones', tem 'Ver puntos en el gráfico' marcado. O terceiro, 'Origen de coordenadas del terreno', tem campos vazios para X, Y e Z. O quarto, 'Tamaño del terreno', tem campos vazios para X, Y e Z. O quinto, 'Tamaño del modelo', tem campos vazios para o número de células em X, Y e Z. O menu superior mostra 'General' selecionado, com 'Datos' e 'Visor gráfico' disponíveis.

Figura 4.38: Parâmetros para a discretização do terreno.

O modelo do terreno foi discretizado como se apresenta na Figura 4.39. Depois são preenchidas, manualmente, as células que não foram criadas pelo *software* Moduelo 4.0© (vide Figura 4.40).

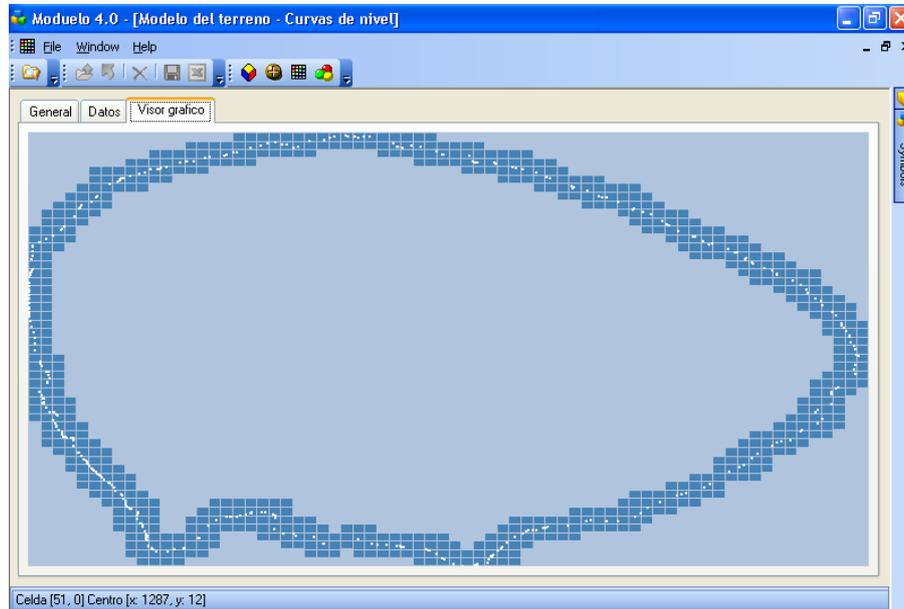


Figura 4.39: Discretização do Modelo do terreno.

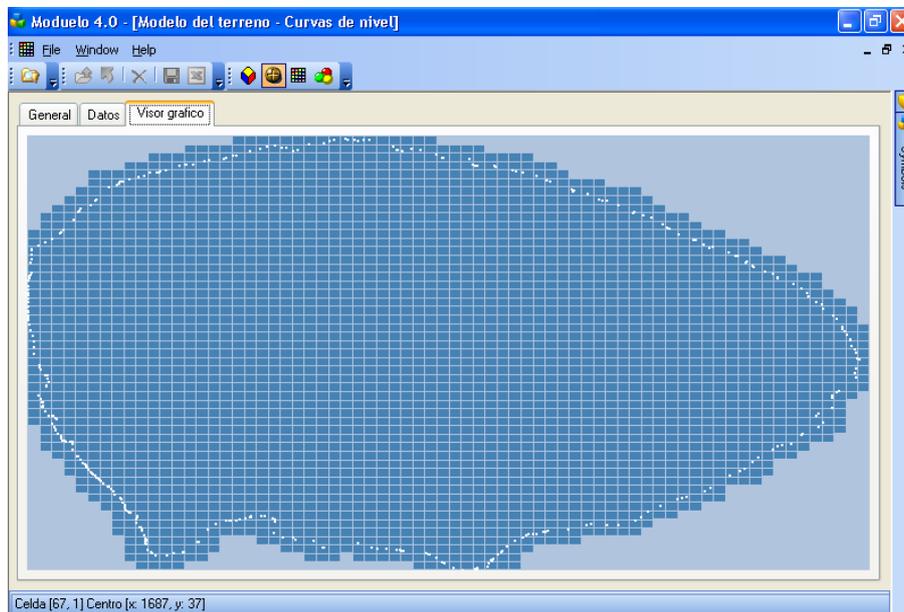


Figura 4.40: Discretização do Modelo do terreno completa.

Depois da discretização ter sido feita, o *software* calcula as cotas do terreno. O terreno onde foi construído o aterro Macondo, inicialmente,

apresentava cotas de 0 a 0,6 m, por estar este em um lugar muito próximo à baía. Na Figura 4.41 são apresentadas as cotas definidas pelo *software* Moduelo 4.0[©].

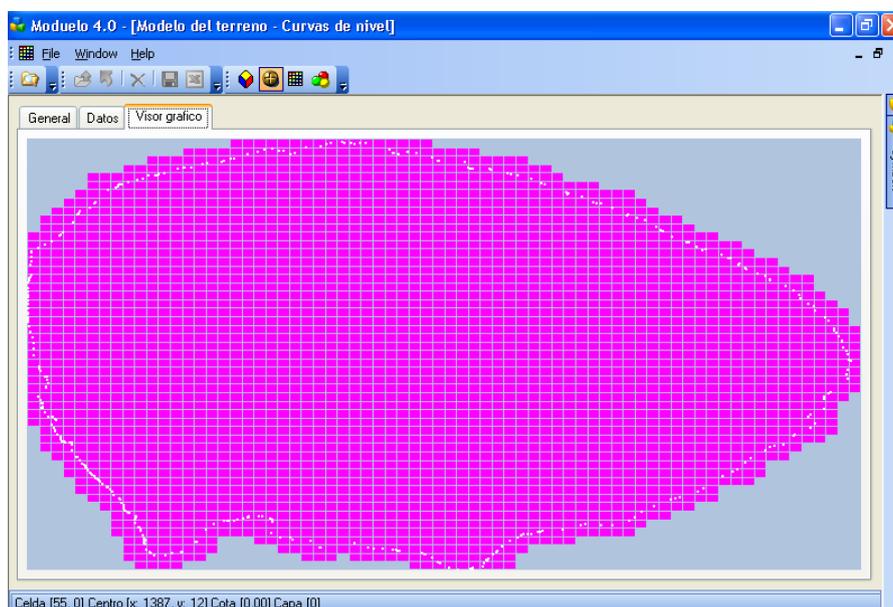


Figura 4.41: Cotas do modelo do terreno, definidas pelo *software* Moduelo 4.0[©].

Ao final desta etapa, um arquivo com extensão “.xml” é gerado, o qual, contém todas as informações da discretização e cálculo de cotas do modelo do terreno. Para a discretização deste modelo, os parâmetros de entrada necessários são a condutividade hidráulica equivalente (s^{-1}), a qual foi considerada zero devido ao aterro encontra-se sobre uma camada de argila muito mole, e o nível freático externo, o qual também foi considerado como sendo 0 m.

b. Modelo do aterro: depois de criado o modelo do terreno foi feito o modelo do aterro. Este modelo foi chamado “Aterro de Macondo”.

Para o modelo do aterro são criadas várias camadas (*layers*), com altura de 5 m, cada uma correspondendo a cada cota do aterro em que é disposto o resíduo. A camada número 1, foi modificada para 0,6 m, que corresponde a cota do terreno inicialmente, como foi comentado anteriormente. Na Figura 4.42 se apresenta uma representação tridimensional do terreno.

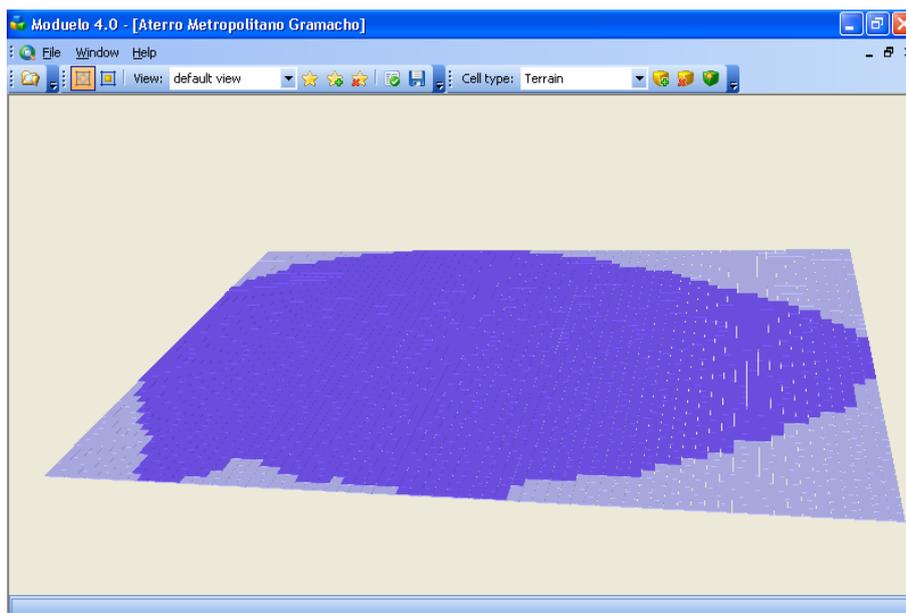


Figura 4.42: Representação tridimensional do Modelo do terreno.

Em seguida, as características das células dispostas no aterro foram definidas, sendo que, estas células foram classificadas como tipo “aterro”, já que se tem notícia de não haver nenhum outro tipo de estrutura no aterro de Macondo, como por exemplo, colchão drenante, geomembrana de base, etc. A definição do tipo de célula “aterro” foi explicada no item 3.5.1.

A Tabela 4.4, apresenta os parâmetros de entrada e suas descrições, a fim de se caracterizar as células modeladas para o aterro hora em estudo. Alguns dos parâmetros foram observados ou medidos em campo, outros foram tomados de bibliografias referentes a aterros brasileiros, bem como no estado do Rio de Janeiro, e os restantes foram estimados com base em valores recomendados pela literatura.

Definido as características das células, procedeu-se a colocação e disposição das mesmas no aterro. Fazendo uso das plantas fornecidas pelos operadores do aterro, foram interpoladas as cotas do aterro e foram obtidas as curvas em nível a cada 5 m. O aterro em seu início (ano 1978) era um aterro não controlado e os resíduos eram jogados em diferentes lugares, sem que houvesse qualquer critério, sendo que, para este estudo se decidiu arbitrar que a disposição

dos resíduos se deu do lado leste para o lado oeste, desde o ano de 1979 até dezembro do ano de 2009, seguindo as metodologias apresentadas na seção 4.3.

Varias etapas da disposição dos resíduos são apresentadas nas Figuras 4.43 a 4.45. Na Figura 4.46 é mostrada uma vista em planta do aterro até o ano de 2009.

Tabela 4.4: Parâmetros de entrada das células do aterro.

PARÂMETRO	UNIDADE	DESCRIÇÃO	VALOR	FONTE	
Características das células	Características do resíduo:				
	Umidade residual inicial	%	Conteúdo mínimo de umidade que pode atingir o resíduo quando não está submetido a processos de evaporação ou evapotranspiração.	10	(LOBO, 2009b)
	Capacidade de campo inicial	%	Conteúdo de umidade do resíduo embaixo do qual não tem perdas da mesma por gravidade. Está diretamente relacionado com os valores de umidade residual inicial e umidade de saturação.	29,2	(DA SILVA, 2008)
	Umidade de saturação inicial	%	Valor da umidade para a que o resíduo tem todos os poros cheios de água.	47	(BORBA, 2006)
	Permeabilidade vertical inicial	m/s	Condutividade hidráulica vertical em condições de saturação do resíduo.	1,00E-05	(DA SILVA, 2008)
	Permeabilidade horizontal inicial	m/s	Condutividade hidráulica horizontal em condições de saturação do resíduo.	1,00E-05	(BORBA, 2006)
	Características da cobertura:				
	Espessura da cobertura	m	Espessura da cobertura da célula.	0,15	Valor obtido em campo
	Umidade inicial	%	Umidade inicial do material de cobertura da célula.	23	Valor obtido em campo
	Densidade inicial	Kg/m ³	Densidade inicial do material de cobertura da célula.	1558	Valor obtido em campo
	Umidade residual inicial	%	Conteúdo mínimo de umidade que pode atingir o material de cobertura.	20	Valor adotado segundo as outras umidades
	Capacidade de campo inicial	%	Conteúdo de umidade do material de cobertura por embaixo do qual não tem perdas de água por gravidade.	28,4	(DA SILVA, 2008)
	Umidade de saturação inicial	%	Valor da umidade para a qual o material de cobertura tem todos os poros cheios de água.	50	(FREDLUND E XING, 1994 apud DOS SANTOS, 2008)
	Permeabilidade vertical inicial	m/s	Condutividade hidráulica vertical em condições de saturação do material de cobertura.	1,60E-08	(DA SILVA, 2008)

	PARÂMETRO	UNIDADE	DESCRIÇÃO	VALOR	FONTE
Modelo hidrológico	Modelo de infiltração superficial:				
	Velocidade de infiltração mínima	mm	Velocidade de infiltração de água ao final da chuva. Varia em função do tipo de solo utilizado como material de cobertura.	5,7	(MUSGRAVE, 1955 apud LOBO, 2003)
	Velocidade de infiltração máxima	mm	Velocidade de infiltração de água ao início da chuva. Varia em função do tipo de solo utilizado como material de cobertura.	76	(HUBER E DICKINSON, 1988 apud LOBO, 2003)
	Parâmetro de Horton	h-1	Taxa de diminuição da infiltração ao longo do tempo.	4,14	(LOBO, 2009b)
	Modelo de evapotranspiração:				
	Profundidade de evaporação	m	Profundidade máxima que pode ser afetada pelos fenômenos de evaporação ou evapotranspiração. Depende da permeabilidade dos materiais superficiais, da profundidade de raízes, etc.	0,24	(DA SILVA, 2008)
	Ponto de murchamento	%	Mínimo conteúdo de umidade com que pode ficar a célula por efeitos da evaporação.	13,5	(DA SILVA, 2008)
	Modelo de run-off superficial:				
	Máxima acumulação superficial	m	Altura máxima de armazenamento da água na superfície antes de que se produza o <i>run-off</i> .	0,06	(FERREIRA, 2006)
	Modelo de fluxo preferencial:				
	Fração de volume afetado por canais preferenciais	%	Porcentagem de volume da célula que se encontra com canais preferenciais.	27,5	(LOBO, 2009b)
	Fator de permeabilidade do material na zona canalizada	%	Representa o incremento da permeabilidade na zona canalizada respeito ao volume da célula restante.	75	Valor obtido em campo
	Modelo de umidade residual:				
	umidade residual mínima do resíduo	%	Umidade residual mínima que atingiria o resíduo quando a pressão sobre o mesmo é infinita.	5	(LOBO, 2009b)
Influência do carregamento na umidade residual	Kg/m ²	Expressa a variação da umidade residual do resíduo com a sobre pressão.	4536	(LOBO, 2009b)	

	PARÂMETRO	UNIDADE	DESCRIÇÃO	VALOR	FONTE
Modelo de biodegradação	Modelo de biodegradação:				
	Tempo de ativação da hidrólise rápida	d	Tempo de ativação da hidrólise dos componentes rapidamente biodegradáveis.	0	(BORBA, 2006)
	Tempo de ativação da hidrólise lenta	d	Tempo de ativação da hidrólise dos componentes lentamente biodegradáveis.	365	(BORBA, 2006)
	Tempo de ativação da metanogênese	d-1	Tempo de ativação da metanogênese.	0	(BORBA, 2006)
	Constante de hidrólise rápida (K_{hr})	d-1	Velocidade (de primeira ordem) da hidrólise dos materiais rapidamente biodegradáveis em condições de umidade e temperatura ótimas.	0,006	(BORBA, 2006) e (FERREIRA, 2006)
	Constante de hidrólise lenta (K_{hl})	d-1	Velocidade (de primeira ordem) da hidrólise dos materiais lentamente biodegradáveis em condições de umidade e temperatura ótimas.	0,0005	(BORBA, 2006) e (FERREIRA, 2006)
	Constante de acetogênese (K_a)	d-1	Velocidade de produção de acetato pelos compostos intermediários em condições ideais.	0,5	(BORBA, 2006) e (FERREIRA, 2006)
	Constante de metanogênese acetofílica (K_{ac})	d-1	Velocidade de produção de metano pelo acetato em condições ideais.	0,1	(BORBA, 2006) e (FERREIRA, 2006)
	Constante de metanogênese hidrogenofílica (K_{H_2})	d-1	Velocidade de produção de metano pelo hidrogênio em condições ideais.	200	(BORBA, 2006) e (FERREIRA, 2006)
	Fração de carbono transformado em compostos intermediários na hidrólise		Fator estequiométrico da hidrólise.	0,76	(LOBO, 2009b)
	Fração de carbono transformado em acetato na hidrólise		Fator estequiométrico da hidrólise.	0,2	(LOBO, 2009b)
	Fração de carbono transformado em acetato na acetogênese		Fator estequiométrico da acetogênese.	0,68	(LOBO, 2009b)
	Curva Umidade-Hidrólise		Curva que relaciona a velocidade de hidrólise com o grau de umidade da célula. Este fator é uma porcentagem que multiplica às constantes de hidrólise segundo a umidade que existe na célula.		(LOBO, 2009b)
Outros modelos	Modelo de recalques:				
	Coeficiente de compactação	sem unidade	Coeficiente de adensamento para o cálculo dos recalques primários por efeito do peso sobre o resíduo.	0,23	(LOBO, 2009b)
	Coeficiente de perda de massa convertida em recalques	sem unidade	Relaciona os recalques secundários com a perda de massa da célula durante a degradação.	0,25	(LOBO, 2009b)

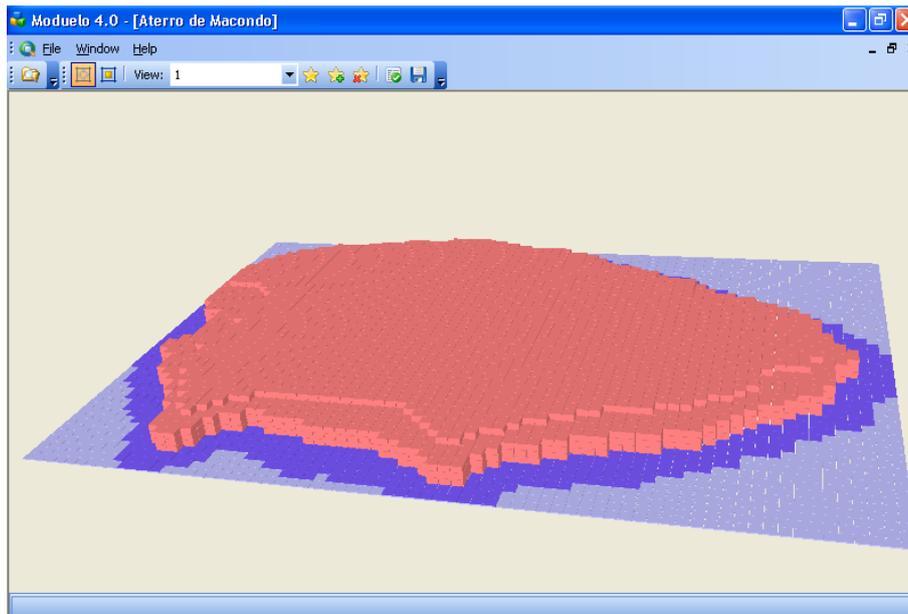


Figura 4.43: Etapas da disposição do resíduo no aterro.

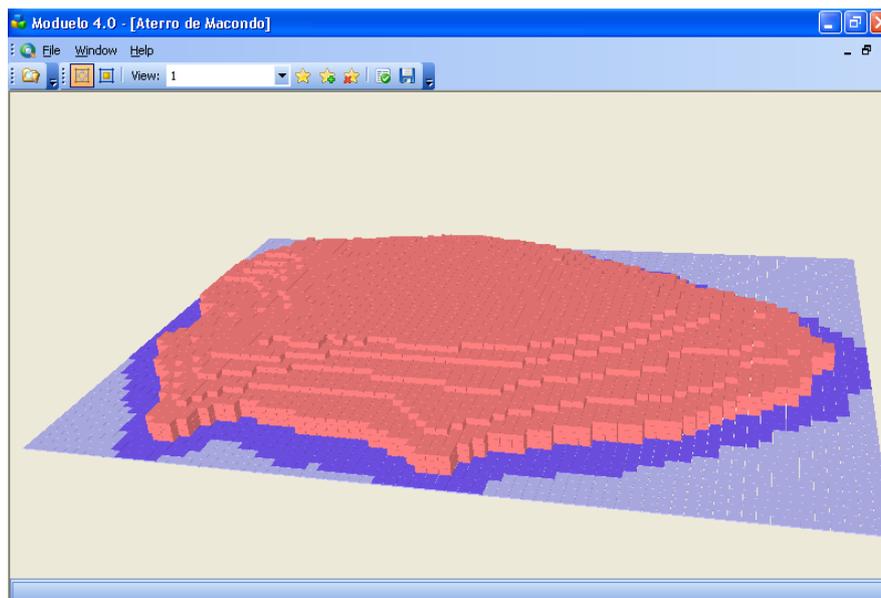


Figura 4.44: Etapas da disposição do resíduo no aterro.

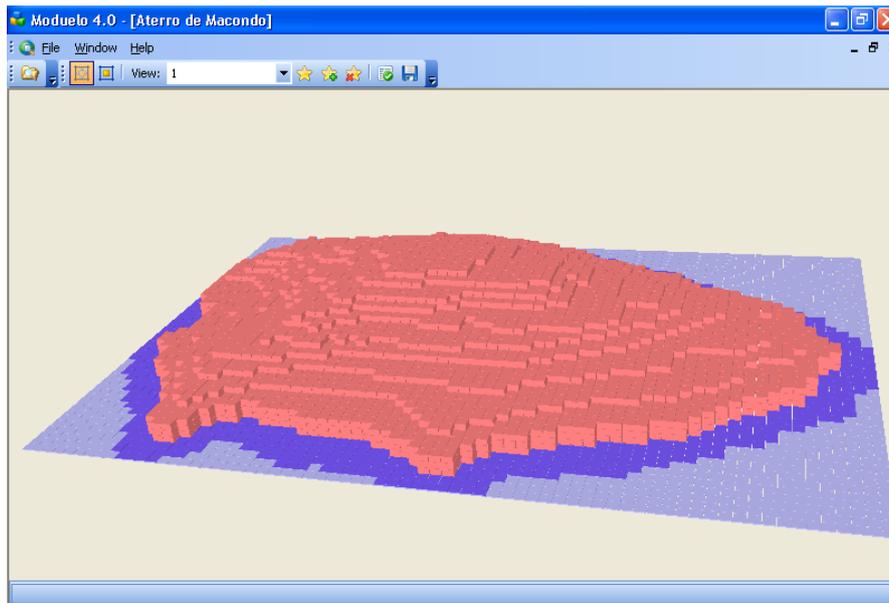


Figura 4.45: Disposição do resíduo até o ano 2009.

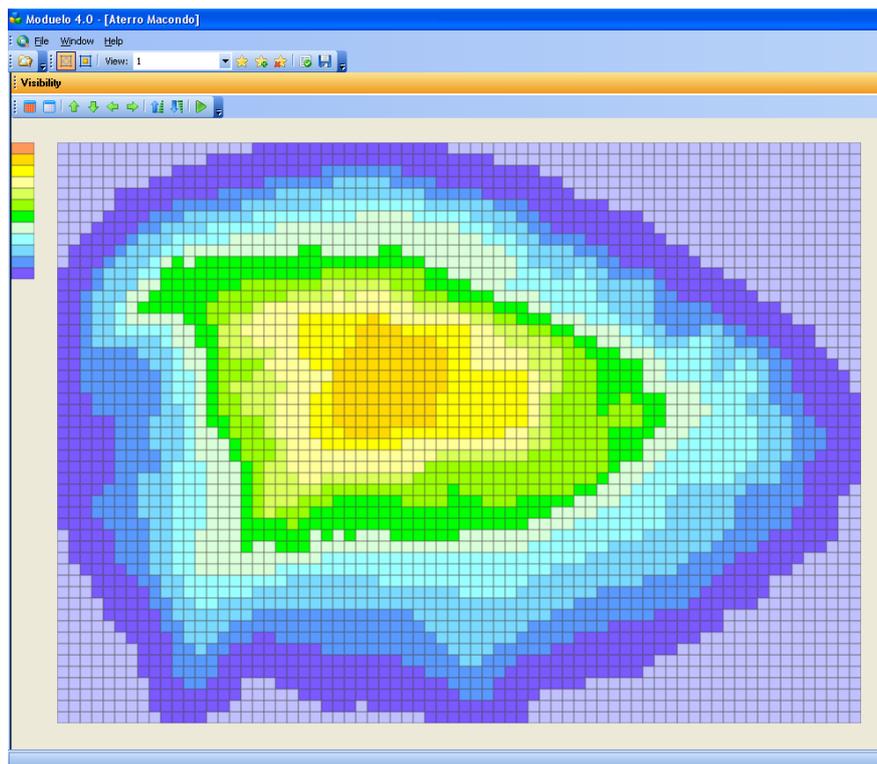


Figura 4.46: Vista em planta da disposição do resíduo.

- c. **Tipos de sistema de drenagem do lixiviado:** o *software* Modulo 4.0[©], permite simular a drenagem do lixiviado. Para o aterro Macondo se fez esta simulação, sendo que, as características da drenagem arbitradas são apresentadas na Tabela 4.5.

Tabela 4.5: Parâmetro do sistema de drenagem de lixiviado.

PARÂMETRO	UNIDADE	DESCRIÇÃO	VALOR	FONTE
Pendente da drenagem	%	Pendente do sistema de coleta de lixiviado.	2	Valor obtido em campo
Número de células servidas		Número de células do modelo cujo lixiviado pelo mesmo sistema de drenagem. Condiciona a capacidade total de evacuação do mesmo.	70	Valor obtido em campo
Inclinação das camadas para a drenagem	%	Inclinação do terreno ao sistema de drenagem.	2	Valor obtido em campo
Conduvidade hidráulica equivalente embaixo da drenagem	s ⁻¹	Permite especificar umas condições particulares de impermeabilização embaixo do dren (como nos casos em que se introduz uma geomembrana embaixo do conduto: a condutividade hidráulica embaixo do dren nesse caso seria menor que o restante da camada).	1,00E-05	(DA SILVA, 2008)
Espessura da brita	m	Espessura da camada de brita que constitui a coleta de lixiviados.	2	Valor obtido em campo
Permeabilidade da grava	m/s	Condutividade hidráulica da brita da drenagem.	1,00E-03	(LOBO, 2009b)

Não haviam muitas informações sobre o sistema de drenagem do lixiviado no aterro, assim, procuraram-se fazer estimativas baseadas nas plantas fornecidas pela empresa operadora e consultas feitas em campo. Drenagens foram colocadas nas primeiras camadas que vertem em uma vala, construída ao redor do aterro, para a coleta de lixiviado. Na Figura 4.47, se apresenta este sistema de drenagem, onde, as células em cinza representam o lixiviado com as características que são apresentadas na Tabela 4.5.

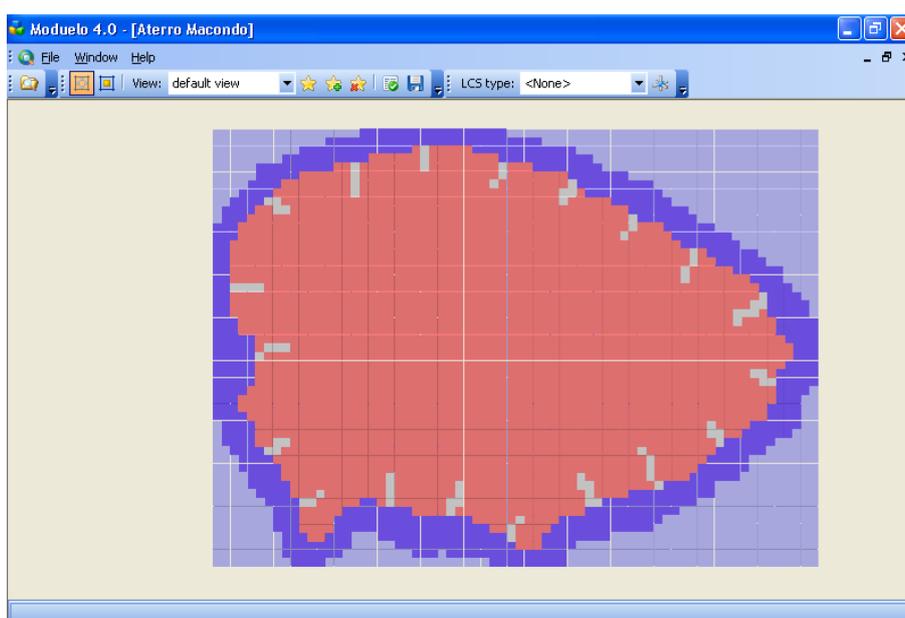


Figura 4.47: Drenagem do lixiviado.

- d. **Gestão do *run-off*:** a drenagem das águas pluviais no aterro, é feita por meio de geocélulas localizadas ao redor do mesmo, as quais conduzem o líquido coletado para fora do aterro. Estas geocélulas controlam o *run-off*. Para o aterro estudado, foi simulada esta gestão com a opção “*run-off* não conectado”, fornecida pelo *software* Moduelo 4.0©, já que esta opção de *run-off* é indicada para sistemas de drenagem de águas superficiais que não estão conectados a nenhum sistema de coleta de lixiviados, ou seja, o *run-off* é administrado independentemente. Na Figura 4.48, apresenta-se a gestão do *run-off* no aterro estudado.

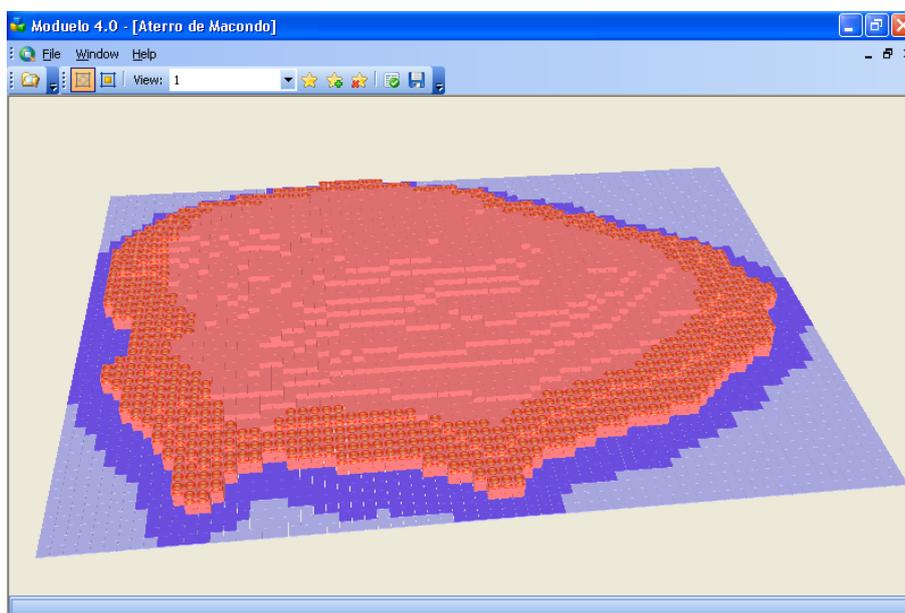


Figura 4.48: Gestão do *run-off*.

4.4.1.2 Modelo de geração de resíduos

Este modelo requer como entrada, os dados correspondentes às características e quantidades de resíduos depositados no aterro.

Da mesma forma que nas metodologias do BM, EPA e IPCC, os resíduos considerados são a totalidade dos resíduos depositados onde uma fração deste resíduo é composta por materiais recicláveis (ex.: papel/papelão, plástico, vidro, metal, inerte, madeira, borracha e couro, pano e trapo, vela e parafina). As características dos resíduos consistem na composição elementar (conteúdos de carbono (C), hidrogênio (H),

oxigênio (O), nitrogênio (N), enxofre (S) e cinzas) de acordo com a Tabela 2.16, a biodegradabilidade segundo Tabela 2.15 e outras características como umidade global e poder calorífico de LOBO, (2003).

As quantidades de resíduos foram obtidas a partir da massa de resíduos depositada no aterro (vide Tabela 4.2) e de acordo com as porcentagens de cada material, obtida da composição gravimétrica apresentada no Anexo C.

O fator de acessibilidade, que representa a acessibilidade (f_{ac}) dos resíduos aos microorganismos, que foi estimado como sendo 0,65 (vide item 2.8.4.2). O fator de carregamento (f_{ar}), segundo a calibração do modelo feito por BORBA (2006) e FERREIRA (2006), foi adotado como sendo 0,08.

O valor adotado para a densidade global dos resíduos do aterro estudado, no momento da disposição, foi de $10,5 \text{ KN/m}^3$ ($1,07 \text{ t/ m}^3$), valor médio adotado de valores sugeridos por diversos autores (CARVALHO, 2006).

4.4.1.3 Modelo meteorológico

Este modelo requer dados meteorológicos como o de umidade relativa média diária, temperatura média, máxima e mínima diária, velocidade média diária do vento, precipitação horária e diária. Estes dados foram obtidos de uma estação meteorológica instalada em Xerém (Rio de Janeiro), do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), de acordo ao que foi descrito no item 3.4. Os dados são relativos ao ano 2002, quando a estação começou o funcionamento, até o ano 2009. Como não se dispunha dos dados da estação meteorológica desde o começo da operação do aterro até o ano de 2002, os valores para os anos faltantes foram estimados. Também, nos dados obtidos de 2002 a 2009, haviam valores nulos, os quais foram considerados como sendo problemas técnicos da estação meteorológica e foram, também, estimados. A estação de Xerém não conta com registros de irradiação solar, DA SILVA (2008), que foram obtidos de uma estação que fica na cidade do Rio de Janeiro (estação Flamengo), da INMET.

4.4.2 Simulação

Foi feita a simulação para o período de 01 de janeiro de 1979 a 31 de dezembro de 2009, levando em conta os modelos do aterro, descritos anteriormente. Não foi utilizado o modelo de gestão de lixiviados, descrito no item 2.8.4, já que o aterro não possui recirculação do lixiviado.

4.4.3 Resultados e análise

Os resultados de geração de CH_4 obtidos, pela modelagem do aterro Macondo, utilizando o *software* Moduelo 4.0[©], são apresentados na Figura 4.49.

Na Figura 4.49, observa-se uma diminuição brusca da geração de CH_4 no ano 2006 e 2007, isto deve-se a falta de dados meteorológicos e, as conseqüentes, estimativas que foram feitas, baseadas nos dados disponíveis.

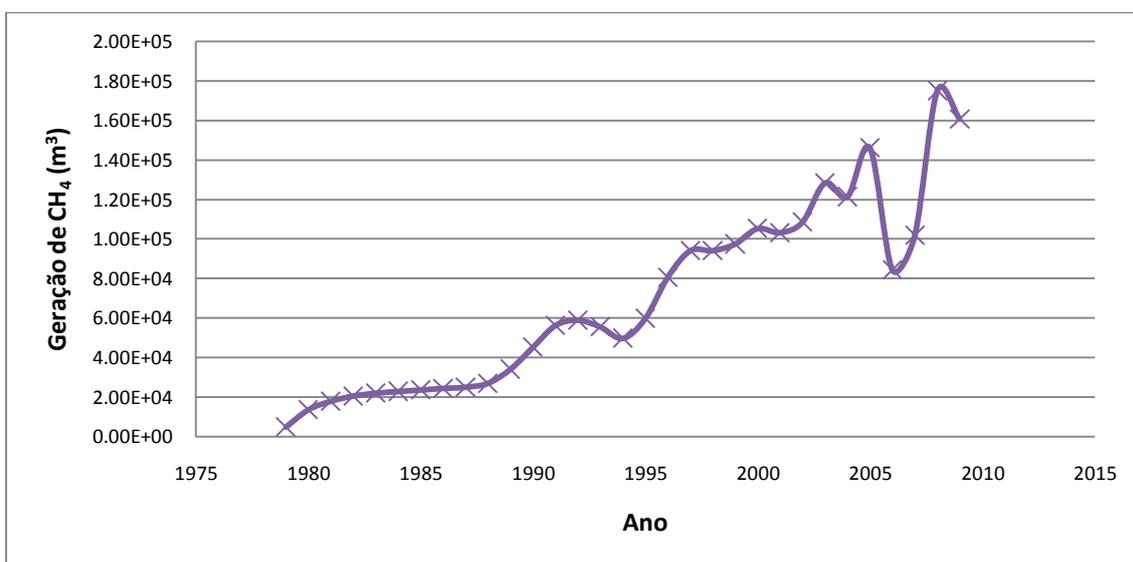


Figura 4.49: Resultados de geração de CH_4 pelo programa Moduelo 4.0[©]

Para o modelo de biodegradação foram utilizados parâmetros calibrados da dissertação de BORBA (2006), para um aterro situado no estado do Rio de Janeiro. Isto foi feito por não se contar com dados de quantidades de emissão de gases, medidas em campo, para poder calibrar o modelo.

4.4.4 Sensibilidade do modelo

Neste item apresenta-se a sensibilidade do modelo de biodegradação na produção de biogases por aterros de RSU, no *software* Moduelo 4.0©. Depois são apresentados testes que foram realizados no modelo do aterro Macondo, mudando os valores dos parâmetros de entrada, para assim analisar e verificar a sensibilidade da modelagem.

4.4.4.1 Sensibilidade do modelo de biodegradação

A sensibilidade do modelo de biodegradação do *software* Moduelo[©] foi estudado por LOBO (2003). Na Tabela 4.6, apresenta-se a sensibilidade para cada parâmetro do modelo de biodegradação na produção de CH₄ e CO₂ e depois se faz uma descrição da influência de cada parâmetro na sensibilidade do modelo.

Tabela 4.6: Valores de sensibilidade dos parâmetros do modelo de biodegradação, modificado (LOBO, 2003)

Gás	kh _l e kh _r	k _A	k _{AC}	kH ₂
CO ₂	0,20	0,04	0,03	0,01
CH ₄	0,19	0,04	0,03	0,01

- **Velocidades de hidrólise (velocidade de hidrolise rápida kh_r e velocidade de hidrolise lenta kh_l):** observa-se na Tabela 4.6, que as velocidades de hidrolise são os parâmetros do modelo de biodegradação que apresentam maior sensibilidade na produção de CH₄ e CO₂. Ao aumentar estas velocidades se produz maior quantidade de biogás. Isto é devido ao fato de que em velocidades de hidrolises maiores, a matéria sólida é dissolvida mais rapidamente, aparecendo mais rapidamente os compostos biodegradáveis no lixiviado e acelerando da mesma forma sua desapareição, o que vai produzir maior quantidade de CH₄ e CO₂.

- **Constante de acetogênese k_A :** o modelo é menos sensível a esta variável como se pode observar na Tabela 4.7. Esta constante tem grande influência nas emissões gasosas, pois controla o processo de acetogênese para a geração de CO_2 e H_2 , como foi mostrado no item 2.8.4.2. Também influencia nos valores de geração de CH_4 , ao interferir nas taxas de consumo de acetato e H_2 , aumentando sua presença no lixiviado.
- **Constante de metanogênese acetofílica k_{AC} :** as variações nesta constante afetam ao modelo de forma similar à k_A , sendo influenciada um pouco menos como se pode observar na Tabela 4.7. Ao aumentar k_{AC} , se acelera o consumo de acetato e os gases CH_4 e CO_2 são gerados mais rapidamente o que faz com que as emissões sejam maiores, devido a se consumir maior quantidade de acetato antes de ser carregado pelo lixiviado.
- **Constante de metanogênese hidrogenofílica k_{H_2} :** este parâmetro interfere em menor medida quando comparado com os parâmetros anteriores, como se pode observar na Tabela 4.7. A k_{H_2} influencia nos processos de consumo e geração de gases. A constante influencia sensivelmente na quantidade de H_2 emitido, porém a variação que provoca nas quantidades de CH_4 e CO_2 é pouca, isto é devido à estequiometria desta reação (vide Tabela 2.16), onde para a geração de um mol de CH_4 , consome-se quatro moles de H_2 e um de CO_2 , o que resulta que, para a geração de CH_4 e CO_2 só varie em 25% com respeito à geração de H_2 .

4.4.4.2 Análise de sensibilidade para o aterro Macondo

Para analisar a sensibilidade dos parâmetros do modelo de biodegradação para a geração de CH_4 e CO_2 no aterro de Macondo, fizeram-se vários testes, modificando os valores de cada parâmetro para os valores máximos e mínimos recomendados pelo *software* Modulo 4.0[®], como é resumido na Tabela 4.7 e apresentado nas Figuras 4.50 até 4.60. Nota-se nas Figuras 4.50 e 4.59 o modelo tem maior sensibilidade ao parâmetro de k_r .

Tabela 4.7: Valores aplicados para análise de sensibilidade do aterro de Macondo.

	Simulação	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
kh_r	0,006	0,05	0,00023								
kh_l	0,0005			0,0025	0,00003						
k_A	0,5					0,1	0,005				
k_{AC}	0,1							0,7	0,005		
k_{H2}	200									500	50

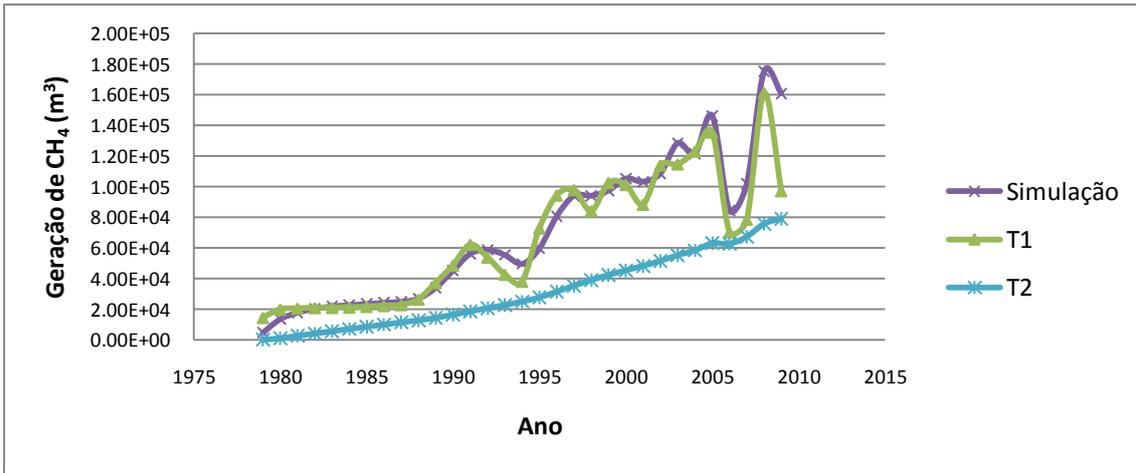


Figura 4.50: Resultados do análise de sensibilidade para o CH_4 para kh_r .

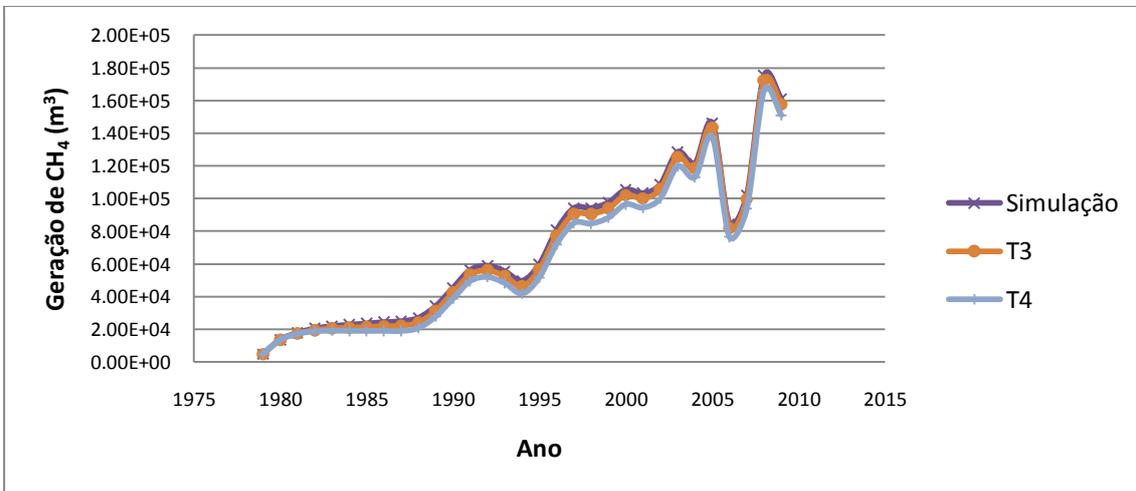


Figura 4.51: Resultados do análise de sensibilidade para o CH_4 para kh_l .

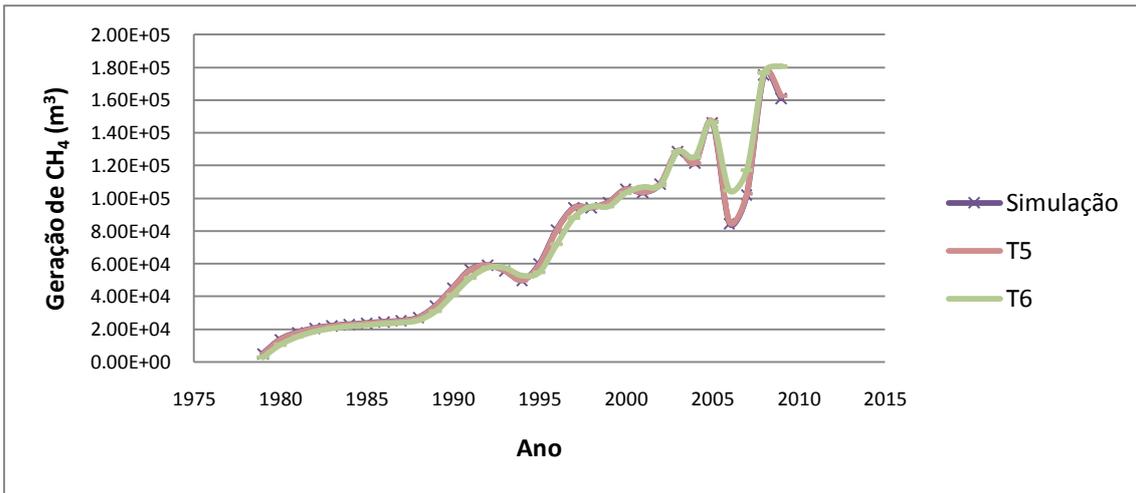


Figura 4.52: Resultados do análise de sensibilidade para o CH₄ para k_A.

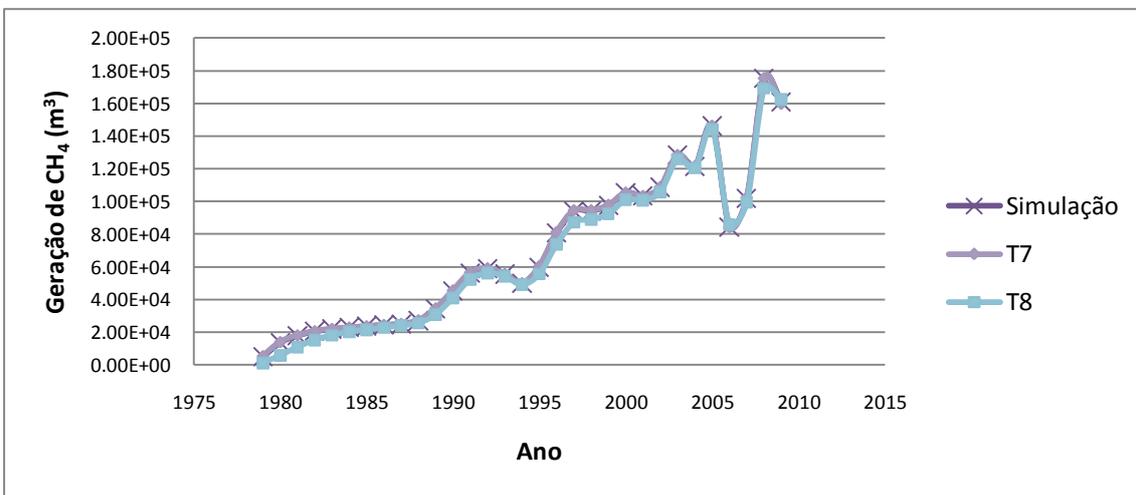


Figura 4.53: Resultados do análise de sensibilidade para o CH₄ para k_{AC}.

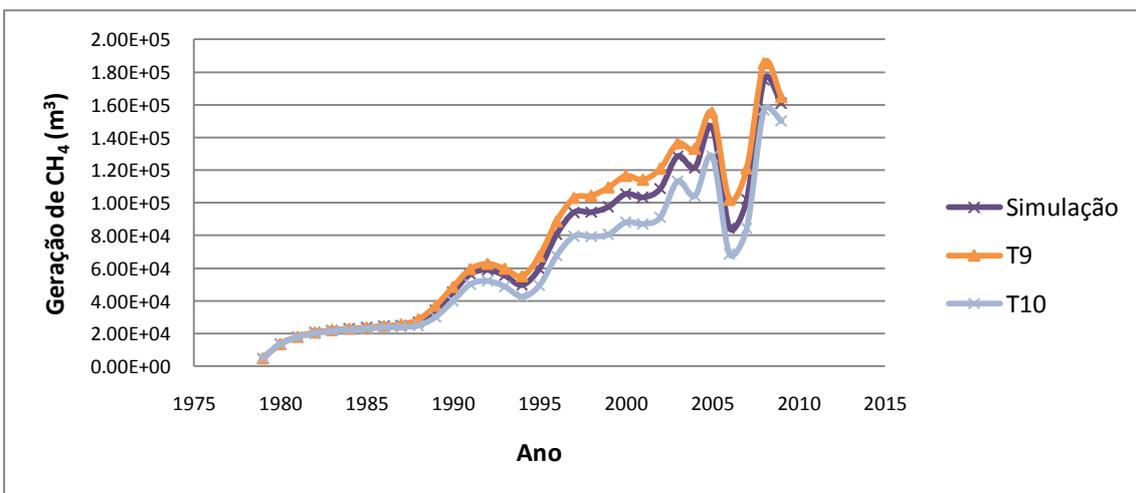


Figura 4.54: Resultados do análise de sensibilidade para o CH₄ para k_{H2}.

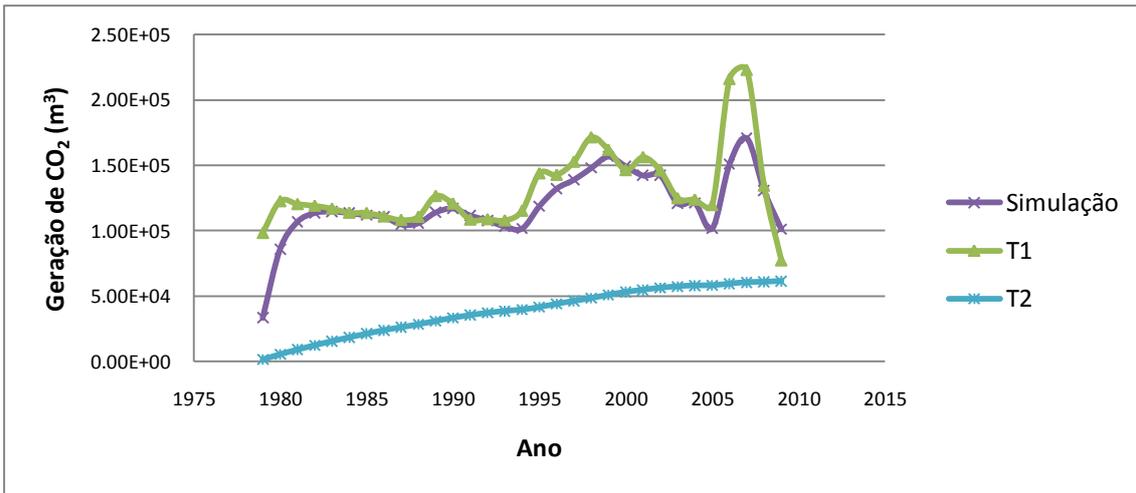


Figura 4.55: Resultados do análise de sensibilidade para o CO₂ para kh_r.

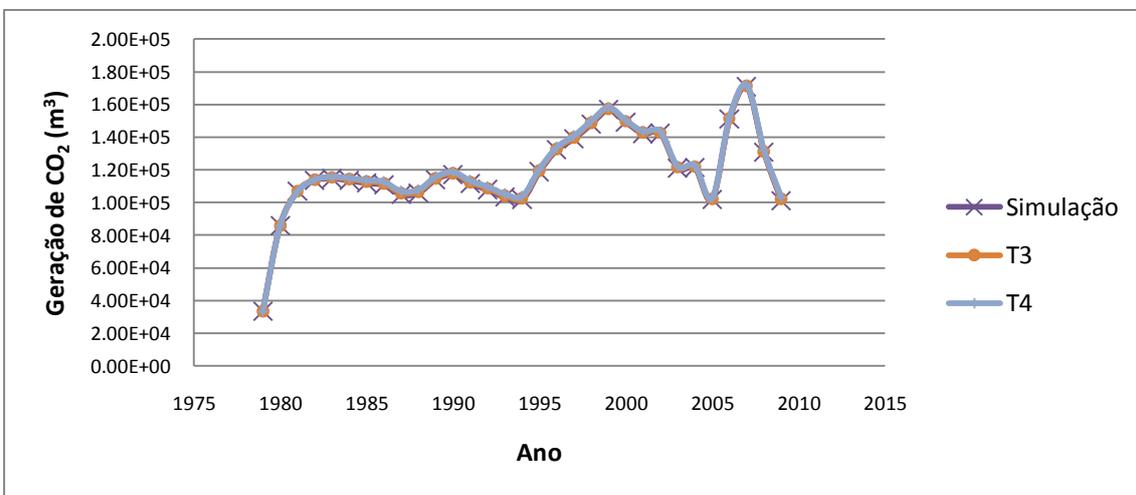


Figura 4.56: Resultados do análise de sensibilidade para o CO₂ para kh_l.

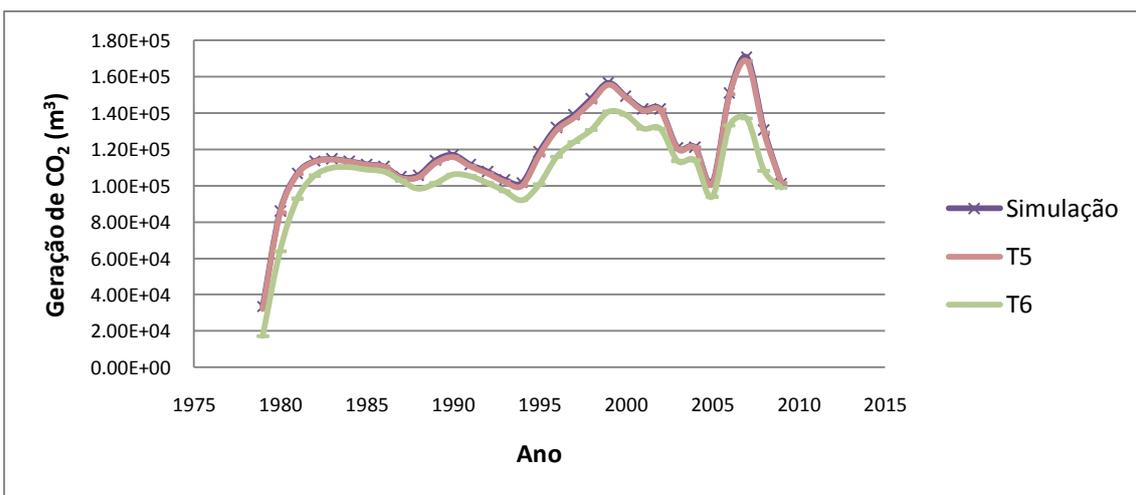


Figura 4.57: Resultados do análise de sensibilidade para o CO₂ para k_A.

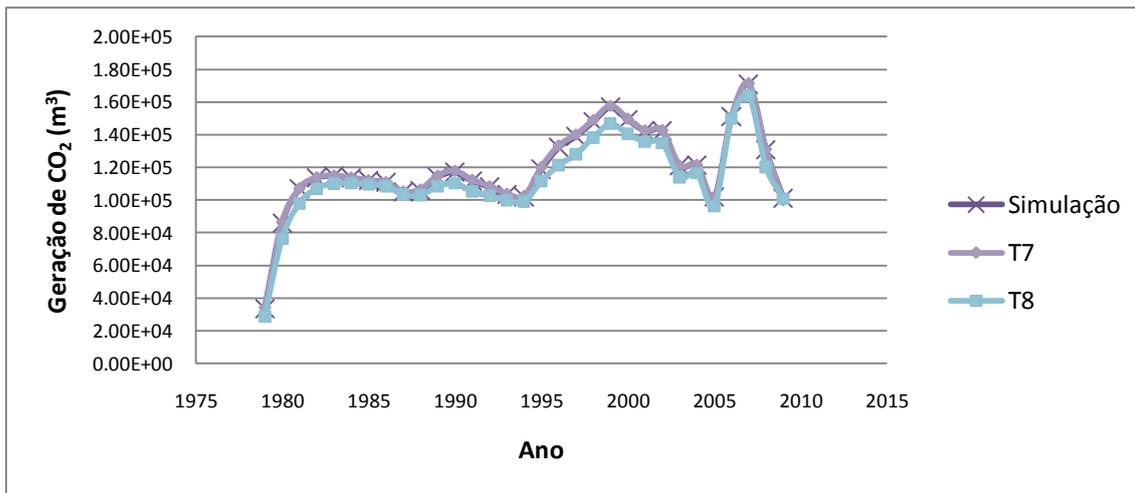


Figura 4.58: Resultados do análise de sensibilidade para o CO₂ para k_{AC} .

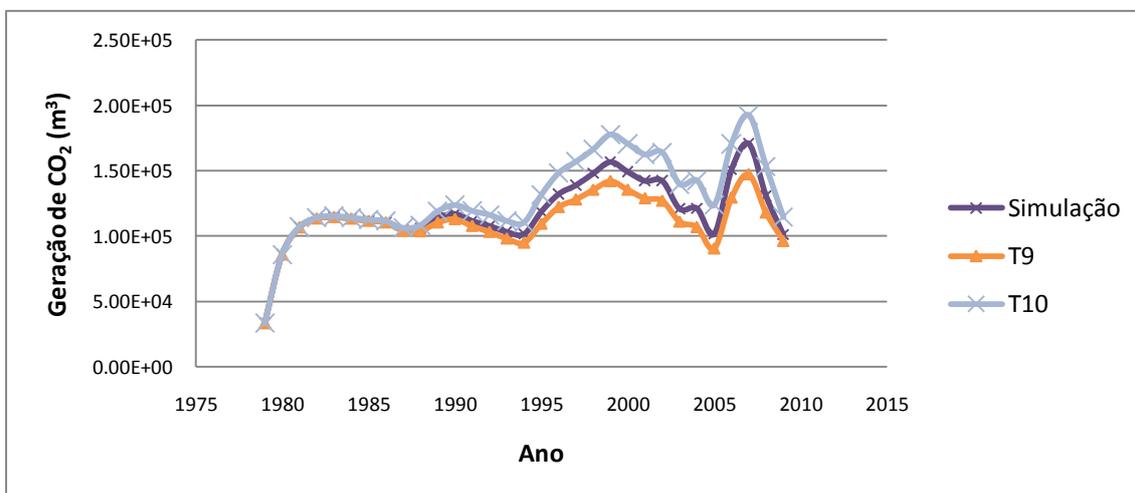


Figura 4.59: Resultados do análise de sensibilidade para o CO₂ para k_{H2} .

4.5 Comparação das emissões CH₄ calculadas por ensaios de campo, metodologias do BM, EPA e IPCC, e a modelagem com o Moduelo 4.0[®]

Os resultados obtidos das emissões de CH₄ pelas metodologias do BM, EPA e IPCC (vide seção 4.3) e a modelagem feita com o *software* Moduelo 4.0[®] (vide seção 4.4) foram comparados e são apresentados na Figura 4.60.

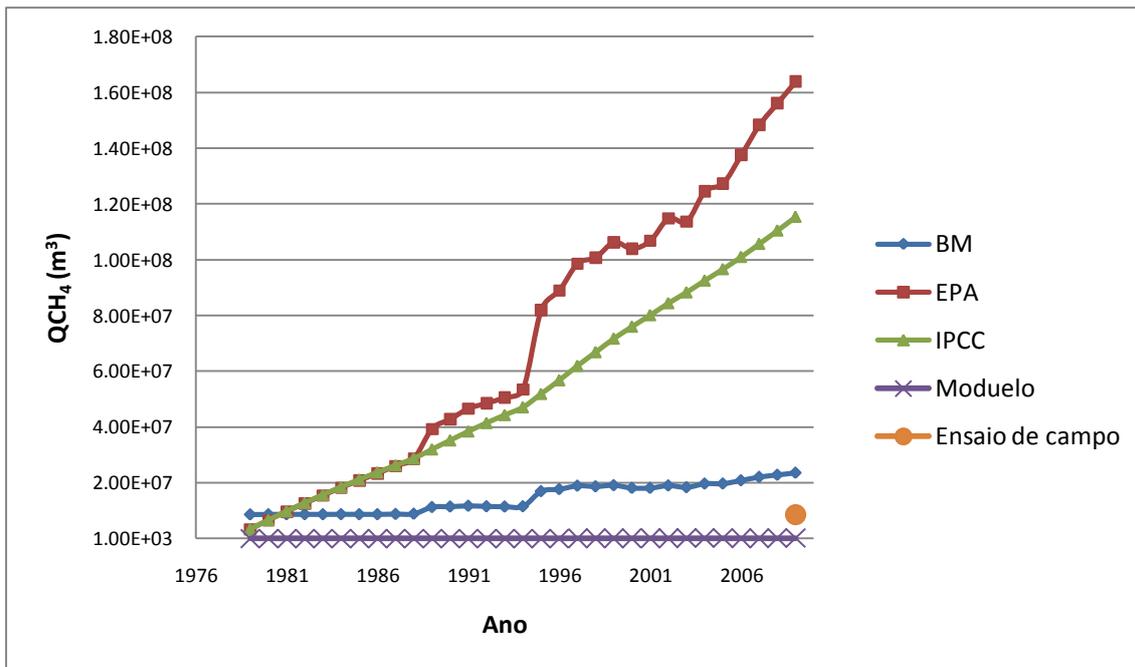


Figura 4.60: Comparação de resultados pelas metodologias do BM, EPA, IPCC e modelagem no programa Moduelo 4.0[©].

Na Figura 4.60 pode-se observar que os resultados das metodologias do BM, EPA e IPCC são muito maiores comparados com os resultados obtidos pela modelagem feita com o *software* Moduelo 4.0[©]. As metodologias do BM, EPA e IPCC são equações simples, que não tem um procedimento sistemático para calcular os parâmetros k e L_0 , os quais são variáveis que influenciam muito nos resultados das metodologias. Estes modelos foram aplicados em diferentes aterros do Brasil, obtendo resultados sobreestimados à realidade.

Por outro lado a modelagem realizada pelo *software* Moduelo 4.0[©] apresenta resultados de produção de CH_4 muito menores comparado com estas metodologias. Porém, os resultados podem ser ajustados, aproximando-se mais dos resultados obtidos com as metodologias do BM, EPA e IPCC, bastando para isso, modificar os parâmetros de entrada do modelo de biodegradação e do modelo meteorológico, dados que são muitos sensíveis ao modelo e que realizando uma calibração com dados medidos *in situ* pode fornecer resultados com maior aproximação, o que não foi possível realizar neste trabalho por não contar com suficientes dados para a calibração.

Para os ensaios de campo calcularam-se as emissões para a área total do aterro, a partir do ensaio que apresentou maior fluxo de CH₄ e CO₂, como é mostrado no Anexo B. O valor da emissão de CH₄ para a área total do aterro foi de 8,58 x10⁶ m³/ano. Este resultado de emissão de CH₄ foi menor do que os resultados das meteorologias do BM, EPA e IPCC, dado que é coerente com o fato que os ensaios medidos *in situ* fornecem quantidade do CH₄ que passa pela camada de cobertura de solo, enquanto que com as metodologias do BM, EPA e IPCC é calculado a totalidade de biogás que é produzido no aterro. Não foi possível realizar uma maior quantidade de ensaios de medição de gases no aterro devido à implantação da usina para a extração de biogás nos últimos meses do ano 2009 no aterro.

CAPÍTULO 5- CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

5.1 Conclusões

1. A placa PFLI desenvolvida nesta dissertação mostrou-se um instrumento útil e eficiente para medir quantidade e qualidades de gás em aterros ou áreas aproximadamente planas.
2. Os ensaios realizados em de laboratório para a caracterização do solo de cobertura em diferentes pontos do aterro mostraram que o solo é similar, cuja classificação foi de um solo areno-siltoso.
3. Os fatores climatológicos de temperatura do ar, temperatura interna do solo, umidade relativa do ar, precipitação e pressão atmosférica têm influência na emissão de gases nos ensaios feitos *in situ*, em alguns casos analisou-se que estes fatores devem ser analisados em conjunto e sua resposta não é instantânea.
4. Os resultados das metodologias propostas pelo BM, EPA e IPCC foram maiores do que os resultados dos ensaios de campo e pelo programa Modulo 4.0©. Sendo maior a estimativa do modelo dela EPA, seguido do modelo do IPCC e em menor quantidade os resultados pelo modelo do BM. Estas metodologias requerem um procedimento sistemático e um estudo específico de cada aterro dos parâmetros de entrada de k e L_0 . Há muito por estudar quanto aos parâmetros a serem adotados, uma vez que os valores iniciais foram estudados para condições climáticas, de resíduos e solos completamente diferentes dos encontrados no Brasil.
5. Como era de se esperar a quantidade de CH_4 que passa pela camada de cobertura de solo medido nos ensaios de campo foi menor do que o valor estimado para a produção total CH_4 estimada pelas metodologias BM, EPA e IPCC, em função da implantação do sistema de aproveitamento do gás no aterro no início desta pesquisa.

6. A modelagem realizada pelo programa Moduelo 4.0[©] não respondeu da maneira esperada, devido ao fato da necessidade de grande quantidade de informação de parâmetros de entrada ao programa.
7. Por meio de modelagens feitas no aterro de Macondo se comprovou a sensibilidade dos parâmetros de entrada de biodegradabilidade para o programa Moduelo 4.0[©], sendo o modelo mais sensível à velocidade de hidrólise rápida (k_{hr}).
8. O programa Moduelo 4.0[©] precisa da calibração com dados medidos *in situ* de quantidade e qualidade do lixiviado e biogás. Não foi possível calibrar os parâmetros para a simulação do aterro de Macondo.
9. Provou-se a eficiência do sistema para a extração de gás para impedir as emissões de gases fugitivos pela camada de cobertura do aterro de Macondo. A análise de resultados mostrou a inexistência praticamente de emissões fugitivas de CH₄ e CO₂ no tempo de funcionamento da usina de aproveitamento energético.

5.2 Sugestões para pesquisas futuras

1. Realizar ensaios de medição de gás pela PFLI em aterros de RSU no estado do Rio de Janeiro em diferentes épocas do ano e se possível no aterro desde sua etapa inicial, para desta forma ter uma boa representatividade, estudar com mais dados a influência que tem os fatores climatológicos na emissão de gases e conhecer a evolução do aterro.
2. Realizar as medições de campo com outros aparelhos e acoplá-los também na PFLI e comparar os resultados com os equipamentos atualmente empregados.
3. Sugere-se que se façam estudos mais detalhados dos parâmetros de entrada no programa Moduelo 4.0[©], descrevendo os ensaios e seu procedimento para determinação *in situ*.

4. Recomenda-se construir um aterro experimental, medindo parâmetros de quantidade e qualidade do lixiviado e de produção de gases que permitam calibrar a modelagem feita pelo programa Moduelo 4.0© e desta forma fazer futuras previsões.

5. Estudar e aplicar com maior profundidade os modelos que apresentam o programa Moduelo 4.0©, como fluxos através do contorno, recirculação do lixiviado, temperaturas e recalques

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARANDA, D.A.G., RAMOS, A. L. D., NOVA, G. D., MARTINS, B. B. “Catalisadores para Tratamento de Gases Tóxicos Provenientes de Incineração de Lixo”. In: *Anais do XI Congresso Brasileiro de Catálise*, v. 1, p. 228-231, 2001, Bento Gonçalves. IBP, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**. Rio de Janeiro: ABNT, 1986. (NBR 6457)

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solo - determinação da massa específica aparente**. Rio de Janeiro: ABNT, 1984. (NBR 6508)

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solo – Análise Granulométrica**. Rio de Janeiro: ABNT, 1984. (NBR 7181)

BABILOTTE, A., GREEN, R., HATER, G., WATERMOLEM, T., STALEY, B., “Field Intercomparison on Methods to Measure Fugitive Methane Emissions”. Proceedings Sardinia 2009, Twelfth International Waste Management and Landfill Symposium. S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy, 2009.

BANCO MUNDIAL, **Manual para a Preparação de Gás de Aterro Sanitário para Projetos de Energia na América Latina e Caribe**, 2003. Disponível em: <http://www.bancomundial.org.ar/lfg/Archivos/Brasil/handbook.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2009, 10:29.

BIDONE, R., A., POVINELLI, J., *Conceitos Básicos de Resíduos Sólidos*. São Carlos, EESC/USP, 1999.

BISZEK, M., PAWLOWSKA, M., CZERWINSKI, J., “Evaluation of Measurement Methods and Estimation of Biogas Emission from Landfills”. Środkowo-Pomorskie Towarzystwo Naukowe Ochrony Środowiska, Poland, 2006. Disponível em:

<http://wbiis.tu.koszalin.pl/towarzystwo/2006/02biszek.pdf>. Acesso em: 24 fev. 2010, 12:42.

BORBA, S. M. P., *Análise de Modelos de Geração de Gases em Aterros Sanitários: Estudo de Caso*. Dissertação de M. Sc, Programa de Engenharia Civil/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2006, Disponível em: http://www.getres.ufrj.br/pdf/BORBA_SMP_06_t_M_int.pdf. Acesso em: 27 fev. 2010, 2:15.

CAPACCIONI, B., CARAMIELLO, C., CORIGLIANO, G., DE ROSA, S., TATÀNO, F., “Accumulation Chamber Measurements of Biogas Fluxes: Experimental Indications from Four Years, Application to a Sanitary Landfill in Marche Region (Italy)”. Proceedings Sardinia 2009, Twelfth International Waste Management and Landfill Symposium. S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy, 2009.

CARVALHO, A. R., *Desenvolvimento de um Equipamento para Determinação de Parâmetros Geotécnicos de Resíduos Sólidos*. Tese de D. Sc, Programa de Engenharia Civil/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2006, Disponível em: http://www.getres.ufrj.br/pdf/CARVALHO_AR_06_t_D_int.pdf. Acesso em: 05 mar. 2010, 14:35.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO URBANO DO ESTADO DA BAHIA, CONDER, **Manual de Operação de Aterros Sanitários**, Bahia, CONDER, 2002. Disponível em: http://www.conder.ba.gov.br/manual_aterro.pdf. Acesso em: 18 fev. 2010, 15:32.

COMPANHIA MUNICIPAL DE LIMPIEZA URBANA, COMLURB, *Relatorio de avaliação das condições geotécnicas do AMG*, v. 1, COMLURB, 2001.

COMPANHIA MUNICIPAL DE LIMPIEZA URBANA, COMLURB, *Caracterização Gravimétrica e Microbiológica dos Resíduos Sólidos Domiciliares do Município do Rio de Janeiro*, COMLURB, Rio de Janeiro, 2006.

COMPANHIA MUNICIPAL DE LIMPIEZA URBANA, COMLURB, *Avaliação global do comportamento geotécnico*, COMLURB, 2007.

COMPANHIA MUNICIPAL DE LIMPIEZA URBANA, COMLURB, *Caracterização Gravimétrica e Microbiológica dos Resíduos Sólidos Domiciliares do Município do Rio de Janeiro*, COMLURB, Rio de Janeiro, 2009.

CONVENÇÃO QUANDO SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS, UNFCC, *Protocolo de Quioto*. 1 ed. Brasil, Ministério da Ciência e Tecnologia com o apoio do Ministério das Relações Exteriores da República Federativa do Brasil, 2006. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/28739.html>. Acesso em: 15 fev. 2010, 21:57.

CORTI, A., LOMBARDI, L., PERCORINI, I., “Management Conditions and Diffused Gas Emission Monitoring Correlation in Four Non-Hazardous Waste Landfills”. Proceedings Sardinia 2009, Twelfth International Waste Management and Landfill Symposium. S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy, 2009.

DA SILVA, A. T. A., *Aspectos Meteorológicos e Balanço Hídrico em um Aterro de Resíduos Sólidos Urbanos*. Dissertação de M. Sc, Programa de Engenharia Civil/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2008, Disponível em: http://www.getres.ufrj.br/pdf/SILVA_ATA_08_t_M_int.pdf. Acesso em: 05 mar. 2010, 15:08.

DOS SANTOS, L. V., *Estudo da Influência de uma Bentonita em um Solo Residual para uso como Camada Selante*. Dissertação de M. Sc, Programa de Engenharia Civil/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2008.

FELIPETTO, A. V. M., *Avaliação de Concessionária de Tratamento de Resíduos com Opções Reais*. Dissertação de Mestrado, IBMEC, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2005.

FELIPETTO, A. V. M., “Novagerar and the Nova Iguaçu Solid Waste Treatment Center (CTR Nova Iguaçu)”. SITTRS – Simpósio Internacional de Tecnologias de Tratamento de Resíduos Sólidos, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2006.

FERREIRA, M. A. S., *Aplicação de Modelos de Avaliação Qualitativa e Quantitativa dos Percolados Gerados em um Aterro Sanitário*. Dissertação de M. Sc, Programa de Engenharia Civil/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2006, Disponível em: http://www.getres.ufrj.br/pdf/FERREIRA_MAS_06_t_M_int.pdf. Acesso em: 27 fev. 2010, 2:06.

FISHER, C., MAURICE, C., LAGERKVIST, A., *Gas Emission from Landfills*, Swedish Environmental Protection Agency, Stockholm, Sweden, 1999. Disponível em: <http://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/afr-r-264-se.pdf>. Acesso em: 24 fev. 2010, 12:03.

GERBERT, J., GROENGROEFT, A., “Passive landfill gas emission – Influence of atmospheric pressure and implications for the operation of methane-oxidising biofilters”. **Waste Management**, v.26, p. 245-251, 2006.

GIUSTI, L. “A review of waste management practices and their impact on human health”. **Waste Management**, v.29, n. 8, p. 2227-2239, 2009.

GÓMEZ, R., B., *Compostaje de residuos sólidos orgánicos. Aplicación de técnicas respirométricas en el seguimiento del proceso*. Ph.D. Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra, Barcelona, España, 2006. Disponível em: http://www.tesisenxarxa.net/TDX-0223107-152959/index_an.html. Acesso em: 17 fev. 2010, 17:45.

GUEDES, V. P., *Estudo do Fluxo de Gases através do solo de Cobertura de Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos*. Dissertação de M. Sc, Programa de Engenharia Civil/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2007. Disponível em: http://www.getres.ufrj.br/pdf/GUEDES_VP_07_t_M_int.pdf. Acesso em: 20 fev. 2010, 10:05.

ICLEI, **Mudanças climáticas e desenvolvimento limpo: oportunidade para governos locais: um guia do ICLEI**, Rio de Janeiro, Sindicato nacional de editores de livros, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL, IBAM. **Mecanismo de desenvolvimento limpo aplicado a resíduos sólidos: conceito, planejamento e oportunidades**, v. 2, Rio de Janeiro, IBAM, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**, Rio de Janeiro, 2000. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb/lixo_coletado/lixo_coletado109.shtm. Acesso em: 18 fev. 2010, 16:54.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, IBGE. **Indicadores de desenvolvimento sustentável**, Rio de Janeiro, IBGE, 2004.

INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, IPCC, **Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Workbook**, 1996. Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/guidelin/ch6wb1.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2009, 13:09.

INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, IPCC, *Climate Change 2001: Synthesis Report, Summary for Policymakers*, 2001a. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/pdf/climate-changes-2001/synthesis-syr/english/summary-policymakers.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2010, 15:19.

INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, IPCC, *Climate Change 2001: Synthesis Report*, 2001b. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/pdf/climate-changes-2001/synthesis-syr/english/question-1to9.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2010, 15:21.

INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, IPCC, *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007. Disponível em: <http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/wg1-report.html>. Acesso em: 16 fev. 2010, 10:07.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, IPT, **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado**. 2 ed. São Paulo, IPT/CEMPRE, 2000.

JUCÁ, J.F.T., MONTEIRO, V.E.D., OLIVEIRA, F.J.S., MACIEL, F.J., “Monitoramento Ambiental do Aterro de Resíduos Sólidos Urbanos”, III Seminario Nacional sobre Resíduos Sólidos, Toledo, Paraná, 1999.

KHEFFI, A., COLLART, C., D'OR, D., BOUR, O., GARCIA, M., SALPETEUR, V., “Methodology Developments for Measuring Biogas Emissions form Landfill Surface”. Proceedings Sardinia 2009, Twelfth International Waste Management and Landfill Symposium. S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy, 2009.

LAGO, A. A. C., SIMÕES, A. F., PEREIRA, A.S. *et al.*, **Mudança do Clima**. v. I. 1 ed. Brasília, Cadernos NAE / Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, 2005.

LOBO, A. G. C., **Desarrollo de MODUELO 2: Herramienta para la Evaluación de la Contaminación Producida en Vertederos de Resíduos Sólidos Urbanos. Tesis Doctoral**, Universidad de Cantabria, España, 2003. Disponível em: http://www.tdr.cesca.es/TDR-0309105-141254/index_cs.html. Acesso em: 20 fev. 2010, 20:12.

LOBO, A. G. C., **Manual Técnico de la Versión MODUELO 3.0**. Universidad de Cantabria, España, 2006.

LOBO, A. G. C., **Moduelo 4.0: Manual de Usuario**. Universidad de Cantabria, España, 2009a.

LOBO, A. G. C., TEJERO, I. M., “MODUELO 2: A New Version of an Integrated Simulation Model for Municipal Solid Waste Landfills”. **Environmental Modelling and Software**, v.22, p. 59-72, 2007a.

LOBO, A. G. C., TEJERO, I. M., “Application of Simulation Models to the Diagnosis of MSW Landfills: An Example”. **Waste Management**, v.27, p. 691-703, 2007b.

LÓPEZ, A., COBO, N., CUARTAS, M., LOBO, A., “Estimating the Future Emissions of an Old Landfill by Simulation”. Proceedings Sardinia 2009, Twelfth International

Waste Management and Landfill Symposium. S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy, 2009a.

LÓPEZ, A., TEJERO, I., CUARTAS, M., LOBO, A., “La Simulación: una Ayuda para Optimizar la Explotación de un Vertedero. Actas del Congreso II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos, REDISA. Barranquilla, 24-25 Septiembre. Capítulo Tecnología. ISBN 978-958-741-006-8, 2009b.

LÓPEZ, A., COBO, N., CUARTAS, M., LOBO, A., “Estimación de las Futuras Emisiones de un Vertedero Antiguo Mediante Simulación”. Actas del Congreso II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos, REDISA. Barranquilla, 24-25 Septiembre. Capítulo Tecnología. ISBN 978-958-741-006-8, 2009c.

LÓPEZ, A., TEJERO, I., CUARTAS, M., LOBO, A., “A Case of Simulation as a Help for Landfill Management Planning”, 3rd Hydro-Physico-Mechanics of Wastes, Braunschweig, Germany, 2009d.

MACIEL, F. J., *Estudo da Geração, Percolação e Emissão de Gases no Aterro de Resíduos Sólidos da Muribeca/PE*. Dissertação de M. Sc, Programa de Engenharia Civil/Centro de Tecnologia e Geociências/UFPE, Pernambuco, Brasil, 2003.

MODRAK, M., T., HASHMONAY, R. A., VARMA, R., KAGANN, R., *Measurement of Fugitive Emissions at a Bioreactor Landfill*. U.S. Environmental Protection Agency, EPA, North Carolina, 2005. Disponível em: <http://www.epa.gov/ORD/NRMRL/pubs/600r05096/600r05096.pdf>. Acesso em: 24 fev. 2010, 12:34.

MÜNNICH, K., MAHLER, C. F., MAAK. D., “Mechanical Biological Pretreatment of Residual Waste in Brazil”. International Conference on Waste Management, Sardinia, Italy, 2001.

MÜNNICH, K., ZIEHMANN, G., FRICKE, K., “Biological pre-treatment of municipal solid waste in low income countries”. International Symposium on Environmental Pollution Control and Waste Management, 7-10, Tunis, p.293-303, January 2002.

NETO, J., T., P., *Gerenciamento do Lixo Urbano, Aspectos Técnicos e Operacionais*. Viscoça, MG, UFV, 2007.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT
OECD, Key Environmental Indicators, OECD Environment Directorate, Paris, France, 2008. Disponível em:
http://www.oecd.org/document/49/0,3343,en_2649_34441_39011377_1_1_1_1,00.htm.
Acesso em: 16 mar. 2010, 12:58.

OTSUKA, B. T., DELL'AVANZI, E., "Geração de Gás em Aterros Sanitários: Comparação entre Dois Modelos Preditivos". *Geojuvem*, Cordoba, 2009.

PARK, J. W., SHIN, H. C., "Surface emission of landfill gas from solid waste landfill". *Atmospheric Environment*, v.35, p. 3445-3451, 2001.

QIAN, X., KOERNER, R. M., GRAY, D. H., *Geotechnical Aspects of Landfill Design and Construction*. 1 ed. United States of America, Prentice Hall, 2002.

RACHOR, I., STREESE-KLEEGER, J., GERBET, J., "Spatial and Temporal Variability of Gas Emissions from Old Landfills". Proceedings Sardinia 2009, Twelfth International Waste Management and Landfill Symposium. S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy, 2009.

ROSEVEAR, A., DEED, C., GRONOW, J., KEENLYSIDE, J., RICHARD, S., BRAITHWAITE, P., *Guidance on Monitoring Landfill Gas Surface Emissions*, Bristol, UK, Environment Agency, 2004. Disponível em: http://www.environment-agency.gov.uk/static/documents/Business/lftgn07_surface_936575.pdf. Acesso em: 24 fev. 2010, 12:49.

SILVEIRA, A. M. M., *Estudo do Peso Específico de Resíduos Sólidos Urbanos*. Dissertação de M. Sc, Programa de Engenharia Civil/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2004, Disponível em:
http://www.getres.ufrj.br/pdf/SILVEIRA_AMM_04_t_M_int.pdf. Acesso em: 20 fev. 2010, 10:01.

TCHOBANOGLIOUS, G., THEISEN, H., VIGIL, S., Gestión integral de residuos sólidos. v. I y II, España, McGraw-Hill, 1994.

TECLE, D., LEE, J., HASAN, S., "Quantitative analysis of physical and geotechnical factors affecting methane emission in municipal solid waste landfill". **Environmental Geologic**, DOI 10.1007/s00254-008-1214-3, 2008.

UNITED NATIONAL ENVIRONMENT PROGRAMME, UNEP, *Solid Waste Management*. U.S.A, UNEP, 2005.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, USEPA, **Background Information Document for Updating AP42 Section 2.4 for Estimating Emissions form Municipal Solid Waste Landfills**, Washington, 2008. Disponível em: <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch02/draft/db02s04.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2009, 11:47.

ANEXO A: Ensaios de Campo de Emissão de Gases

ENSAIO DE EMISSÃO DE GASES AM 01

HORA	TEMPO min	MEDIÇÕES DE CAMPO						DADOS CALCULADOS				
		CONCENTRAÇÃO				VAZÃO TOTAL	TEMPERATURA INTERNA	UMIDADE RELATIVA	TEMPERATURA EXTERNA	VAZÃO		
		CO ₂	CH ₄	O ₂	H ₂ S					ml/min	°C	%
14:55	0	28,00	44,00	2,70	-	1,87	-	-	34,4	2,052	3,224	0,198
15:00	5	21,50	37,00	5,80	-	2,50	-	-	34,1	2,106	3,625	0,568
15:05	10	21,50	37,00	5,20	-	3,41	-	-	34,4	2,873	4,944	0,695
15:10	15	22,00	38,00	5,10	-	3,74	-	-	34,8	3,224	5,569	0,747
15:15	20	22,50	39,00	5,40	-	3,71	-	-	33,0	3,271	5,670	0,785
15:20	25	23,00	40,00	5,20	-	4,07	-	-	33,4	3,668	6,380	0,829
15:25	30	23,50	41,00	4,40	-	3,97	-	-	34,7	3,656	6,379	0,685
15:30	35	24,50	41,00	4,60	-	4,10	-	-	34,5	3,936	6,588	0,739
15:35	40	23,00	49,00	0,60	-	3,50	-	-	35,0	3,155	6,721	0,082
15:40	45	27,00	44,00	5,20	-	3,88	-	-	35,1	4,105	6,690	0,791
15:45	50	32,00	55,00	0,10	-	4,18	-	-	35,5	5,242	9,009	0,016
15:50	55	31,00	51,00	2,60	-	4,27	-	-	35,5	5,187	8,534	0,435
15:55	60	28,00	46,00	3,60	-	4,15	-	-	35,1	4,554	7,481	0,585
16:00	65	27,00	47,00	3,70	-	4,02	-	-	35,6	4,254	7,404	0,583
16:05	70	27,00	45,00	4,00	-	4,95	-	-	35,5	5,238	8,729	0,776
16:10	75	34,00	55,00	0,70	-	5,49	-	-	35,6	7,315	11,833	0,151
16:15	80	32,00	52,00	1,30	-	4,24	-	-	36,5	5,317	8,640	0,216
Furo:	AM 01											
Cota:	35 m											
Local:	S 22°44'44,86" WO 43°15'22,57"											
Horário Inicial:	14:55											
Horário Final:	16:15											
Data:	10/12/2008											
Responsável:	Luiz Carlos Almeida											
Observações:	Não foram medidas as umidades relativas do ar, nem as temperaturas internas do solo neste ensaio. Ensaio feito com PFLI de (GUEDES, 2007).											

ENSAIO DE EMISSÃO DE GASES AM 02

MEDIÇÕES DE CAMPO										DADOS CALCULADOS		
HORA	TEMPO min	CONCENTRAÇÃO				VAZÃO TOTAL ml/min	TEMPERATURA INTERNA °C	UMIDADE RELATIVA %	TEMPERATURA EXTERNA °C	VAZÃO		
		CO ₂	CH ₄	O ₂	H ₂ S					CO ₂	CH ₄	O ₂
		%								ml/min*m ²		
11:30	0	9,40	16,40	12,00	-	5,25	-	-	25,1	1,934	3,374	2,469
11:35	5	23,00	38,00	5,60	-	4,32	-	-	24,6	3,894	6,433	0,948
11:40	10	26,00	45,00	5,20	-	3,84	-	-	24,4	3,913	6,772	0,783
11:45	15	28,00	48,00	3,90	-	3,54	-	-	24,3	3,884	6,659	0,541
11:50	20	30,00	51,00	3,10	-	4,28	-	-	24,5	5,032	8,554	0,520
12:00	30	33,00	55,00	2,10	-	4,59	-	-	24,7	5,936	9,893	0,378
12:05	35	34,00	56,00	1,70	-	4,68	-	-	24,8	6,236	10,271	0,312
12:10	40	35,00	58,00	1,30	-	4,92	-	-	24,7	6,748	11,183	0,251
12:15	45	36,00	59,00	1,00	-	4,91	-	-	24,5	6,927	11,353	0,192
12:20	50	37,00	60,00	0,80	-	5,51	-	-	24,6	7,989	12,956	0,173
12:25	55	37,00	61,00	0,70	-	5,15	-	-	24,7	7,467	12,311	0,141
12:30	60	37,00	61,00	0,50	-	4,99	-	-	24,3	7,235	11,929	0,098
12:35	65	38,00	62,00	0,60	-	4,96	-	-	24,4	7,386	12,051	0,117
12:40	70	38,00	62,00	0,50	-	5,10	-	-	24,4	7,595	12,391	0,100
12:45	75	38,00	63,00	0,40	-	5,12	-	-	24,5	7,625	12,641	0,080
12:50	80	38,00	63,00	0,40	-	5,19	-	-	24,9	7,729	12,813	0,081
12:55	85	38,00	63,00	0,30	-	5,01	-	-	25,3	7,461	12,369	0,059
13:00	90	39,00	63,00	0,30	-	4,78	-	-	25,0	7,306	11,801	0,056
Furo:	AM 02											
Cota:	35 m											
Local:	S 22°44'46,17" WO 43°15'22,15"											
Horário Inicial:	11:30											
Horário Final:	13:00											
Data:	15/12/2008											
Responsável:	Luiz Carlos Almeida											
Observações:	Não foram medidas as umidades relativas do ar, nem as temperaturas internas do solo neste ensaio. Ensaio feito com PFLI de (GUEDES, 2007).											

ENSAIO DE EMISSÃO DE GASES AM 03

MEDIÇÕES DE CAMPO										DADOS CALCULADOS		
HORA	TEMPO min	CONCENTRAÇÃO				VAZÃO TOTAL ml/min	TEMPERATURA INTERNA °C	UMIDADE RELATIVA %	TEMPERATURA EXTERNA °C	VAZÃO		
		CO ₂	CH ₄	O ₂	H ₂ S					CO ₂	CH ₄	O ₂
		%								ml/min*m ²		
10:45	0	2,0	2,8	18,5	-	0,66	-	-	28,6	0,052	0,072	0,478
10:50	5	3,2	4,8	17,0	-	0,56	-	-	27,9	0,070	0,105	0,373
10:55	10	4,0	4,7	16,8	-	0,57	-	-	28,8	0,089	0,105	0,375
11:00	15	4,6	5,4	16,2	-	0,62	-	-	28,6	0,112	0,131	0,394
11:05	20	5,8	6,8	15,1	-	0,64	-	-	29,2	0,145	0,171	0,379
11:10	25	7,0	8,0	14,0	-	0,58	-	-	29,3	0,159	0,182	0,318
11:15	30	8,0	9,2	13,0	-	0,71	-	-	29,5	0,223	0,256	0,362
11:20	35	9,0	10,2	12,9	-	0,70	-	-	29,6	0,247	0,280	0,354
11:25	40	9,0	10,4	12,5	-	1,80	-	-	29,7	0,635	0,734	0,882
11:30	45	10,4	11,8	11,6	-	0,71	-	-	29,9	0,289	0,328	0,323
11:35	50	10,8	12,4	11,2	-	1,08	-	-	30,0	0,457	0,525	0,474
11:40	55	12,4	14,4	10,0	-	0,71	-	-	30,1	0,345	0,401	0,278
11:45	60	12,4	14,4	10,0	-	0,63	-	-	30,3	0,306	0,356	0,247
11:50	65	12,0	14,2	9,9	-	1,30	-	-	30,4	0,611	0,723	0,504
11:55	70	12,4	14,8	9,8	-	1,13	-	-	30,6	0,549	0,655	0,434
12:00	75	13,5	16,0	8,8	-	0,57	-	-	30,7	0,302	0,357	0,197
12:05	80	14,5	17,0	8,6	-	0,72	-	-	30,8	0,409	0,480	0,243
12:10	85	15,5	18,5	7,5	-	0,73	-	-	30,9	0,443	0,529	0,215
12:15	90	18,0	21,5	6,3	-	0,51	-	-	31,0	0,360	0,430	0,126
12:20	95	18,0	21,5	6,0	-	0,60	-	-	31,1	0,423	0,506	0,141
12:25	100	18,0	21,5	6,2	-	0,20	-	-	31,2	0,141	0,169	0,049
12:30	105	19,0	22,5	5,6	-	0,21	-	-	31,3	0,156	0,185	0,046
12:35	110	19,5	23,5	5,1	-	1,00	-	-	31,4	0,764	0,921	0,200
12:40	115	20,0	25,0	4,4	-	1,00	-	-	31,5	0,784	0,980	0,172
12:45	120	21,0	25,5	4,4	-	0,97	-	-	31,6	0,798	0,969	0,167
Furo:	AM 03											
Cota:	40 m											
Local:	S 22°44'55,0" WO 43°15'22,4"											
Horário Inicial:	10:45											
Horário Final:	12:45											
Data:	07/02/2009											
Responsável:	Luiz Carlos Almeida											
Observações:	Não foram medidas as umidades relativas do ar, nem as temperaturas internas do solo neste ensaio. Ensaio feito com PFLI de (GUEDES, 2007).											

ENSAIO DE EMISSÃO DE GASES AM 04

MEDIÇÕES DE CAMPO										DADOS CALCULADOS		
HORA	TEMPO min	CONCENTRAÇÃO				VAZÃO TOTAL ml/min	TEMPERATURA INTERNA °C	UMIDADE RELATIVA %	TEMPERATURA EXTERNA °C	VAZÃO		
		CO ₂	CH ₄	O ₂	H ₂ S					CO ₂	CH ₄	O ₂
		%								ml/min*m ²		
10:10	0	3,0	4,4	18,2	-	0,50	-	66	25,0	0,0588	0,0862	0,3566
10:15	5	5,4	7,5	16,8	-	0,30	-	-	28,0	0,0635	0,0882	0,1975
10:20	10	6,8	9,8	15,3	-	0,15	-	-	30,1	0,0400	0,0576	0,0899
10:25	15	8,2	11,6	14,4	-	0,58	-	-	30,2	0,1864	0,2637	0,3273
10:30	20	11,8	17,0	12,4	-	0,20	-	-	28,0	0,0925	0,1332	0,0972
10:35	25	13,5	19,5	11,4	-	0,02	-	-	28,1	0,0106	0,0153	0,0089
10:40	30	15,0	21,5	10,5	-	0,35	-	-	28,2	0,2057	0,2949	0,1440
10:45	35	17,0	25,0	9,2	-	0,44	-	-	28,2	0,2931	0,4311	0,1586
10:50	40	18,0	27,0	8,4	-	0,70	-	71	28,3	0,4938	0,7407	0,2304
10:55	45	17,5	26,0	8,5	-	0,58	-	73	28,5	0,3978	0,5910	0,1932
11:00	50	20,0	30,0	7,1	-	0,87	-	-	28,5	0,6819	1,0228	0,2421
11:05	55	20,5	31,0	6,5	-	0,70	-	-	28,6	0,5624	0,8504	0,1783
11:10	60	22,0	33,0	5,9	-	0,97	-	71	28,6	0,8363	1,2544	0,2243
11:15	65	23,5	35,0	5,2	-	0,87	-	-	28,7	0,8012	1,1933	0,1773
11:20	70	24,5	36,0	4,6	-	0,95	-	-	28,7	0,9121	1,3402	0,1713
11:25	75	25,0	38,0	4,1	-	1,05	-	-	28,7	1,0287	1,5636	0,1687
11:30	80	27,0	41,0	3,5	-	0,80	-	-	28,8	0,8465	1,2854	0,1097
11:35	85	28,0	42,0	3,1	-	0,66	-	-	28,8	0,7242	1,0863	0,0802
11:40	90	28,0	42,0	2,8	-	0,94	-	76	28,8	1,0314	1,5472	0,1031
11:45	95	30,0	43,0	2,6	-	1,19	-	79	28,8	1,3990	2,0053	0,1212
11:50	100	30,0	44,0	2,2	-	0,93	-	74	28,9	1,0934	1,6036	0,0802
11:55	105	31,0	45,0	1,9	-	0,87	-	72	28,9	1,0569	1,5342	0,0648
12:00	110	32,0	46,0	1,5	-	1,25	-	70	28,9	1,5675	2,2533	0,0735
12:05	115	33,0	48,0	1,2	-	1,17	-	60	28,9	1,5131	2,2008	0,0550
12:10	120	32,0	47,0	1,5	-	0,92	-	-	28,9	1,1537	1,6945	0,0541
Furo:	AM 04											
Cota:	40 m											
Local:	S 22°44'56,4" WO 43°15'21,9"											
Horário Inicial:	10:10											
Horário Final:	12:10											
Data:	09/02/2009											
Responsável:	Luiz Carlos											
Observações:	Não foram medidas as temperatura interna do solo e foram medidas algumas umidades relativas do ar neste ensaio. Ensaio feito com PFLI de (GUEDES, 2007).											

ENSAIO DE EMISSÃO DE GASES AM 05

MEDIÇÕES DE CAMPO										DADOS CALCULADOS		
HORA	TEMPO min	CONCENTRAÇÃO				VAZÃO TOTAL ml/min	TEMPERATURA INTERNA °C	UMIDADE RELATIVA %	TEMPERATURA EXTERNA °C	VAZÃO		
		CO ₂	CH ₄	O ₂	H ₂ S					CO ₂	CH ₄	O ₂
		%				ml/min*m ²						
12:40	0	6,0	10,0	16,1	-	0,14	29,9	57	38,2	0,033	0,055	0,088
12:45	5	7,2	11,6	15,7	-	0,19	30,1	52	39,2	0,054	0,086	0,117
12:50	10	7,2	10,6	15,6	-	0,25	30,4	49	39,8	0,071	0,104	0,153
12:55	15	6,8	9,4	15,5	-	0,21	30,4	57	38,3	0,056	0,077	0,128
13:00	20	7,4	10,2	15,0	-	0,09	30,3	57	38,2	0,026	0,036	0,053
13:05	25	8,0	10,4	14,6	-	0,25	30,7	59	38,6	0,078	0,102	0,143
13:10	30	8,4	10,8	14,3	-	0,23	30,8	56	39,2	0,076	0,097	0,129
13:15	35	8,6	11,2	13,7	-	0,58	30,7	55	39,6	0,195	0,255	0,311
13:20	40	9,4	12,2	12,9	-	0,41	30,9	57	38,9	0,151	0,196	0,207
13:25	45	10,4	13,0	12,3	-	0,66	30,9	56	38,7	0,269	0,336	0,318
13:30	50	11,2	14,0	11,8	-	1,27	31,1	57	38,2	0,557	0,697	0,587
13:35	55	11,6	14,4	11,5	-	1,21	31,2	64	36,6	0,550	0,683	0,545
13:40	60	12,0	15,2	11,1	-	1,79	31,5	66	37,6	0,842	1,066	0,779
13:45	65	12,5	15,8	10,8	-	0,88	31,5	60	37,9	0,431	0,545	0,372
13:50	70	13,0	16,4	10,4	-	1,30	31,7	53	40,8	0,662	0,836	0,530
13:55	75	13,5	17,0	10,0	-	1,37	31,6	57	37,5	0,725	0,913	0,537
14:00	80	14,0	17,5	9,7	-	1,05	31,7	61	36,9	0,576	0,720	0,399
14:05	85	14,0	18,0	9,4	-	0,90	31,7	65	36,6	0,494	0,635	0,332
14:10	90	15,5	19,5	9,0	-	0,60	31,8	70	35,6	0,364	0,459	0,212
14:15	95	15,5	20,0	8,6	-	0,20	31,8	71	35,8	0,121	0,157	0,067
14:20	100	16,0	20,0	8,4	-	0,62	31,9	68	35,7	0,389	0,486	0,204
14:25	105	16,9	21,0	8,6	-	1,41	32,0	66	36,9	0,934	1,160	0,475
14:30	110	17,5	21,5	7,7	-	0,65	32,0	61	37,8	0,446	0,548	0,196
14:35	115	18,0	22,5	7,3	-	0,81	32,0	54	39,9	0,571	0,714	0,232
14:40	120	18,0	23,0	7,0	-	1,33	32,0	56	38,9	0,938	1,199	0,365
Furo:	AM 05											
Cota:	40 m											
Local:	S 22°44'56,9" WO 43°15'20,6"											
Horário Inicial:	12:40											
Horário Final:	14:40											
Data:	09/02/2009											
Responsável:	Luiz Carlos Almeida											
Observações:	Ensaio feito com PFLI de (GUEDES, 2007).											

ENSAIO DE EMISSÃO DE GASES AM 06

MEDIÇÕES DE CAMPO										DADOS CALCULADOS		
HORA	TEMPO min	CONCENTRAÇÃO				VAZÃO TOTAL ml/min	TEMPERATURA INTERNA °C	UMIDADE RELATIVA %	TEMPERATURA EXTERNA °C	VAZÃO		
		CO ₂	CH ₄	O ₂	H ₂ S					CO ₂	CH ₄	O ₂
		%								ml/min*m ²		
10:00	0	13,0	17,0	10,1	-	0,74	29,2	69	34,6	0,377	0,493	0,293
10:05	5	7,8	9,4	15,7	-	1,03	29,3	72	34,7	0,315	0,379	0,634
10:10	10	17,5	23,5	6,6	-	1,16	29,4	76	33,8	0,796	1,068	0,300
10:15	15	21,0	28,5	5,0	-	1,01	29,5	78	32,9	0,831	1,128	0,198
10:20	20	22,0	31,0	4,1	-	1,06	29,5	76	32,6	0,914	1,288	0,170
10:25	25	24,5	34,0	3,1	-	1,04	29,6	74	32,6	0,999	1,386	0,126
10:30	30	26,0	36,0	2,5	-	1,20	29,6	74	32,6	1,223	1,693	0,118
10:35	35	27,0	39,0	1,8	-	1,16	29,6	74	33,1	1,227	1,773	0,082
10:40	40	29,0	41,0	1,3	-	1,22	29,6	76	33,6	1,386	1,960	0,062
10:45	45	31,0	44,0	0,8	-	1,27	29,7	75	33,6	1,543	2,190	0,040
10:50	50	32,0	47,0	0,3	-	1,08	29,7	75	33,7	1,354	1,989	0,013
10:55	55	33,0	48,0	0,3	-	0,61	29,8	76	33,5	0,789	1,147	0,007
11:00	60	33,0	48,0	0,4	-	1,07	29,9	76	33,5	1,384	2,013	0,017
11:05	65	34,0	50,0	0,1	-	1,28	30,0	77	33,9	1,705	2,508	0,005
11:10	70	34,0	50,0	0,2	-	1,38	30,1	76	34,6	1,839	2,704	0,011
11:15	75	34,0	51,0	0,1	-	1,42	30,3	69	35,3	1,892	2,838	0,006
11:20	80	34,0	52,0	0,3	-	1,23	30,4	64	37,0	1,639	2,507	0,014
11:25	85	35,0	53,0	0,1	-	1,37	30,5	62	39,2	1,879	2,845	0,005
11:30	90	34,0	53,0	0,0	-	1,33	30,7	61	39,6	1,772	2,762	0,000
11:35	95	35,0	54,0	0,0	-	1,25	30,9	52	43,5	1,714	2,645	0,000
11:40	100	36,0	56,0	0,0	-	3,48	31,1	55	43,3	4,910	7,637	0,000
11:45	105	36,0	55,0	-0,2	-	3,03	31,2	51	45,1	4,275	6,531	-0,024
11:50	110	36,0	55,0	-0,1	-	1,50	31,4	60	41,1	2,116	3,233	-0,006
11:55	115	37,0	56,0	-0,2	-	1,60	31,5	68	36,4	2,320	3,511	-0,013
12:00	120	37,0	57,0	-0,3	-	1,30	31,7	70	34,3	1,885	2,904	-0,015
Furo:	AM 06											
Cota:	40 m											
Local:	S 22°44'57,9" WO 43°15'21,6"											
Horário Inicial:	10:00											
Horário Final:	12:00											
Data:	11/02/2009											
Responsável:	Luiz Carlos Almeida											
Observações:	Ensaio feito com PFLI de (GUEDES, 2007).											

ENSAIO DE EMISSÃO DE GASES AM 07

HORA	TEMPO min	MEDIÇÕES DE CAMPO						DADOS CALCULADOS				
		CONCENTRAÇÃO				VAZÃO TOTAL ml/min	TEMPERATURA INTERNA °C	UMIDADE RELATIVA %	TEMPERATURA EXTERNA °C	VAZÃO		
		CO ₂	CH ₄	O ₂	H ₂ S					CO ₂	CH ₄	O ₂
		%				ml/min*m ²						
13:00	0	2,0	2,1	18,2	-	1,07	35,1	67	35,6	0,084	0,088	0,763
13:05	5	2,6	1,9	17,3	-	1,96	34,9	66	36,8	0,200	0,148	1,329
13:10	10	3,0	1,8	16,7	-	1,06	34,9	65	36,7	0,125	0,075	0,694
13:15	15	3,4	1,7	16,2	-	0,36	34,8	54	37,4	0,048	0,024	0,229
13:20	20	3,0	1,2	16,5	-	1,64	34,8	52	37,2	0,193	0,077	1,060
13:25	25	2,8	1,0	16,6	-	1,08	34,8	52	37,3	0,119	0,042	0,703
13:30	30	2,6	0,9	16,7	-	3,78	34,9	51	37,5	0,385	0,133	2,474
13:35	35	2,6	0,9	16,7	-	1,40	34,9	51	37,8	0,143	0,049	0,916
13:40	40	2,6	0,9	16,8	-	1,25	35,0	49	38,1	0,127	0,044	0,823
13:45	45	2,6	0,8	16,9	-	5,51	35,0	48	40,7	0,561	0,173	3,649
13:50	50	2,4	0,8	17,0	-	3,07	35,1	45	40,7	0,289	0,096	2,045
13:55	55	2,8	0,9	16,7	-	3,16	35,2	48	42,7	0,347	0,111	2,068
14:00	60	3,0	0,9	16,5	-	5,26	35,3	37	45,7	0,618	0,186	3,401
14:05	65	3,0	0,9	16,4	-	0,84	35,3	51	41,5	0,099	0,030	0,540
14:10	70	3,2	0,9	16,1	-	1,08	35,4	53	39,3	0,135	0,038	0,681
14:15	75	3,2	0,9	16,0	-	0,40	35,5	46	39,4	0,050	0,014	0,251
14:20	80	3,4	1,0	15,8	-	0,15	35,6	48	40,4	0,020	0,006	0,093
14:25	85	3,6	1,0	15,2	-	0,25	35,8	34	43,7	0,035	0,010	0,149
14:30	90	4,2	1,1	14,5	-	0,20	36,0	45	42,6	0,033	0,009	0,114
14:35	95	3,8	1,0	14,7	-	0,05	36,0	56	41,3	0,007	0,002	0,029
14:40	100	3,2	1,0	15,3	-	0,20	36,3	54	40,0	0,025	0,008	0,120
14:45	105	4,2	1,1	13,9	-	0,00	36,5	58	39,9	0,000	0,000	0,000
14:50	110	1,6	0,7	15,8	-	0,07	36,7	51	40,1	0,004	0,002	0,043
14:55	115	3,8	1,1	11,7	-	0,09	36,9	59	39,5	0,013	0,004	0,041
15:00	120	5,2	1,5	13,1	-	0,02	37,0	47	39,0	0,004	0,001	0,010
Furo:	AM 07											
Cota:	40 m											
Local:	S 22°44'55,7" WO 43°15'21,0"											
Horário Inicial:	13:00											
Horário Final:	15:00											
Data:	11/02/2009											
Responsável:	Luiz Carlos Almeida											
Observações:	Ensaio feito com PFLI de (GUEDES, 2007).											

ENSAIO DE EMISSÃO DE GASES AM 08

MEDIÇÕES DE CAMPO										DADOS CALCULADOS		
HORA	TEMPO	CONCENTRAÇÃO				VAZÃO TOTAL	TEMPERATURA INTERNA	UMIDADE RELATIVA	TEMPERATURA EXTERNA	VAZÃO		
		CO ₂	CH ₄	O ₂	H ₂ S					CO ₂	CH ₄	O ₂
	min	%				ml/min	°C	%	°C	ml/min*m ²		
10:55	0	1,8	2,3	19,6	-	0,12	28,0	66	32,9	0,008	0,011	0,092
11:00	5	2,4	3,1	19,3	-	1,16	26,8	66	32,3	0,109	0,141	0,877
11:05	10	2,8	3,7	19,0	-	0,49	26,9	69	32,3	0,054	0,071	0,365
11:10	15	3,2	4,3	18,7	-	2,23	26,9	65	32,1	0,280	0,376	1,634
11:15	20	3,6	4,6	18,5	-	2,39	27,0	64	32,0	0,337	0,431	1,733
11:20	25	3,6	4,8	18,4	-	2,27	27,0	63	32,3	0,320	0,427	1,637
11:25	30	3,8	5,1	18,2	-	0,60	27,0	62	32,5	0,089	0,120	0,428
11:30	35	3,8	5,1	18,2	-	2,06	27,0	64	32,7	0,307	0,412	1,469
11:35	40	3,8	5,3	18,1	-	2,21	27,5	65	32,9	0,329	0,459	1,568
11:40	45	4,2	5,7	17,9	-	2,05	27,3	62	32,9	0,337	0,458	1,438
11:45	50	4,2	5,8	17,8	-	1,57	27,3	61	33,1	0,258	0,357	1,095
11:50	55	4,4	6,2	17,6	-	2,14	27,3	56	34,0	0,369	0,520	1,476
11:55	60	4,6	6,3	17,5	-	0,47	27,3	58	34,1	0,085	0,116	0,322
12:00	65	4,6	6,5	17,4	-	1,32	27,3	55	35,2	0,238	0,336	0,900
12:05	70	4,8	6,6	17,3	-	1,84	27,4	46	38,2	0,346	0,476	1,247
12:10	75	4,8	6,8	17,2	-	1,85	27,2	46	36,0	0,348	0,493	1,247
12:15	80	4,8	6,8	17,2	-	1,74	27,2	57	34,4	0,327	0,464	1,173
12:20	85	5,0	7,0	17,1	-	1,53	27,2	58	33,6	0,300	0,420	1,025
12:25	90	5,0	7,0	17,0	-	1,82	38,4	58	33,9	0,357	0,499	1,212
12:30	95	5,2	7,4	16,9	-	1,05	28,8	60	33,8	0,214	0,304	0,695
12:35	100	5,4	7,6	16,7	-	1,44	29,2	58	33,6	0,305	0,429	0,942
12:40	105	5,4	7,6	16,6	-	0,86	28,6	59	33,7	0,182	0,256	0,559
12:45	110	5,4	7,8	16,6	-	1,34	28,8	57	33,8	0,284	0,410	0,872
12:50	115	5,6	7,8	16,5	-	1,14	28,8	57	34,0	0,250	0,348	0,737
12:55	120	5,6	8,0	16,4	-	1,47	29,2	54	34,4	0,323	0,461	0,945
Furo:	AM 08											
Cota:	35 m											
Local:	S 22°45'03,3" WO 43°15'43,5"											
Horário Inicial:	10:55											
Horário Final:	12:55											
Data:	16/02/2009											
Responsável:	Luiz Carlos Almeida											
Observações:	Ensaio sobre lixo hospitalar e feito com PFLI de (GUEDES, 2007).											

ENSAIO DE EMISSÃO DE GASES AM 09

MEDIÇÕES DE CAMPO										DADOS CALCULADOS		
HORA	TEMPO	CONCENTRAÇÃO				VAZÃO TOTAL	TEMPERATURA INTERNA	UMIDADE RELATIVA	TEMPERATURA EXTERNA	VAZÃO		
		CO ₂	CH ₄	O ₂	H ₂ S					CO ₂	CH ₄	O ₂
	min	%				ml/min	°C	%	°C	ml/min*m ²		
10:30	0	2,8	3,2	18,5	-	1,25	27,8	70	31,2	0,137	0,157	0,906
10:35	5	1,8	2,2	19,1	-	1,13	28,0	68	31,2	0,080	0,097	0,846
10:40	10	3,4	3,8	18,1	-	0,60	28,4	75	30,9	0,080	0,089	0,426
10:45	15	4,0	4,3	17,8	-	0,73	28,3	73	31,0	0,114	0,123	0,509
10:50	20	4,2	4,8	17,5	-	1,14	28,3	68	31,5	0,188	0,214	0,782
10:55	25	4,4	4,8	17,5	-	1,78	28,3	65	32,4	0,307	0,335	1,221
11:00	30	4,2	4,9	17,2	-	0,95	28,3	61	33,1	0,156	0,182	0,640
11:05	35	4,4	4,9	17,2	-	1,22	28,3	59	33,8	0,210	0,234	0,822
11:10	40	5,4	6,0	16,8	-	0,71	28,3	57	34,3	0,150	0,167	0,467
11:15	45	5,6	6,2	16,4	-	0,53	28,2	55	34,8	0,116	0,129	0,341
11:20	50	5,8	6,6	15,7	-	0,96	28,2	54	34,9	0,218	0,248	0,591
11:25	55	7,8	8,6	14,7	-	0,44	28,2	56	34,7	0,134	0,148	0,253
11:30	60	8,4	9,0	14,3	-	0,57	28,2	56	34,6	0,188	0,201	0,319
11:35	65	8,2	8,8	14,4	-	0,83	28,2	56	34,7	0,267	0,286	0,468
11:40	70	8,6	9,6	13,7	-	0,42	28,2	52	34,5	0,142	0,158	0,225
11:45	75	9,2	10,0	13,6	-	0,75	28,2	56	34,7	0,270	0,294	0,400
11:50	80	9,0	9,8	13,7	-	0,87	28,3	57	34,7	0,307	0,334	0,467
11:55	85	9,4	10,2	13,3	-	1,44	28,4	55	35,2	0,530	0,576	0,751
12:00	90	9,8	10,6	13,1	-	0,73	28,5	54	35,2	0,280	0,303	0,375
12:05	95	10,2	11,2	12,6	-	1,88	28,6	53	35,4	0,751	0,825	0,928
12:10	100	10,8	11,8	12,3	-	0,70	28,7	53	35,3	0,296	0,324	0,337
12:15	105	11,4	12,4	11,9	-	0,64	28,9	52	35,1	0,286	0,311	0,298
12:20	110	11,8	12,8	11,7	-	0,70	29,0	52	35,3	0,324	0,351	0,321
12:25	115	12,0	13,2	11,4	-	1,40	29,0	53	35,5	0,658	0,724	0,625
12:30	120	12,4	13,8	10,9	-	0,97	29,2	52	35,7	0,471	0,525	0,414
Furo:	AMG 09											
Cota:	35 m											
Local:	S 22°45'02,7" WO 43°15'44,8"											
Horário Inicial:	10:30											
Horário Final:	12:30											
Data:	18/02/2009											
Responsável:	Luiz Carlos Almeida e Carolina Flórez Tarazona											
Observações:	Ensaio sobre lixo hospitalar e feito com PFLI de (GUEDES, 2007).											

ENSAIO DE EMISSÃO DE GASES AM 10

MEDIÇÕES DE CAMPO										DADOS CALCULADOS		
HORA	TEMPO min	CONCENTRAÇÃO				VAZÃO TOTAL ml/min	TEMPERATURA INTERNA °C	UMIDADE RELATIVA %	TEMPERATURA EXTERNA °C	VAZÃO		
		CO ₂	CH ₄	O ₂	H ₂ S					CO ₂	CH ₄	O ₂
		%				ml/min*m ²						
13:15	0	1,2	1,4	19,7	-	0,12	32,2	50	37,2	0,006	0,007	0,093
13:20	5	0,6	0,7	20,3	-	0,14	31,4	50	35,3	0,003	0,004	0,111
13:25	10	0,8	1	19,8	-	0,14	31,3	45	36,7	0,004	0,005	0,109
13:30	15	0,6	0,9	19,8	-	0,41	31,3	47	36,3	0,010	0,014	0,318
13:35	20	0,8	0,9	19,9	-	0,37	31,3	46	36,4	0,012	0,013	0,289
13:40	25	0,4	0,7	20	-	0,11	31,3	50	36,2	0,002	0,003	0,086
13:45	30	0,8	0,7	20,1	-	0,12	31,2	47	36,7	0,004	0,003	0,095
13:50	35	0,6	0,7	20,1	-	0,1	31,2	47	36,3	0,002	0,003	0,079
13:55	40	0,8	0,7	20,1	-	0,19	31,3	48	36,5	0,006	0,005	0,150
14:00	45	0,6	0,5	20,1	-	0,15	31	50	35,4	0,004	0,003	0,118
14:05	50	0,6	0,6	20,1	-	0,21	31	48	36,3	0,005	0,005	0,165
14:10	55	0,6	0,6	20,1	-	0,09	30,9	49	36,4	0,002	0,002	0,071
14:15	60	0	0,3	20,2	-	0,17	30,8	51	35,6	0,000	0,002	0,135
14:20	65	0,6	0,5	20,1	-	0,13	30,7	50	36,6	0,003	0,003	0,102
14:25	70	0	0,3	20,2	-	0,26	30,6	51	35,7	0,000	0,003	0,206
14:30	75	0	0,4	20,2	-	0,35	30,6	50	35,4	0,000	0,005	0,277
14:35	80	0,6	0,4	20	-	0,44	3-,5	50	35,6	0,010	0,007	0,345
14:40	85	0,6	0,3	20	-	0,28	30,5	51	36	0,007	0,003	0,219
14:45	90	0	0,2	20,4	-	0,1	30,4	52	35,3	0,000	0,001	0,080
14:50	95	0,6	0,3	20	-	0,07	30,3	50	35,6	0,002	0,001	0,055
14:55	100	0,4	0,2	20,2	-	0,39	30,3	52	35,3	0,006	0,003	0,309
15:00	105	0	0,2	20,2	-	1,14	30,2	50	34,7	0,000	0,009	0,902
15:05	110	0	0,2	20,5	-	0,1	30,2	52	35	0,000	0,001	0,080
15:10	115	0	0	20,9	-	0,72	30,1	57	34	0,000	0,000	0,590
15:15	120	0	0	20,9	-	1,44	30,1	56	34,6	0,000	0,000	1,179
Furo:	AMG 10											
Cota:	35 Metros											
Local:	S 22°45'0,25" WO 43°15'43,4"											
Horário Inicial:	13:15											
Horário Final:	15:15											
Data:	18/02/2009											
Responsável:	Luiz Carlos Almeida e Carolina Flórez Tarazona											
Observações:	Ensaio sobre lixo hospitalar e feito com PFLI de (GUEDES, 2007).											

ENSAIO DE EMISSÃO DE GASES AM 11

MEDIÇÕES DE CAMPO										DADOS CALCULADOS		
HORA	TEMPO min	CONCENTRAÇÃO				VAZÃO TOTAL ml/min	TEMPERATURA INTERNA °C	UMIDADE RELATIVA %	TEMPERATURA EXTERNA °C	VAZÃO		
		CO ₂	CH ₄	O ₂	H ₂ S					CO ₂	CH ₄	O ₂
		%				ml/min*m ²						
10:10	0	0	0,3	20,6	-	0,16	32,5	54	37	0,000	0,002	0,129
10:15	5	0	0,3	20,5	-	0,07	32,6	60	36,3	0,000	0,001	0,056
10:20	10	0	0,4	20,5	-	0,31	32,6	61	36,4	0,000	0,005	0,249
10:25	15	0	0,4	20,4	-	0,24	32,6	59	36,4	0,000	0,004	0,192
10:30	20	0,4	0,5	20,3	-	0,16	32,7	61	36,3	0,003	0,003	0,127
10:35	25	0,6	0,7	19,8	-	0,17	32,7	61	36,3	0,004	0,005	0,132
10:40	30	0,8	0,7	19,6	-	0,72	32,7	59	37	0,023	0,020	0,553
10:45	35	1	0,9	19,3	-	0,07	32,8	57	38,7	0,003	0,002	0,053
10:50	40	1	0,9	19,1	-	0,35	32,8	58	38	0,014	0,012	0,262
10:55	45	1,6	1,2	18,7	-	0,33	32,9	57	37,9	0,021	0,016	0,242
11:00	50	1,6	1,3	18,6	-	0,42	32,9	56	38,2	0,026	0,021	0,306
11:05	55	1,6	1,2	19	-	0,19	32,9	55	38,3	0,012	0,009	0,141
11:10	60	2	1,7	18	-	0,23	32,9	55	38,2	0,018	0,015	0,162
11:15	65	2	1,7	18	-	0,46	33	54	38,5	0,036	0,031	0,324
11:20	70	2,4	1,9	17,7	-	0,68	33	55	38,5	0,064	0,051	0,472
11:25	75	2,4	1,8	17,9	-	0,46	33,1	55	38,5	0,043	0,032	0,323
11:30	80	2,6	2	17,5	-	0,48	33,1	54	38,5	0,049	0,038	0,329
11:35	85	2,8	2,2	17,2	-	0,36	33,1	54	38,4	0,040	0,031	0,243
11:40	90	2,8	2,1	17,5	-	0,21	33,2	53	38,4	0,023	0,017	0,144
11:45	95	2,8	2,2	17,2	-	0,27	33,3	53	38,6	0,030	0,023	0,182
11:50	100	3	2,3	17,2	-	0,14	33,4	51	39,1	0,016	0,013	0,094
11:55	105	3,2	2,5	16,8	-	0,3	33,5	50	39,5	0,038	0,029	0,198
12:00	110	3,2	2,4	16,7	-	0,21	33,6	49	40	0,026	0,020	0,137
12:05	115	3,8	2,8	16,4	-	0,11	33,7	49	40	0,016	0,012	0,071
12:10	120	4	3	16,1	-	0,54	33,8	48	40,3	0,085	0,063	0,341
Furo:	AM 11											
Cota:	30 Metros											
Local:	S 22°44'45,41" WO 43°15'34,30"											
Horário Inicial:	10:10											
Horário Final:	12:10											
Data:	03/06/2009											
Responsável:	Luiz Carlos Almeida e Carolina Flórez Tarazona											
Observações:	Ensaio feito com PFLI de (GUEDES, 2007). Existem poços para extração de gás próximos ao ponto de ensaio e outros estavam sendo perfurados.											

ENSAIO DE EMISSÃO DE GASES AM 12

HORA	TEMPO min	CONCENTRAÇÃO					VAZÃO TOTAL ml/min	TEMPERATURA INTERNA °C	UMIDADE RELATIVA %	TEMPERATURA EXTERNA °C	DADOS CALCULADOS		
		CO ₂	CH ₄	O ₂	H ₂ S	VAZÃO							
		%									CO ₂	CH ₄	O ₂
12:30	0	3	2,9	17,8	-	0,75				0,088	0,085	0,523	
12:35	5	3,6	3,6	16,9	-	0,71				0,100	0,100	0,470	
12:40	10	4,8	4,7	15,9	-	0,46				0,087	0,085	0,287	
12:45	15	6,6	6,6	14,3	-	0,34				0,088	0,088	0,191	
12:50	20	7,2	7,2	13,8	-	0,44				0,124	0,124	0,238	
12:55	25	8,4	8,2	13	-	0,59				0,194	0,190	0,301	
13:00	30	9,4	9,6	11,9	-	0,12				0,044	0,045	0,056	
13:05	35	10,2	10	11,7	-	0,67				0,268	0,263	0,307	
13:10	40	10,8	10,6	11,1	-	0,67				0,284	0,278	0,291	
13:15	45	12,2	12,4	10,2	-	0,83				0,397	0,403	0,332	
13:20	50	11,8	12,2	10	-	0,63				0,291	0,301	0,247	
13:25	55	13,5	14,4	8,6	-	0,43				0,227	0,243	0,145	
13:30	60	15	15,6	8,1	-	0,51				0,300	0,312	0,162	
13:35	65	15	15,8	7,9	-	0,51				0,300	0,316	0,158	
13:40	70	17	17,5	7,1	-	0,56				0,373	0,384	0,156	
13:45	75	17,5	19	6,5	-	0,67				0,459	0,499	0,171	
13:50	80	18	19,5	6,1	-	0,19				0,134	0,145	0,045	
13:55	85	18,5	20	6	-	0,55				0,399	0,431	0,129	
14:00	90	18	20	5,8	-	0,41				0,289	0,321	0,093	
14:05	95	19,5	21	5,3	-	0,19				0,145	0,156	0,039	
14:10	100	20	22	5	-	0,28				0,219	0,241	0,055	
14:15	105	20,5	22,5	5,1	-	0,31				0,249	0,273	0,062	
14:20	110	21	23,5	4,7	-	0,32				0,263	0,295	0,059	
14:25	115	21,5	24	4,5	-	0,35				0,295	0,329	0,062	
14:30	120	22	24,5	4,5	-	0,36				0,310	0,346	0,063	
Furo:	AM 12												
Cota:	30 Metros												
Local:	S 22°44'45,32" WO 43°15'33,54"												
Horário Inicial:	12:30												
Horário Final:	14:30												
Data:	03/06/2009												
Responsável:	Luiz Carlos Almeida e Carolina Flórez Tarazona												
Observações:	Espessura da camada de solo de cobertura muito delgada, espessura = 5-10 cm. Não foram medidos a temperatura interna, umidade relativa e temperatura externa do ar. Existem poços para extração de gás próximos ao ponto de ensaio e outros estavam sendo perfurados. Ensaio feito com PFLI de (GUEDES, 2007).												

ENSAIO DE EMISSÃO DE GASES AM 13

MEDIÇÕES DE CAMPO										DADOS CALCULADOS		
HORA	TEMPO	CONCENTRAÇÃO				VAZÃO TOTAL	TEMPERATURA INTERNA	UMIDADE RELATIVA	TEMPERATURA EXTERNA	VAZÃO		
		CO ₂	CH ₄	O ₂	H ₂ S					CO ₂	CH ₄	O ₂
	min	%				ml/min	°C	%	°C	ml/min*m ²		
10:30	0	0	0,5	20,9	-	0,14	23,9	52	26,3	0,000	0,003	0,115
10:35	5	1,2	2,1	19,3	-	0,07	24	52	26,3	0,003	0,006	0,053
10:40	10	1,6	2,7	19,5	-	0,07	24	52	26,3	0,004	0,007	0,053
10:45	15	2,4	3,9	18,1	-	0,08	24	52	26,5	0,008	0,012	0,057
10:50	20	3,2	4,8	17,8	-	0,1	24	53	26,7	0,013	0,019	0,070
10:55	25	3,8	5,3	17,5	-	0,12	24,2	52	26,9	0,018	0,025	0,082
11:00	30	4,2	5,7	17,4	-	0,12	24,4	49	27,1	0,020	0,027	0,082
11:05	35	4,6	6,3	17,2	-	0,17	24,3	51	27,1	0,031	0,042	0,115
11:10	40	5,4	7	16,3	-	0,19	22,6	51	27	0,040	0,052	0,121
11:15	45	6,2	8	15,6	-	0,16	22,6	50	27	0,039	0,050	0,098
11:20	50	6,2	8	16,3	-	0,04	22,7	50	27	0,010	0,013	0,026
11:25	55	7,2	9	15,7	-	0,14	22,7	47	27,2	0,040	0,049	0,086
11:30	60	7	8,8	15,4	-	0,04	22,7	48	27,1	0,011	0,014	0,024
11:35	65	8,2	10	14,8	-	0,15	22,7	47	27,5	0,048	0,059	0,087
11:40	70	8,2	9,6	15,3	-	0,08	22,7	47	27,4	0,026	0,030	0,048
11:45	75	7,6	9,2	15,4	-	0,24	22,7	46	27,7	0,071	0,087	0,145
11:50	80	6,6	8	16,2	-	0,07	22,7	44	27,7	0,018	0,022	0,044
11:55	85	8,8	11	13,3	-	0,14	22,8	45	27,8	0,048	0,060	0,073
12:00	90	8,8	10,4	14,6	-	0,21	22,8	45	28,2	0,072	0,086	0,120
12:05	95	8,6	10,2	14,8	-	0,1	22,8	44	28,4	0,034	0,040	0,058
12:10	100	8,4	10	14,9	-	0,1	22,8	43	28,5	0,033	0,039	0,058
12:15	105	9	10,4	14,8	-	0,07	22,8	44	28,5	0,025	0,029	0,041
12:20	110	10	11,4	14	-	0,25	22,8	42	28,5	0,098	0,112	0,137
12:25	115	9,8	11	14,6	-	0,07	22,9	42	28,5	0,027	0,030	0,040

12:30	120	10,6	11,8	13,9	-	0,07	22,9	41	28,6	0,038	0,042	0,050
12:35	125	11,2	12,4	13,6	-	0,18	22,9	42	28,7	0,103	0,114	0,125
12:40	130	11,6	13	12,5	-	0,32	23,8	40	28,8	0,189	0,212	0,204
12:45	135	12	13,2	13,3	-	0,11	23,9	40	28,9	0,067	0,074	0,075
12:50	140	12,4	13,6	13	-	0,27	24	39	29	0,171	0,187	0,179
12:55	145	14	15	11,9	-	0,45	23,9	40	28,7	0,321	0,344	0,273
13:00	150	14	15	12,1	-	0,45	23,9	39	28,8	0,321	0,344	0,277
13:05	155	14	15,2	12,4	-	0,35	23,9	40	29	0,250	0,271	0,221
13:10	160	13,5	14,8	12,4	-	0,35	23,8	39	29,1	0,241	0,264	0,221
13:15	165	13,5	14,4	12,6	-	0,15	23,7	39	27,5	0,103	0,110	0,096
13:20	170	6	7,4	15,3	-	0	23,6	42	26,6	0,000	0,000	0,000
13:25	175	0,6	1	18,3	-	0	23	41	26,7	0,000	0,000	0,000
13:30	180	3,2	7,6	13,4	-	0	23	43	26,8	0,000	0,000	0,000
13:35	185	15	16,2	11,9	-	0,04	23	43	27,4	0,031	0,033	0,024
13:40	190	14,5	15,4	12,1	-	0	23	43	27,1	0,000	0,000	0,000
13:45	195	15,5	16,6	12	-	0	23	44	26,8	0,000	0,000	0,000
13:50	200	16	17	11,7	-	0	23	45	26,8	0,000	0,000	0,000
13:55	205	14,5	15,6	12,4	-	0	23	45	27,5	0,000	0,000	0,000
14:00	210	14,5	16,2	12,1	-	0	23,1	43	27,5	0,000	0,000	0,000
14:05	215	15,5	17	12,2	-	0	23,1	44	27,4	0,000	0,000	0,000
14:10	220	15	16,6	12,4	-	0	23,2	45	27,5	0,000	0,000	0,000
Furo:	AM 13											
Cota:	50 Metros											
Local:	S 22°44'50,2" WO 43°15'38,8"											
Horário Inicial:	10:30											
Horário Final:	13:40											
Data:	13/08/2009											
Responsável:	Luiz Carlos Almeida e Carolina Flórez Tarazona											
Observações:	Espessura da camada de solo de cobertura muito delgada, espessura = 4 cm. Existência de poços de gás próximos ao ponto. Ensaio feito com PFLI melhorada.											

ENSAIO DE EMISSÃO DE GASES AM 14

MEDIÇÕES DE CAMPO										DADOS CALCULADOS		
HORA	TEMPO	CONCENTRAÇÃO				VAZÃO TOTAL	TEMPERATURA INTERNA	UMIDADE RELATIVA	TEMPERATURA EXTERNA	VAZÃO		
		CO ₂	CH ₄	O ₂	H ₂ S					CO ₂	CH ₄	O ₂
	min	%				ml/min	°C	%	°C	ml/min*m ²		
10:30	0	0	0,3	20,9	-	0,1	21,9	68	24,9	0,000	0,001	0,082
10:35	5	0	0,3	20,9	-	0,4	22,3	68	24,2	0,000	0,005	0,328
10:40	10	0	0,3	20,9	-	0,95	22,9	68	23,9	0,000	0,011	0,778
10:45	15	0,4	0,3	20,9	-	0,5	23,1	67	24,2	0,008	0,006	0,410
10:50	20	0,6	0,4	20,6	-	0,33	23,2	65	24,3	0,008	0,005	0,266
10:55	25	0,6	0,4	20,5	-	0,2	23,1	68	24,2	0,005	0,003	0,161
11:00	30	0,6	0,4	20,5	-	0,46	23,1	67	24	0,011	0,007	0,370
11:05	35	0,6	0,5	20,3	-	1,27	23,1	69	24,2	0,030	0,025	1,010
11:10	40	0,8	0,6	20,2	-	0,41	23,1	64	24,4	0,013	0,010	0,325
11:15	45	0,8	0,5	20,1	-	1,09	22,9	63	25,2	0,034	0,021	0,859
11:20	50	1	0,7	19,9	-	1,05	22,8	68	25,2	0,041	0,029	0,819
11:25	55	1	0,6	20	-	0,67	22,7	68	24,8	0,026	0,016	0,525
11:30	60	1	0,7	20	-	0,35	23,1	67	24,8	0,014	0,010	0,274
11:35	65	1	0,7	19,9	-	2,6	23,6	66	24,9	0,102	0,071	2,028
11:40	70	1	0,7	20	-	3,35	23,5	66	25	0,131	0,092	2,626
11:45	75	1	0,6	20	-	3,99	23,3	64	25,1	0,156	0,094	3,127
11:50	80	1	0,6	20	-	1,12	23,9	56	27,1	0,044	0,026	0,878
11:55	85	0,8	0,6	20,1	-	0,71	23,8	59	26,2	0,022	0,017	0,559
12:00	90	0,8	0,6	20,1	-	0,6	23,7	63	26,2	0,019	0,014	0,473
12:05	95	0,8	0,5	20,3	-	1,75	23,7	62	26,2	0,055	0,034	1,392
12:10	100	0,6	0,5	20,5	-	3,97	23,7	62	26,3	0,093	0,078	3,189
12:15	105	0	0,3	20,9	-	3,15	23,7	60	26,3	0,000	0,037	2,580
12:20	110	0	0,3	20,9	-	3,4	23,9	61	26	0,000	0,040	2,785
12:25	115	0	0,2	20,9	-	3,6	23,9	59	26	0,000	0,028	2,949

12:30	120	0	0,2	20,9	-	4,19	23,9	58	26,1	0,000	0,043	4,460
12:35	125	0	0,2	20,9	-	2,19	23,6	60	25,8	0,000	0,022	2,331
12:40	130	0	0,2	20,9	-	3,89	23,4	60	25,6	0,000	0,040	4,141
12:45	135	0	0,2	20,9	-	3,62	23	60	25,6	0,000	0,037	3,853
12:50	140	0	0,2	20,9	-	1,06	22,6	57	25,8	0,000	0,011	1,128
12:55	145	0	0,2	20,9	-	0,78	22,8	57	26,1	0,000	0,008	0,830
13:00	150	0	0,2	20,9	-	1,75	22,8	52	26,6	0,000	0,018	1,863
13:05	155	0	0,2	20,9	-	1,6	23,1	49	27,5	0,000	0,016	1,703
13:10	160	0	0,2	20,9	-	1,03	23	50	27,1	0,000	0,010	1,096
13:15	165	0	0,2	20,9	-	1,61	22,7	51	27	0,000	0,016	1,714
13:20	170	0	0,2	20,9	-	1,55	24	50	27	0,000	0,016	1,650
13:25	175	0	0,1	20,9	-	1,95	24	53	26,7	0,000	0,010	2,076
13:30	180	0	0	20,9	-	1,05	23,9	50	26,7	0,000	0,000	1,118
13:35	185	0	0	20,9	-	1,9	23,9	53	26,7	0,000	0,000	2,022
13:40	190	0	0,1	20,9	-	1,57	23,9	52	27,1	0,000	0,008	1,671
Furo:	AM 14											
Cota:	50 Metros											
Local:	S 22°44'48,4" WO 43°15'36,9"											
Horário Inicial:	10:30											
Horário Final:	13:40											
Data:	14/08/2009											
Responsável:	Luiz Carlos Almeida e Carolina Flórez Tarazona											
Observações:	Existência de poços de gás próximos ao ponto. Estava em execução a extração de gás do aterro. Ensaio feito com a PFLI melhorada.											

ENSAIO DE EMISSÃO DE GASES AM 15

MEDIÇÕES DE CAMPO											DADOS CALCULADOS		
HORA	TEMPO min	CONCENTRAÇÃO				VAZÃO TOTAL ml/min	TEMPERATURA INTERNA °C	UMIDADE RELATIVA %	TEMPERATURA EXTERNA °C	VAZÃO			
		CO ₂	CH ₄	O ₂	H ₂ S					CO ₂	CH ₄	O ₂	
		%								ml/min*m ²			
11:25	0	0,8	1,1	20	-	0,08	27,2	39	32,8	0,003	0,004	0,081	
11:30	5	1	1,3	19,9	-	0,41	27,1	44	32,2	0,021	0,027	0,416	
11:35	10	1,4	1,9	19,5	-	0,13	27,1	42	32,8	0,009	0,013	0,129	
11:40	15	1	1,4	20	-	0,32	26,9	39	33,1	0,016	0,023	0,326	
11:45	20	1,2	1,9	19,4	-	0,71	26,9	39	33,1	0,043	0,069	0,702	
11:50	25	1,2	1,7	19,7	-	0,69	26,8	39	33,1	0,042	0,060	0,692	
11:55	30	1	1,4	20	-	1,25	26,7	40	33,1	0,064	0,089	1,273	
12:00	35	1	1,3	20,1	-	1,4	26,6	39	32,9	0,071	0,093	1,433	
12:05	40	0,8	1,1	20,3	-	2,8	26,6	40	32,5	0,114	0,157	2,895	
12:10	45	0,6	0,9	20,5	-	1,06	26,5	40	32,3	0,032	0,049	1,107	
12:15	50	0,6	0,9	20,4	-	1,53	26,3	40	32,6	0,047	0,070	1,590	
12:20	55	0,6	1	20,4	-	1,34	26,2	39	32,4	0,041	0,068	1,392	
12:25	60	0,6	0,9	20,4	-	0,96	26,1	41	32	0,029	0,044	0,997	
12:30	65	0,6	0,9	20,4	-	0,62	26	40	32,2	0,019	0,028	0,644	
12:35	70	0,6	0,9	20,5	-	0,48	25,9	39	32,6	0,015	0,022	0,501	
12:40	75	0,6	0,9	20,5	-	1,69	25,7	49	32,6	0,052	0,077	1,764	
12:45	80	0,6	0,8	20,5	-	1,72	25,4	52	32,4	0,053	0,070	1,796	
12:50	85	0,6	0,9	20,3	-	1,94	25,1	53	32,4	0,059	0,089	2,006	
12:55	90	0,6	0,9	20,2	-	0,14	24,8	51	32,2	0,004	0,006	0,144	
13:00	95	0,8	1	20,2	-	0,18	24,6	49	32,1	0,007	0,009	0,185	
13:05	100	0,8	1,1	20,1	-	0,14	24,4	53	30,9	0,006	0,008	0,143	
13:10	105	0,6	0,9	20,3	-	0,35	23,7	53	30,5	0,011	0,016	0,362	
13:15	110	0,1	0,7	20,5	-	0,54	22,9	51	31,1	0,003	0,019	0,564	
13:20	115	0	0,6	20,6	-	0,41	21,8	50	31,6	0,000	0,013	0,430	
13:25	120	0,6	0,9	20,1	-	0,83	21,5	49	30,9	0,025	0,038	0,850	
13:30	125	0,8	1,2	19,9	-	1	21,2	50	30,9	0,041	0,061	1,013	
13:35	130	1	1,1	20,3	-	1,57	21,7	48	31,7	0,080	0,088	1,623	
13:40	135	0,6	0,8	20,6	-	1,07	22,4	47	31,4	0,033	0,044	1,123	
13:45	140	0,6	0,8	20,6	-	0,87	22,9	49	31,8	0,027	0,035	0,913	
13:50	145	0,4	0,7	20,6	-	0,13	23,4	49	32	0,003	0,005	0,136	
13:55	150	0,4	0,7	20,9	-	1,76	23,6	49	31,6	0,036	0,063	1,873	
14:00	155	0	0,4	20,9	-	4,22	22,9	51	30,4	0,000	0,086	4,492	
14:05	160	0	0,3	20,9	-	7,46	20,2	55	30,2	0,000	0,114	7,941	
Furo:	AM 15												
Cota:	50 Metros												
Local:	S 22°44'57,4" WO 43°15'28,2"												
Horário Inicial:	11:25												
Horário Final:	14:05												
Data:	18/08/2009												
Responsável:	Luiz Carlos Almeida e Carolina Flórez Tarazona												
Observações:	Solo com muitas trincas, estava fazendo muito vento. Existência de poços de gás próximos ao ponto. Ensaio feito com a PFLI melhorada.												

ANEXO B: Cálculo da emissão de gases a partir dos ensaios de campo



CÁLCULO DA EMISSÃO DE GASES (GUEDES, 2007)			
Inserir os dados nas células em laranja			
Dados do Equipamento			
Diâmetro da Placa	D=	0,570	m
Área da Placa:	A=	0,255	m ²
Dados Coletados em Campo			
Concentração Estabilizada de CH ₄	C _{CH4} =	61,000	%
Fluxo estabilizado de CH ₄	Q _{CH4} =	12,600	ml/min.m ²
Concentração Estabilizada de CO ₂	C _{CO2} =	38,000	%
Fluxo estabilizado de CO ₂	Q _{CO2} =	7,700	ml/min.m ²
Concentração Estabilizada de O ₂	C _{O2} =	0,100	%
Fluxo estabilizado de O ₂	Q _{O2} =	0,100	ml/min.m ²
Área do Aterro		1.300.000	m ²

CÁLCULO DA ESTIMATIVA DE EMISSOES			
Gás Metano (CH ₄)			
Emissão de CH ₄ (ml/min.m ²) → Q _{CH4} = (Q/A)*C _{CH4} =		12,60	ml/min.m ²
Emissão de CH ₄ (l/min.m ²) → Q _{CH4} (ml/min.m ²)/1000(ml/l) =		0,0126	l/min.m ²
Emissão de CH ₄ (l/dia.m ²) → Q _{CH4} (l/min.m ²)*60*24 (min/dia) =		18,14	l/dia.m ²
Emissão de CH ₄ (t/dia) → 1 mol = 22,4 l = 16g/mol (CH ₄)			
Q _{CH4} (g/dia.m ²) → [Q _{CH4} (l/dia.m ²) * 16 (g/mol)] / 22,4 (mol/l) =		12,96	g/dia.m ²
Q _{CH4} (kg/dia.m ²) → Q _{CH4} (g/dia.m ²) / 1000(g/kg) =		0,013	kg/dia.m ²
TOTALIS			
Total CH ₄ (kg/dia.m ²)		0,013	kg/dia.m ²
Total CH ₄ do aterro (kg/dia) → Total CH ₄ (kg/dia.m ²)*Área do aterro (m ²)		16.848,00	kg/dia
Total CH ₄ do aterro (t/ano)		6.149,52	t/ano
Total CH ₄ do aterro (m ³ /ano)		8.576.736,40	m ³ /ano
Gás Carbônico (CO ₂)			
Emissão de CO ₂ (ml/min.m ²) → Q _{CO2} = (Q/A)*C _{CO2} =		7,70	ml/min.m ²
Emissão de CO ₂ (l/min.m ²) → Q _{CO2} (ml/min.m ²)/1000(ml/l) =		0,0077	l/min.m ²
Emissão de CO ₂ (l/dia.m ²) → Q _{CO2} (l/min.m ²)*60*24 (min/dia) =		11,09	l/dia.m ²
Emissão de CO ₂ (t/dia) → 1 mol = 22,4 l = 44g/mol (CO ₂)			
Q _{CO2} (g/dia.m ²) → [Q _{CO2} (l/dia.m ²) * 46 (g/mol)] / 22,4 (mol/l) =		21,78	g/dia.m ²
Q _{CO2} (kg/dia.m ²) → Q _{CO2} (g/dia.m ²) / 1000(g/kg) =		0,022	kg/dia.m ²
TOTALIS			
Total CO ₂ (kg/dia.m ²)		0,022	kg/dia.m ²
Total CO ₂ do aterro (kg/dia) → Total CO ₂ (kg/dia.m ²)*Área do aterro (m ²)		28.314,00	kg/dia
Total CO ₂ do aterro (t/ano)		10.334,61	t/ano
Total CO ₂ do aterro (m ³ /ano)		6.459.131,25	m ³ /ano
Gás Oxigênio (O ₂)			
Emissão de O ₂ (ml/min.m ²) → Q _{O2} = (Q/A)*C _{CO2} =		0,10	ml/min.m ²
Emissão de O ₂ (l/min.m ²) → Q _{O2} (ml/min.m ²) / 1000(ml/l) =		0,0001	l/min.m ²
Emissão de O ₂ (l/dia.m ²) → Q _{O2} (l/min.m ²)*60*24 min/dia =		0,14	l/dia.m ²
Emissão de O ₂ (t/dia) → 1 mol = 22,4 l = 32g/mol (O ₂)			
Q _{O2} (g/dia.m ²) → [Q _{O2} (l/dia.m ²) * 32 (g/mol)] / 22,4 (mol/l)		0,21	g/dia.m ²
Q _{O2} (kg/dia.m ²) → Q _{O2} (g/dia.m ²) / 1000(g/kg) =		0,00021	kg/dia.m ²
TOTALIS			
Total O ₂ (kg/dia.m ²)		0,00021	kg/dia.m ²
Total O ₂ do aterro (kg/dia) → Total O ₂ (kg/dia.m ²)*Área do aterro (m ²)		97,61143	t/ano
Total O ₂ do aterro (m ³ /ano)		68.307,51	m ³ /ano

ANEXO C: Composição gravimétrica dos resíduos sólidos domiciliares

ANO	COMPONENTES (%)														TOTAL (%)
	PAPEL/ PAPELÃO	PLÁSTICO	VIDRO	MAT.ORG. PUTRESC.	METAL	INERTE	FOLHA	MADEIRA	BORRACHA/ COURO	PANO/ TRAPO	OSSO	COCO	VELA/ PARAFINA	ELETRO/ ELETRÔNICO	
1979	44,00	5,64	3,70	33,50	3,95	0,90	3,90	0,90	0,34	3,05	0,12				100,00
1980	42,82	6,00	3,90	34,50	3,90	0,91	3,50	1,00	0,35	3,00	0,12				100,00
1981	41,72	6,56	3,70	34,96	3,88	0,90	3,64	1,09	0,36	3,05	0,14				100,00
1982	41,20	7,00	3,50	34,19	3,80	0,95	4,40	1,10	0,44	3,30	0,12				100,00
1983	40,70	8,00	3,20	33,70	3,75	0,98	4,56	1,15	0,51	3,35	0,10				100,00
1984	39,70	8,50	2,90	33,00	3,70	1,00	5,90	1,22	0,62	3,35	0,11				100,00
1985	39,50	9,00	2,80	32,70	3,65	1,02	5,83	1,25	0,65	3,50	0,10				100,00
1986	38,54	9,63	2,84	32,79	3,63	1,08	5,82	1,33	0,71	3,63	0,00				100,00
1987	36,55	10,50	2,80	35,00	3,60	1,10	5,00	1,20	0,75	3,30	0,20				100,00
1988	34,20	11,50	2,80	38,00	3,55	1,20	3,50	1,10	0,75	3,00	0,40				100,00
1989	31,54	12,55	2,83	40,98	3,50	1,26	2,51	0,91	0,92	2,40	0,60				100,00
1990	29,50	12,70	2,65	44,00	3,35	1,00	2,30	0,75	0,82	2,50	0,43				100,00
1991	27,11	12,71	2,19	48,56	3,24	0,61	1,54	0,41	0,70	2,66	0,27	-	-	-	100,00
1992	26,50	14,00	2,50	44,05	3,30	0,80	3,50	0,70	0,80	3,50	0,35				100,00
1993	23,95	15,27	3,03	40,60	3,52	1,07	5,49	1,17	0,95	4,53	0,42	-	-	-	100,00
1994	24,00	15,20	2,80	42,30	3,50	0,80	5,20	1,00	0,80	4,00	0,40				100,00
1995	24,05	15,07	2,62	45,43	3,49	0,44	4,81	0,96	0,43	2,43	0,27	-	-	-	100,00
1996	22,26	15,09	3,63	48,80	3,09	0,97	2,46	0,53	0,34	2,50	0,33	-	-	-	100,00
1997	21,08	16,11	3,22	49,09	2,82	1,53	3,04	0,76	0,51	1,71	0,13	-	-	-	100,00
1998	22,21	16,78	3,68	48,50	2,75	0,89	1,97	0,68	0,54	1,92	0,08	-	-	-	100,00
1999	21,85	19,90	3,48	50,05	2,16	0,63	0,72	0,18	0,21	0,79	0,03	-	-	-	100,00
2000	19,77	17,61	3,22	51,27	2,66	0,94	1,91	0,44	0,48	1,61	0,09	-	-	-	100,00
2001	18,71	19,77	3,52	51,65	1,96	0,72	1,50	0,44	0,39	1,28	0,06	-	-	-	100,00
2002	18,78	17,61	2,74	55,96	1,97	0,35	0,60	0,38	0,33	1,21	0,07	-	-	-	100,00
2003	16,06	19,17	2,99	53,04	1,92	1,46	2,34	0,66	0,52	1,83	0,01	-	-	-	100,00
2004	12,48	15,44	3,23	59,73	1,70	1,37	2,12	0,66	0,49	1,51	0,00	1,26	0,01	-	100,00
2005	13,51	15,34	3,24	60,74	1,65	0,86	1,06	0,34	0,46	1,58	0,04	1,17	0,01	-	100,00
2006	14,83	14,69	2,71	61,35	1,61	0,75	1,30	0,33	0,39	1,61	0,02	0,40	0,01	-	100,00
2007	14,56	17,15	2,96	58,23	1,59	0,74	1,75	0,36	0,44	1,67	0,00	0,55	0,00	-	100,00
2008	15,96	18,58	2,79	56,21	1,51	1,01	1,09	0,32	0,43	1,60	0,00	0,47	0,03	-	100,00
2009	16,08	20,31	2,84	53,63	1,74	1,09	1,26	0,34	0,41	1,75	0,01	0,40	0,01	0,13	100,00

ANEXO D: Aplicação das metodologias do Banco Mundial, EPA e IPCC.

METODOLOGIA BANCO MUNDIAL

ANO	k	L ₀	m _i	t	Q _{CH4}	
	ano ⁻¹	m ³ /t	t/ano	ano	m ³ /ano	t/ano
1979	0,06	170	845.389	0	8.622.966,37	6.182,67
1980	0,06	170	848.784	0	8.657.600,66	6.207,50
1981	0,06	170	852.304	0	8.693.498,88	6.233,24
1982	0,06	170	852.107	0	8.691.495,36	6.231,80
1983	0,06	170	850.108	0	8.671.099,16	6.217,18
1984	0,06	170	853.781	0	8.708.570,31	6.244,04
1985	0,06	170	851.617	0	8.686.493,52	6.228,22
1986	0,06	170	851.472	0	8.685.014,32	6.227,16
1987	0,06	170	860.474	0	8.776.830,20	6.292,99
1988	0,06	170	870.056	0	8.874.574,99	6.363,07
1989	0,06	170	1.103.047	0	11.251.079,62	8.067,02
1990	0,06	170	1.121.923	0	11.443.613,50	8.205,07
1991	0,06	170	1.147.970	0	11.709.288,91	8.395,56
1992	0,06	170	1.130.344	0	11.529.511,35	8.266,66
1993	0,06	170	1.120.318	0	11.427.243,84	8.193,33
1994	0,06	170	1.130.344	0	11.529.511,35	8.266,66
1995	0,06	170	1.661.046	0	16.942.664,49	12.147,89
1996	0,06	170	1.733.022	0	17.676.822,12	12.674,28
1997	0,06	170	1.851.788	0	18.888.242,30	13.542,87
1998	0,06	170	1.830.070	0	18.666.711,39	13.384,03
1999	0,06	170	1.869.229	0	19.066.132,10	13.670,42
2000	0,06	170	1.775.813	0	18.113.297,07	12.987,23
2001	0,06	170	1.775.388	0	18.108.956,09	12.984,12
2002	0,06	170	1.860.289	0	18.974.949,29	13.605,04
2003	0,06	170	1.798.123	0	18.340.852,37	13.150,39
2004	0,06	170	1.925.711	0	19.642.248,09	14.083,49
2005	0,06	170	1.928.321	0	19.668.871,53	14.102,58
2006	0,06	170	2.042.021	0	20.828.614,12	14.934,12
2007	0,06	170	2.160.894	0	22.041.119,13	15.803,48
2008	0,06	170	2.234.859	0	22.795.566,53	16.344,42
2009	0,06	170	2.307.491	0	23.536.408,30	16.875,60

METODOLOGIA EPA

Emissões não controladas de gases							
ANO	Lo	R	k	c	t	Q_{CH4}	
	m³/t	t/ano	ano⁻¹		ano	m³/ano	t/ano
1979	100	845.389	0,04	0	1	3.314.817,13	2.376,72
1980	100	848.784	0,04	0	2	6.525.764,42	4.678,97
1981	100	852.304	0,04	0	3	9.637.814,28	6.910,31
1982	100	852.107	0,04	0	4	12.598.936,98	9.033,44
1983	100	850.108	0,04	0	5	15.409.839,36	11.048,85
1984	100	853.781	0,04	0	6	18.217.316,42	13.061,82
1985	100	851.617	0,04	0	7	20.797.872,04	14.912,07
1986	100	851.472	0,04	0	8	23.317.642,50	16.718,75
1987	100	860.474	0,04	0	9	26.014.152,46	18.652,15
1988	100	870.056	0,04	0	10	28.684.014,44	20.566,44
1989	100	1.103.047	0,04	0	11	39.264.456,55	28.152,62
1990	100	1.121.923	0,04	0	12	42.769.563,96	30.665,78
1991	100	1.147.970	0,04	0	13	46.547.804,41	33.374,78
1992	100	1.130.344	0,04	0	14	48.468.136,90	34.751,65
1993	100	1.120.318	0,04	0	15	50.547.445,59	36.242,52
1994	100	1.130.344	0,04	0	16	53.432.229,02	38.310,91
1995	100	1.661.046	0,04	0	17	81.953.164,33	58.760,42
1996	100	1.733.022	0,04	0	18	88.946.951,74	63.774,96
1997	100	1.851.788	0,04	0	19	98.576.916,77	70.679,65
1998	100	1.830.070	0,04	0	20	100.776.640,19	72.256,85
1999	100	1.869.229	0,04	0	21	106.226.296,41	76.164,25
2000	100	1.775.813	0,04	0	22	103.923.636,99	74.513,25
2001	100	1.775.388	0,04	0	23	106.786.198,78	76.565,70
2002	100	1.860.289	0,04	0	24	114.799.766,64	82.311,43
2003	100	1.798.123	0,04	0	25	113.663.037,76	81.496,40
2004	100	1.925.711	0,04	0	26	124.505.917,06	89.270,74
2005	100	1.928.321	0,04	0	27	127.347.164,35	91.307,92
2006	100	2.042.021	0,04	0	28	137.575.080,24	98.641,33
2007	100	2.160.894	0,04	0	29	148.348.361,52	106.365,78
2008	100	2.234.859	0,04	0	30	156.173.272,87	111.976,24
2009	100	2.307.491	0,04	0	31	163.973.952,86	117.569,32

METODOLOGIA IPCC

ANO: 1979						Q _{CH4}	
ANO	k	R _x	L ₀	T	x	Q _{CH4}	
	ano ⁻¹	t/ano	m ³ /t	ano	ano	m ³ /ano	t/ano
1979	0,04	845.388,86	100	1	1	3.381.555,44	2.424,58
						3.381.555,44	2.424,58

ANO: 1980						Q _{CH4}	
ANO	k	R _x	L ₀	T	x	Q _{CH4}	
	ano ⁻¹	t/ano	m ³ /t	ano	ano	m ³ /ano	t/ano
1979	0,04	845.388,86	100	2	1	3.248.962,75	2.329,51
1980	0,04	848.784,38	100	2	2	3.395.137,52	2.434,31
						6.644.100,27	4.763,82

ANO: 1981						Q _{CH4}	
ANO	k	R _x	L ₀	T	x	Q _{CH4}	
	ano ⁻¹	t/ano	m ³ /t	ano	ano	m ³ /ano	t/ano
1979	0,04	845.388,86	100	3	1	3.121.569,10	2.238,17
1980	0,04	848.784,38	100	3	2	3.262.012,27	2.338,86
1981	0,04	852.303,81	100	3	3	3.409.215,25	2.444,41
						9.792.796,62	7.021,44

ANO: 1982						Q _{CH4}	
ANO	k	R _x	L ₀	T	x	Q _{CH4}	
	ano ⁻¹	t/ano	m ³ /t	ano	ano	m ³ /ano	t/ano
1979	0,04	845.388,86	100	4	1	2.999.170,63	2.150,41
1980	0,04	848.784,38	100	4	2	3.134.106,94	2.247,15
1981	0,04	852.303,81	100	4	3	3.275.538,00	2.348,56
1982	0,04	852.107,39	100	4	4	3.408.429,55	2.443,84
						12.817.245,12	9.189,96

ANO: 1983						Q _{CH4}	
ANO	k	R _x	L ₀	T	x	Q _{CH4}	
	ano ⁻¹	t/ano	m ³ /t	ano	ano	m ³ /ano	t/ano
1979	0,04	845.388,86	100	5	1	2.881.571,46	2.066,09
1980	0,04	848.784,38	100	5	2	3.011.216,85	2.159,04
1981	0,04	852.303,81	100	5	3	3.147.102,32	2.256,47
1982	0,04	852.107,39	100	5	4	3.274.783,12	2.348,02
1983	0,04	850.107,76	100	5	5	3.400.431,04	2.438,11
						15.715.104,80	11.267,73

ANO: 1984						Q _{CH4}	
ANO	k	R _x	L ₀	T	x	Q _{CH4}	
	ano ⁻¹	t/ano	m ³ /t	ano	ano	m ³ /ano	t/ano
1979	0,04	845.388,86	100	6	1	2.768.583,43	1.985,07
1980	0,04	848.784,38	100	6	2	2.893.145,35	2.074,39
1981	0,04	852.303,81	100	6	3	3.023.702,68	2.167,99
1982	0,04	852.107,39	100	6	4	3.146.377,04	2.255,95
1983	0,04	850.107,76	100	6	5	3.267.098,23	2.342,51
1984	0,04	853.781,40	100	6	6	3.415.125,61	2.448,65
						18.514.032,33	13.274,56

ANO: 1985							
ANO	k	R _x	L _o	T	x	Q _{CH4}	
	ano ⁻¹	t/ano	m ³ /t	ano	ano	m ³ /ano	t/ano
1979	0,04	845.388,86	100	7	1	2.660.025,72	1.907,24
1980	0,04	848.784,38	100	7	2	2.779.703,49	1.993,05
1981	0,04	852.303,81	100	7	3	2.905.141,60	2.082,99
1982	0,04	852.107,39	100	7	4	3.023.005,83	2.167,50
1983	0,04	850.107,76	100	7	5	3.138.993,48	2.250,66
1984	0,04	853.781,40	100	7	6	3.281.216,62	2.352,63
1985	0,04	851.617,01	100	7	7	3.406.468,05	2.442,44
						21.194.554,79	15.196,50

ANO: 1986							
ANO	k	R _x	L _o	T	x	Q _{CH4}	
	ano ⁻¹	t/ano	m ³ /t	ano	ano	m ³ /ano	t/ano
1979	0,04	845.388,86	100	8	1	2.555.724,62	1.832,45
1980	0,04	848.784,38	100	8	2	2.670.709,76	1.914,90
1981	0,04	852.303,81	100	8	3	2.791.229,37	2.001,31
1982	0,04	852.107,39	100	8	4	2.904.472,07	2.082,51
1983	0,04	850.107,76	100	8	5	3.015.911,79	2.162,41
1984	0,04	853.781,40	100	8	6	3.152.558,28	2.260,38
1985	0,04	851.617,01	100	8	7	3.272.898,53	2.346,67
1986	0,04	851.471,99	100	8	8	3.405.887,97	2.442,02
						23.769.392,38	17.042,65

ANO: 1987							
ANO	k	R _x	L _o	T	x	Q _{CH4}	
	ano ⁻¹	t/ano	m ³ /t	ano	ano	m ³ /ano	t/ano
1979	0,04	845.388,86	100	9	1	2.455.513,22	1.760,60
1980	0,04	848.784,38	100	9	2	2.565.989,73	1.839,81
1981	0,04	852.303,81	100	9	3	2.681.783,70	1.922,84
1982	0,04	852.107,39	100	9	4	2.790.586,10	2.000,85
1983	0,04	850.107,76	100	9	5	2.897.656,19	2.077,62
1984	0,04	853.781,40	100	9	6	3.028.944,70	2.171,75
1985	0,04	851.617,01	100	9	7	3.144.566,34	2.254,65
1986	0,04	851.471,99	100	9	8	3.272.341,19	2.346,27
1987	0,04	860.473,55	100	9	9	3.441.894,20	2.467,84
						26.279.275,37	18.842,24

ANO: 1988							
ANO	k	R _x	L _o	T	x	Q _{CH4}	
	ano ⁻¹	t/ano	m ³ /t	ano	ano	m ³ /ano	t/ano
1979	0,04	845.388,86	100	10	1	2.359.231,17	1.691,57
1980	0,04	848.784,38	100	10	2	2.465.375,84	1.767,67
1981	0,04	852.303,81	100	10	3	2.576.629,45	1.847,44
1982	0,04	852.107,39	100	10	4	2.681.165,65	1.922,40
1983	0,04	850.107,76	100	10	5	2.784.037,47	1.996,15
1984	0,04	853.781,40	100	10	6	2.910.178,08	2.086,60
1985	0,04	851.617,01	100	10	7	3.021.266,13	2.166,25
1986	0,04	851.471,99	100	10	8	3.144.030,86	2.254,27
1987	0,04	860.473,55	100	10	9	3.306.935,59	2.371,07
1988	0,04	870.056,37	100	10	10	3.480.225,48	2.495,32
						28.729.075,73	20.598,75

ANO: 1989							
ANO	k	R _x	L _o	T	x	Q _{CH4}	
	ano ⁻¹	t/ano	m ³ /t	ano	ano	m ³ /ano	t/ano
1979	0,04	845.388,86	100	11	1	2.266.724,40	1.625,24
1980	0,04	848.784,38	100	11	2	2.368.707,07	1.698,36
1981	0,04	852.303,81	100	11	3	2.475.598,37	1.775,00
1982	0,04	852.107,39	100	11	4	2.576.035,64	1.847,02
1983	0,04	850.107,76	100	11	5	2.674.873,80	1.917,88
1984	0,04	853.781,40	100	11	6	2.796.068,36	2.004,78
1985	0,04	851.617,01	100	11	7	2.902.800,59	2.081,31
1986	0,04	851.471,99	100	11	8	3.020.751,65	2.165,88
1987	0,04	860.473,55	100	11	9	3.177.268,79	2.278,10
1988	0,04	870.056,37	100	11	10	3.343.763,89	2.397,48
1989	0,04	1.103.047,02	100	11	11	4.412.188,09	3.163,54
						32.014.780,64	22.954,60

ANO: 1990							
ANO	k	R _x	L _o	T	x	Q _{CH4}	
	ano ⁻¹	t/ano	m ³ /t	ano	ano	m ³ /ano	t/ano
1979	0,04	845.388,86	100	12	1	2.177.844,86	1.561,51
1980	0,04	848.784,38	100	12	2	2.275.828,74	1.631,77
1981	0,04	852.303,81	100	12	3	2.378.528,77	1.705,41
1982	0,04	852.107,39	100	12	4	2.475.027,84	1.774,59
1983	0,04	850.107,76	100	12	5	2.569.990,50	1.842,68
1984	0,04	853.781,40	100	12	6	2.686.432,96	1.926,17
1985	0,04	851.617,01	100	12	7	2.788.980,15	1.999,70
1986	0,04	851.471,99	100	12	8	2.902.306,28	2.080,95
1987	0,04	860.473,55	100	12	9	3.052.686,30	2.188,78
1988	0,04	870.056,37	100	12	10	3.212.653,03	2.303,47
1989	0,04	1.103.047,02	100	12	11	4.239.183,72	3.039,49
1990	0,04	1.121.922,89	100	12	12	4.487.691,57	3.217,67
						35.247.154,71	25.272,21

ANO: 1991							
ANO	k	R _x	L _o	T	x	Q _{CH4}	
	ano ⁻¹	t/ano	m ³ /t	ano	ano	m ³ /ano	t/ano
1979	0,04	845.388,86	100	13	1	2.092.450,34	1.500,29
1980	0,04	848.784,38	100	13	2	2.186.592,21	1.567,79
1981	0,04	852.303,81	100	13	3	2.285.265,32	1.638,54
1982	0,04	852.107,39	100	13	4	2.377.980,61	1.705,01
1983	0,04	850.107,76	100	13	5	2.469.219,73	1.770,43
1984	0,04	853.781,40	100	13	6	2.581.096,41	1.850,65
1985	0,04	851.617,01	100	13	7	2.679.622,68	1.921,29
1986	0,04	851.471,99	100	13	8	2.788.505,22	1.999,36
1987	0,04	860.473,55	100	13	9	2.932.988,76	2.102,95
1988	0,04	870.056,37	100	13	10	3.086.683,11	2.213,15
1989	0,04	1.103.047,02	100	13	11	4.072.962,95	2.920,31
1990	0,04	1.121.922,89	100	13	12	4.311.726,67	3.091,51
1991	0,04	1.147.969,50	100	13	13	4.591.878,00	3.292,38
						38.456.972,01	27.573,65

ANO: 1992							
ANO	k	R _x	L _o	T	x	Q _{CH4}	
	ano ⁻¹	t/ano	m ³ /t	ano	ano	m ³ /ano	t/ano
1979	0,04	845.388,86	100	14	1	2.010.404,19	1.441,46
1980	0,04	848.784,38	100	14	2	2.100.854,71	1.506,31
1981	0,04	852.303,81	100	14	3	2.195.658,79	1.574,29
1982	0,04	852.107,39	100	14	4	2.284.738,66	1.638,16
1983	0,04	850.107,76	100	14	5	2.372.400,24	1.701,01
1984	0,04	853.781,40	100	14	6	2.479.890,18	1.778,08
1985	0,04	851.617,01	100	14	7	2.574.553,17	1.845,95
1986	0,04	851.471,99	100	14	8	2.679.166,37	1.920,96
1987	0,04	860.473,55	100	14	9	2.817.984,63	2.020,49
1988	0,04	870.056,37	100	14	10	2.965.652,53	2.126,37
1989	0,04	1.103.047,02	100	14	11	3.913.259,78	2.805,81
1990	0,04	1.121.922,89	100	14	12	4.142.661,44	2.970,29
1991	0,04	1.147.969,50	100	14	13	4.411.827,89	3.163,28
1992	0,04	1.130.344,25	100	14	14	4.521.377,00	3.241,83
						41.470.429,56	29.734,30

ANO: 1993							
ANO	k	R _x	L _o	T	x	Q _{CH4}	
	ano ⁻¹	t/ano	m ³ /t	ano	ano	m ³ /ano	t/ano
1979	0,04	845.388,86	100	15	1	1.931.575,12	1.384,94
1980	0,04	848.784,38	100	15	2	2.018.479,02	1.447,25
1981	0,04	852.303,81	100	15	3	2.109.565,77	1.512,56
1982	0,04	852.107,39	100	15	4	2.195.152,77	1.573,92
1983	0,04	850.107,76	100	15	5	2.279.377,09	1.634,31
1984	0,04	853.781,40	100	15	6	2.382.652,29	1.708,36
1985	0,04	851.617,01	100	15	7	2.473.603,49	1.773,57
1986	0,04	851.471,99	100	15	8	2.574.114,75	1.845,64
1987	0,04	860.473,55	100	15	9	2.707.489,87	1.941,27
1988	0,04	870.056,37	100	15	10	2.849.367,63	2.043,00
1989	0,04	1.103.047,02	100	15	11	3.759.818,67	2.695,79
1990	0,04	1.121.922,89	100	15	12	3.980.225,37	2.853,82
1991	0,04	1.147.969,50	100	15	13	4.238.837,65	3.039,25
1992	0,04	1.130.344,25	100	15	14	4.344.091,27	3.114,71
1993	0,04	1.120.318,02	100	15	15	4.481.272,09	3.213,07
						44.325.622,85	31.781,47

ANO: 1994							
ANO	k	R _x	L _o	T	x	Q _{CH4}	
	ano ⁻¹	t/ano	m ³ /t	ano	ano	m ³ /ano	t/ano
1979	0,04	845.388,86	100	16	1	1.855.836,97	1.330,64
1980	0,04	848.784,38	100	16	2	1.939.333,32	1.390,50
1981	0,04	852.303,81	100	16	3	2.026.848,52	1.453,25
1982	0,04	852.107,39	100	16	4	2.109.079,60	1.512,21
1983	0,04	850.107,76	100	16	5	2.190.001,44	1.570,23
1984	0,04	853.781,40	100	16	6	2.289.227,16	1.641,38
1985	0,04	851.617,01	100	16	7	2.376.612,11	1.704,03
1986	0,04	851.471,99	100	16	8	2.473.182,27	1.773,27
1987	0,04	860.473,55	100	16	9	2.601.327,67	1.865,15
1988	0,04	870.056,37	100	16	10	2.737.642,33	1.962,89
1989	0,04	1.103.047,02	100	16	11	3.612.394,07	2.590,09
1990	0,04	1.121.922,89	100	16	12	3.824.158,50	2.741,92
1991	0,04	1.147.969,50	100	16	13	4.072.630,44	2.920,08
1992	0,04	1.130.344,25	100	16	14	4.173.757,02	2.992,58
1993	0,04	1.120.318,02	100	16	15	4.305.558,90	3.087,09
1994	0,04	1.130.344,25	100	16	16	4.521.377,00	3.241,83
						47.108.967,32	33.777,13

ANO: 1995							
ANO	k	R _x	L _o	T	x	Q _{CH4}	
	ano ⁻¹	t/ano	m ³ /t	ano	ano	m ³ /ano	t/ano
1979	0,04	845.388,86	100	17	1	1.783.068,56	1.278,46
1980	0,04	848.784,38	100	17	2	1.863.290,97	1.335,98
1981	0,04	852.303,81	100	17	3	1.947.374,65	1.396,27
1982	0,04	852.107,39	100	17	4	2.026.381,41	1.452,92
1983	0,04	850.107,76	100	17	5	2.104.130,25	1.508,66
1984	0,04	853.781,40	100	17	6	2.199.465,28	1.577,02
1985	0,04	851.617,01	100	17	7	2.283.423,82	1.637,21
1986	0,04	851.471,99	100	17	8	2.376.207,41	1.703,74
1987	0,04	860.473,55	100	17	9	2.499.328,16	1.792,02
1988	0,04	870.056,37	100	17	10	2.630.297,84	1.885,92
1989	0,04	1.103.047,02	100	17	11	3.470.750,08	2.488,53
1990	0,04	1.121.922,89	100	17	12	3.674.211,10	2.634,41
1991	0,04	1.147.969,50	100	17	13	3.912.940,32	2.805,58
1992	0,04	1.130.344,25	100	17	14	4.010.101,66	2.875,24
1993	0,04	1.120.318,02	100	17	15	4.136.735,52	2.966,04
1994	0,04	1.130.344,25	100	17	16	4.344.091,27	3.114,71
1995	0,04	1.661.045,54	100	17	17	6.644.182,15	4.763,88
						51.905.980,44	37.216,59

ANO: 1996							
ANO	k	R _x	L _o	T	x	Q _{CH4}	
	ano ⁻¹	t/ano	m ³ /t	ano	ano	m ³ /ano	t/ano
1979	0,04	845.388,86	100	18	1	1.713.153,45	1.228,33
1980	0,04	848.784,38	100	18	2	1.790.230,29	1.283,60
1981	0,04	852.303,81	100	18	3	1.871.017,00	1.341,52
1982	0,04	852.107,39	100	18	4	1.946.925,85	1.395,95
1983	0,04	850.107,76	100	18	5	2.021.626,13	1.449,51
1984	0,04	853.781,40	100	18	6	2.113.223,01	1.515,18
1985	0,04	851.617,01	100	18	7	2.193.889,49	1.573,02
1986	0,04	851.471,99	100	18	8	2.283.034,98	1.636,94
1987	0,04	860.473,55	100	18	9	2.401.328,10	1.721,75
1988	0,04	870.056,37	100	18	10	2.527.162,38	1.811,98
1989	0,04	1.103.047,02	100	18	11	3.334.660,02	2.390,95
1990	0,04	1.121.922,89	100	18	12	3.530.143,22	2.531,11
1991	0,04	1.147.969,50	100	18	13	3.759.511,74	2.695,57
1992	0,04	1.130.344,25	100	18	14	3.852.863,33	2.762,50
1993	0,04	1.120.318,02	100	18	15	3.974.531,80	2.849,74
1994	0,04	1.130.344,25	100	18	16	4.173.757,02	2.992,58
1995	0,04	1.661.045,54	100	18	17	6.383.660,04	4.577,08
1996	0,04	1.733.021,78	100	18	18	6.932.087,11	4.970,31
						56.802.804,95	40.727,61

ANO: 1997							
ANO	k	R _x	L _o	T	x	Q _{CH4}	
	ano ⁻¹	t/ano	m ³ /t	ano	ano	m ³ /ano	t/ano
1979	0,04	845.388,86	100	19	1	1.645.979,74	1.180,17
1980	0,04	848.784,38	100	19	2	1.720.034,36	1.233,26
1981	0,04	852.303,81	100	19	3	1.797.653,37	1.288,92
1982	0,04	852.107,39	100	19	4	1.870.585,80	1.341,21
1983	0,04	850.107,76	100	19	5	1.942.357,03	1.392,67
1984	0,04	853.781,40	100	19	6	2.030.362,35	1.455,77
1985	0,04	851.617,01	100	19	7	2.107.865,85	1.511,34
1986	0,04	851.471,99	100	19	8	2.193.515,90	1.572,75
1987	0,04	860.473,55	100	19	9	2.307.170,68	1.654,24
1988	0,04	870.056,37	100	19	10	2.428.070,93	1.740,93
1989	0,04	1.103.047,02	100	19	11	3.203.906,13	2.297,20
1990	0,04	1.121.922,89	100	19	12	3.391.724,32	2.431,87
1991	0,04	1.147.969,50	100	19	13	3.612.099,17	2.589,88
1992	0,04	1.130.344,25	100	19	14	3.701.790,39	2.654,18
1993	0,04	1.120.318,02	100	19	15	3.818.688,18	2.738,00
1994	0,04	1.130.344,25	100	19	16	4.010.101,66	2.875,24
1995	0,04	1.661.045,54	100	19	17	6.133.353,15	4.397,61
1996	0,04	1.733.021,78	100	19	18	6.660.276,08	4.775,42
1997	0,04	1.851.788,46	100	19	19	7.407.153,84	5.310,93
						61.982.688,95	44.441,59

ANO: 1998							
ANO	k	R _x	L _o	T	x	Q _{CH4}	
	ano ⁻¹	t/ano	m ³ /t	ano	ano	m ³ /ano	t/ano
1979	0,04	845.388,86	100	20	1	1.581.439,95	1.133,89
1980	0,04	848.784,38	100	20	2	1.652.590,84	1.184,91
1981	0,04	852.303,81	100	20	3	1.727.166,37	1.238,38
1982	0,04	852.107,39	100	20	4	1.797.239,08	1.288,62
1983	0,04	850.107,76	100	20	5	1.866.196,12	1.338,06
1984	0,04	853.781,40	100	20	6	1.950.750,70	1.398,69
1985	0,04	851.617,01	100	20	7	2.025.215,25	1.452,08
1986	0,04	851.471,99	100	20	8	2.107.506,91	1.511,08
1987	0,04	860.473,55	100	20	9	2.216.705,22	1.589,38
1988	0,04	870.056,37	100	20	10	2.332.864,91	1.672,66
1989	0,04	1.103.047,02	100	20	11	3.078.279,17	2.207,13
1990	0,04	1.121.922,89	100	20	12	3.258.732,91	2.336,51
1991	0,04	1.147.969,50	100	20	13	3.470.466,74	2.488,32
1992	0,04	1.130.344,25	100	20	14	3.556.641,12	2.550,11
1993	0,04	1.120.318,02	100	20	15	3.668.955,27	2.630,64
1994	0,04	1.130.344,25	100	20	16	3.852.863,33	2.762,50
1995	0,04	1.661.045,54	100	20	17	5.892.860,94	4.225,18
1996	0,04	1.733.021,78	100	20	18	6.399.122,92	4.588,17
1997	0,04	1.851.788,46	100	20	19	7.116.715,19	5.102,68
1998	0,04	1.830.069,74	100	20	20	7.320.278,98	5.248,64
						66.872.591,93	47.947,65

ANO: 1999							
ANO	k	R _x	L _o	T	x	Q _{CH4}	
	ano ⁻¹	t/ano	m ³ /t	ano	ano	m ³ /ano	t/ano
1979	0,04	845.388,86	100	21	1	1.519.430,80	1.089,43
1980	0,04	848.784,38	100	21	2	1.587.791,83	1.138,45
1981	0,04	852.303,81	100	21	3	1.659.443,21	1.189,82
1982	0,04	852.107,39	100	21	4	1.726.768,33	1.238,09
1983	0,04	850.107,76	100	21	5	1.793.021,53	1.285,60
1984	0,04	853.781,40	100	21	6	1.874.260,67	1.343,84
1985	0,04	851.617,01	100	21	7	1.945.805,43	1.395,14
1986	0,04	851.471,99	100	21	8	2.024.870,38	1.451,83
1987	0,04	860.473,55	100	21	9	2.129.786,96	1.527,06
1988	0,04	870.056,37	100	21	10	2.241.391,97	1.607,08
1989	0,04	1.103.047,02	100	21	11	2.957.578,12	2.120,58
1990	0,04	1.121.922,89	100	21	12	3.130.956,17	2.244,90
1991	0,04	1.147.969,50	100	21	13	3.334.387,79	2.390,76
1992	0,04	1.130.344,25	100	21	14	3.417.183,22	2.450,12
1993	0,04	1.120.318,02	100	21	15	3.525.093,48	2.527,49
1994	0,04	1.130.344,25	100	21	16	3.701.790,39	2.654,18
1995	0,04	1.661.045,54	100	21	17	5.661.798,55	4.059,51
1996	0,04	1.733.021,78	100	21	18	6.148.209,72	4.408,27
1997	0,04	1.851.788,46	100	21	19	6.837.664,79	4.902,61
1998	0,04	1.830.069,74	100	21	20	7.033.246,73	5.042,84
1999	0,04	1.869.228,64	100	21	21	7.476.914,55	5.360,95
						71.727.394,65	51.428,54

ANO: 2000							
ANO	k	R _x	L _o	T	x	Q _{CH4}	
	ano ⁻¹	t/ano	m ³ /t	ano	ano	m ³ /ano	t/ano
1979	0,04	845.388,86	100	22	1	1.459.853,07	1.046,71
1980	0,04	848.784,38	100	22	2	1.525.533,62	1.093,81
1981	0,04	852.303,81	100	22	3	1.594.375,51	1.143,17
1982	0,04	852.107,39	100	22	4	1.659.060,77	1.189,55
1983	0,04	850.107,76	100	22	5	1.722.716,15	1.235,19
1984	0,04	853.781,40	100	22	6	1.800.769,86	1.291,15
1985	0,04	851.617,01	100	22	7	1.869.509,30	1.340,44
1986	0,04	851.471,99	100	22	8	1.945.474,08	1.394,90
1987	0,04	860.473,55	100	22	9	2.046.276,82	1.467,18
1988	0,04	870.056,37	100	22	10	2.153.505,73	1.544,06
1989	0,04	1.103.047,02	100	22	11	2.841.609,82	2.037,43
1990	0,04	1.121.922,89	100	22	12	3.008.189,62	2.156,87
1991	0,04	1.147.969,50	100	22	13	3.203.644,58	2.297,01
1992	0,04	1.130.344,25	100	22	14	3.283.193,55	2.354,05
1993	0,04	1.120.318,02	100	22	15	3.386.872,59	2.428,39
1994	0,04	1.130.344,25	100	22	16	3.556.641,12	2.550,11
1995	0,04	1.661.045,54	100	22	17	5.439.796,26	3.900,33
1996	0,04	1.733.021,78	100	22	18	5.907.134,97	4.235,42
1997	0,04	1.851.788,46	100	22	19	6.569.556,12	4.710,37
1998	0,04	1.830.069,74	100	22	20	6.757.469,18	4.845,11
1999	0,04	1.869.228,64	100	22	21	7.183.740,54	5.150,74
2000	0,04	1.775.813,44	100	22	22	7.103.253,75	5.093,03
						76.018.177,03	54.505,03

ANO: 2001							
ANO	k	R _x	L ₀	T	x	Q _{CH4}	
	ano ⁻¹	t/ano	m ³ /t	ano	ano	m ³ /ano	t/ano
1979	0,04	845.388,86	100	23	1	1.402.611,41	1.005,67
1980	0,04	848.784,38	100	23	2	1.465.716,59	1.050,92
1981	0,04	852.303,81	100	23	3	1.531.859,16	1.098,34
1982	0,04	852.107,39	100	23	4	1.594.008,07	1.142,90
1983	0,04	850.107,76	100	23	5	1.655.167,48	1.186,76
1984	0,04	853.781,40	100	23	6	1.730.160,67	1.240,53
1985	0,04	851.617,01	100	23	7	1.796.204,79	1.287,88
1986	0,04	851.471,99	100	23	8	1.869.190,95	1.340,21
1987	0,04	860.473,55	100	23	9	1.966.041,16	1.409,65
1988	0,04	870.056,37	100	23	10	2.069.065,56	1.483,52
1989	0,04	1.103.047,02	100	23	11	2.730.188,71	1.957,55
1990	0,04	1.121.922,89	100	23	12	2.890.236,82	2.072,30
1991	0,04	1.147.969,50	100	23	13	3.078.027,87	2.206,95
1992	0,04	1.130.344,25	100	23	14	3.154.457,69	2.261,75
1993	0,04	1.120.318,02	100	23	15	3.254.071,41	2.333,17
1994	0,04	1.130.344,25	100	23	16	3.417.183,22	2.450,12
1995	0,04	1.661.045,54	100	23	17	5.226.498,79	3.747,40
1996	0,04	1.733.021,78	100	23	18	5.675.512,90	4.069,34
1997	0,04	1.851.788,46	100	23	19	6.311.960,14	4.525,68
1998	0,04	1.830.069,74	100	23	20	6.492.505,03	4.655,13
1999	0,04	1.869.228,64	100	23	21	6.902.062,04	4.948,78
2000	0,04	1.775.813,44	100	23	22	6.824.731,19	4.893,33
2001	0,04	1.775.387,85	100	23	23	7.101.551,41	5.091,81
						80.139.013,08	57.459,67

ANO: 2002							
ANO	k	R _x	L ₀	T	x	Q _{CH4}	
	ano ⁻¹	t/ano	m ³ /t	ano	ano	m ³ /ano	t/ano
1979	0,04	845.388,86	100	24	1	1.347.614,23	966,24
1980	0,04	848.784,38	100	24	2	1.408.245,02	1.009,71
1981	0,04	852.303,81	100	24	3	1.471.794,10	1.055,28
1982	0,04	852.107,39	100	24	4	1.531.506,12	1.098,09
1983	0,04	850.107,76	100	24	5	1.590.267,44	1.140,22
1984	0,04	853.781,40	100	24	6	1.662.320,10	1.191,88
1985	0,04	851.617,01	100	24	7	1.725.774,60	1.237,38
1986	0,04	851.471,99	100	24	8	1.795.898,92	1.287,66
1987	0,04	860.473,55	100	24	9	1.888.951,58	1.354,38
1988	0,04	870.056,37	100	24	10	1.987.936,34	1.425,35
1989	0,04	1.103.047,02	100	24	11	2.623.136,48	1.880,79
1990	0,04	1.121.922,89	100	24	12	2.776.909,01	1.991,04
1991	0,04	1.147.969,50	100	24	13	2.957.336,68	2.120,41
1992	0,04	1.130.344,25	100	24	14	3.030.769,64	2.173,06
1993	0,04	1.120.318,02	100	24	15	3.126.477,45	2.241,68
1994	0,04	1.130.344,25	100	24	16	3.283.193,55	2.354,05
1995	0,04	1.661.045,54	100	24	17	5.021.564,85	3.600,46
1996	0,04	1.733.021,78	100	24	18	5.452.972,85	3.909,78
1997	0,04	1.851.788,46	100	24	19	6.064.464,64	4.348,22
1998	0,04	1.830.069,74	100	24	20	6.237.930,26	4.472,60
1999	0,04	1.869.228,64	100	24	21	6.631.428,32	4.754,73
2000	0,04	1.775.813,44	100	24	22	6.557.129,65	4.701,46
2001	0,04	1.775.387,85	100	24	23	6.823.095,60	4.892,16
2002	0,04	1.860.289,15	100	24	24	7.441.156,59	5.335,31
						84.437.874,02	60.541,96

ANO: 2003							
ANO	k	R _x	L _o	T	x	Q _{CH4}	
	ano ⁻¹	t/ano	m ³ /t	ano	ano	m ³ /ano	t/ano
1979	0,04	845.388,86	100	25	1	1.294.773,52	928,35
1980	0,04	848.784,38	100	25	2	1.353.026,95	970,12
1981	0,04	852.303,81	100	25	3	1.414.084,23	1.013,90
1982	0,04	852.107,39	100	25	4	1.471.454,91	1.055,03
1983	0,04	850.107,76	100	25	5	1.527.912,16	1.095,51
1984	0,04	853.781,40	100	25	6	1.597.139,59	1.145,15
1985	0,04	851.617,01	100	25	7	1.658.106,01	1.188,86
1986	0,04	851.471,99	100	25	8	1.725.480,72	1.237,17
1987	0,04	860.473,55	100	25	9	1.814.884,73	1.301,27
1988	0,04	870.056,37	100	25	10	1.909.988,24	1.369,46
1989	0,04	1.103.047,02	100	25	11	2.520.281,83	1.807,04
1990	0,04	1.121.922,89	100	25	12	2.668.024,85	1.912,97
1991	0,04	1.147.969,50	100	25	13	2.841.377,85	2.037,27
1992	0,04	1.130.344,25	100	25	14	2.911.931,46	2.087,85
1993	0,04	1.120.318,02	100	25	15	3.003.886,52	2.153,79
1994	0,04	1.130.344,25	100	25	16	3.154.457,69	2.261,75
1995	0,04	1.661.045,54	100	25	17	4.824.666,47	3.459,29
1996	0,04	1.733.021,78	100	25	18	5.239.158,73	3.756,48
1997	0,04	1.851.788,46	100	25	19	5.826.673,58	4.177,72
1998	0,04	1.830.069,74	100	25	20	5.993.337,52	4.297,22
1999	0,04	1.869.228,64	100	25	21	6.371.406,29	4.568,30
2000	0,04	1.775.813,44	100	25	22	6.300.020,92	4.517,12
2001	0,04	1.775.387,85	100	25	23	6.555.558,19	4.700,34
2002	0,04	1.860.289,15	100	25	24	7.149.384,66	5.126,11
2003	0,04	1.798.122,78	100	25	25	7.192.491,13	5.157,02
						88.319.508,75	63.325,09

ANO: 2004							
ANO	k	R _x	L _o	T	x	Q _{CH4}	
	ano ⁻¹	t/ano	m ³ /t	ano	ano	m ³ /ano	t/ano
1979	0,04	845.388,86	100	26	1	1.244.004,72	891,95
1980	0,04	848.784,38	100	26	2	1.299.974,00	932,08
1981	0,04	852.303,81	100	26	3	1.358.637,19	974,14
1982	0,04	852.107,39	100	26	4	1.413.758,33	1.013,66
1983	0,04	850.107,76	100	26	5	1.468.001,87	1.052,56
1984	0,04	853.781,40	100	26	6	1.534.514,85	1.100,25
1985	0,04	851.617,01	100	26	7	1.593.090,74	1.142,25
1986	0,04	851.471,99	100	26	8	1.657.823,65	1.188,66
1987	0,04	860.473,55	100	26	9	1.743.722,09	1.250,25
1988	0,04	870.056,37	100	26	10	1.835.096,53	1.315,76
1989	0,04	1.103.047,02	100	26	11	2.421.460,16	1.736,19
1990	0,04	1.121.922,89	100	26	12	2.563.410,10	1.837,97
1991	0,04	1.147.969,50	100	26	13	2.729.965,83	1.957,39
1992	0,04	1.130.344,25	100	26	14	2.797.752,99	2.005,99
1993	0,04	1.120.318,02	100	26	15	2.886.102,44	2.069,34
1994	0,04	1.130.344,25	100	26	16	3.030.769,64	2.173,06
1995	0,04	1.661.045,54	100	26	17	4.635.488,59	3.323,65
1996	0,04	1.733.021,78	100	26	18	5.033.728,38	3.609,18
1997	0,04	1.851.788,46	100	26	19	5.598.206,44	4.013,91
1998	0,04	1.830.069,74	100	26	20	5.758.335,39	4.128,73
1999	0,04	1.869.228,64	100	26	21	6.121.579,88	4.389,17
2000	0,04	1.775.813,44	100	26	22	6.052.993,57	4.340,00
2001	0,04	1.775.387,85	100	26	23	6.298.511,08	4.516,03
2002	0,04	1.860.289,15	100	26	24	6.869.053,28	4.925,11
2003	0,04	1.798.122,78	100	26	25	6.910.469,52	4.954,81
2004	0,04	1.925.710,60	100	26	26	7.702.842,39	5.522,94
						92.559.293,66	66.365,01

ANO: 2005							
ANO	k	R _x	L _o	T	x	Q _{CH4}	
	ano ⁻¹	t/ano	m ³ /t	ano	ano	m ³ /ano	t/ano
1979	0,04	845.388,86	100	27	1	1.195.226,60	856,98
1980	0,04	848.784,38	100	27	2	1.249.001,29	895,53
1981	0,04	852.303,81	100	27	3	1.305.364,26	935,95
1982	0,04	852.107,39	100	27	4	1.358.324,08	973,92
1983	0,04	850.107,76	100	27	5	1.410.440,69	1.011,29
1984	0,04	853.781,40	100	27	6	1.474.345,67	1.057,11
1985	0,04	851.617,01	100	27	7	1.530.624,76	1.097,46
1986	0,04	851.471,99	100	27	8	1.592.819,46	1.142,05
1987	0,04	860.473,55	100	27	9	1.675.349,76	1.201,23
1988	0,04	870.056,37	100	27	10	1.763.141,37	1.264,17
1989	0,04	1.103.047,02	100	27	11	2.326.513,35	1.668,11
1990	0,04	1.121.922,89	100	27	12	2.462.897,35	1.765,90
1991	0,04	1.147.969,50	100	27	13	2.622.922,34	1.880,64
1992	0,04	1.130.344,25	100	27	14	2.688.051,53	1.927,33
1993	0,04	1.120.318,02	100	27	15	2.772.936,74	1.988,20
1994	0,04	1.130.344,25	100	27	16	2.911.931,46	2.087,85
1995	0,04	1.661.045,54	100	27	17	4.453.728,49	3.193,32
1996	0,04	1.733.021,78	100	27	18	4.836.353,07	3.467,67
1997	0,04	1.851.788,46	100	27	19	5.378.697,63	3.856,53
1998	0,04	1.830.069,74	100	27	20	5.532.547,83	3.966,84
1999	0,04	1.869.228,64	100	27	21	5.881.549,30	4.217,07
2000	0,04	1.775.813,44	100	27	22	5.815.652,30	4.169,82
2001	0,04	1.775.387,85	100	27	23	6.051.542,93	4.338,96
2002	0,04	1.860.289,15	100	27	24	6.599.713,85	4.731,99
2003	0,04	1.798.122,78	100	27	25	6.639.506,13	4.760,53
2004	0,04	1.925.710,60	100	27	26	7.400.809,62	5.306,38
2005	0,04	1.928.320,74	100	27	27	7.713.282,95	5.530,42
						96.643.274,80	69.293,23

ANO: 2006							
ANO	k	R _x	L _o	T	x	Q _{CH4}	
	ano ⁻¹	t/ano	m ³ /t	ano	ano	m ³ /ano	t/ano
1979	0,04	845.388,86	100	28	1	1.148.361,10	823,37
1980	0,04	848.784,38	100	28	2	1.200.027,25	860,42
1981	0,04	852.303,81	100	28	3	1.254.180,20	899,25
1982	0,04	852.107,39	100	28	4	1.305.063,43	935,73
1983	0,04	850.107,76	100	28	5	1.355.136,52	971,63
1984	0,04	853.781,40	100	28	6	1.416.535,75	1.015,66
1985	0,04	851.617,01	100	28	7	1.470.608,10	1.054,43
1986	0,04	851.471,99	100	28	8	1.530.364,11	1.097,27
1987	0,04	860.473,55	100	28	9	1.609.658,36	1.154,13
1988	0,04	870.056,37	100	28	10	1.694.007,61	1.214,60
1989	0,04	1.103.047,02	100	28	11	2.235.289,46	1.602,70
1990	0,04	1.121.922,89	100	28	12	2.366.325,77	1.696,66
1991	0,04	1.147.969,50	100	28	13	2.520.076,08	1.806,89
1992	0,04	1.130.344,25	100	28	14	2.582.651,52	1.851,76
1993	0,04	1.120.318,02	100	28	15	2.664.208,34	1.910,24
1994	0,04	1.130.344,25	100	28	16	2.797.752,99	2.005,99
1995	0,04	1.661.045,54	100	28	17	4.279.095,29	3.068,11
1996	0,04	1.733.021,78	100	28	18	4.646.716,95	3.331,70
1997	0,04	1.851.788,46	100	28	19	5.167.795,88	3.705,31
1998	0,04	1.830.069,74	100	28	20	5.315.613,53	3.811,29
1999	0,04	1.869.228,64	100	28	21	5.650.930,45	4.051,72
2000	0,04	1.775.813,44	100	28	22	5.587.617,31	4.006,32
2001	0,04	1.775.387,85	100	28	23	5.814.258,53	4.168,82
2002	0,04	1.860.289,15	100	28	24	6.340.935,37	4.546,45
2003	0,04	1.798.122,78	100	28	25	6.379.167,37	4.573,86
2004	0,04	1.925.710,60	100	28	26	7.110.619,72	5.098,31
2005	0,04	1.928.320,74	100	28	27	7.410.840,80	5.313,57
2006	0,04	2.042.020,99	100	28	28	8.168.083,97	5.856,52
						101.021.921,76	72.432,72

ANO: 2007							
ANO	k	R _x	L _o	T	x	Q _{CH4}	
	ano ⁻¹	t/ano	m ³ /t	ano	ano	m ³ /ano	t/ano
1979	0,04	845.388,86	100	29	1	1.103.333,21	791,09
1980	0,04	848.784,38	100	29	2	1.152.973,51	826,68
1981	0,04	852.303,81	100	29	3	1.205.003,09	863,99
1982	0,04	852.107,39	100	29	4	1.253.891,16	899,04
1983	0,04	850.107,76	100	29	5	1.302.000,86	933,53
1984	0,04	853.781,40	100	29	6	1.360.992,58	975,83
1985	0,04	851.617,01	100	29	7	1.412.944,74	1.013,08
1986	0,04	851.471,99	100	29	8	1.470.357,68	1.054,25
1987	0,04	860.473,55	100	29	9	1.546.542,75	1.108,87
1988	0,04	870.056,37	100	29	10	1.627.584,62	1.166,98
1989	0,04	1.103.047,02	100	29	11	2.147.642,50	1.539,86
1990	0,04	1.121.922,89	100	29	12	2.273.540,81	1.630,13
1991	0,04	1.147.969,50	100	29	13	2.421.262,48	1.736,05
1992	0,04	1.130.344,25	100	29	14	2.481.384,31	1.779,15
1993	0,04	1.120.318,02	100	29	15	2.559.743,24	1.835,34
1994	0,04	1.130.344,25	100	29	16	2.688.051,53	1.927,33
1995	0,04	1.661.045,54	100	29	17	4.111.309,57	2.947,81
1996	0,04	1.733.021,78	100	29	18	4.464.516,57	3.201,06
1997	0,04	1.851.788,46	100	29	19	4.965.163,70	3.560,02
1998	0,04	1.830.069,74	100	29	20	5.107.185,34	3.661,85
1999	0,04	1.869.228,64	100	29	21	5.429.354,30	3.892,85
2000	0,04	1.775.813,44	100	29	22	5.368.523,70	3.849,23
2001	0,04	1.775.387,85	100	29	23	5.586.278,20	4.005,36
2002	0,04	1.860.289,15	100	29	24	6.092.303,74	4.368,18
2003	0,04	1.798.122,78	100	29	25	6.129.036,64	4.394,52
2004	0,04	1.925.710,60	100	29	26	6.831.808,34	4.898,41
2005	0,04	1.928.320,74	100	29	27	7.120.257,58	5.105,22
2006	0,04	2.042.020,99	100	29	28	7.847.808,82	5.626,88
2007	0,04	2.160.894,03	100	29	29	8.643.576,13	6.197,44
						105.704.371,68	75.790,03

ANO: 2008							
ANO	k	R _x	L _o	T	x	Q _{CH4}	
	ano ⁻¹	t/ano	m ³ /t	ano	ano	m ³ /ano	t/ano
1979	0,04	845.388,86	100	30	1	1.060.070,90	760,07
1980	0,04	848.784,38	100	30	2	1.107.764,77	794,27
1981	0,04	852.303,81	100	30	3	1.157.754,24	830,11
1982	0,04	852.107,39	100	30	4	1.204.725,38	863,79
1983	0,04	850.107,76	100	30	5	1.250.948,67	896,93
1984	0,04	853.781,40	100	30	6	1.307.627,30	937,57
1985	0,04	851.617,01	100	30	7	1.357.542,38	973,36
1986	0,04	851.471,99	100	30	8	1.412.704,13	1.012,91
1987	0,04	860.473,55	100	30	9	1.485.901,94	1.065,39
1988	0,04	870.056,37	100	30	10	1.563.766,11	1.121,22
1989	0,04	1.103.047,02	100	30	11	2.063.432,24	1.479,48
1990	0,04	1.121.922,89	100	30	12	2.184.394,00	1.566,21
1991	0,04	1.147.969,50	100	30	13	2.326.323,42	1.667,97
1992	0,04	1.130.344,25	100	30	14	2.384.087,84	1.709,39
1993	0,04	1.120.318,02	100	30	15	2.459.374,27	1.763,37
1994	0,04	1.130.344,25	100	30	16	2.582.651,52	1.851,76
1995	0,04	1.661.045,54	100	30	17	3.950.102,81	2.832,22
1996	0,04	1.733.021,78	100	30	18	4.289.460,37	3.075,54
1997	0,04	1.851.788,46	100	30	19	4.770.476,85	3.420,43
1998	0,04	1.830.069,74	100	30	20	4.906.929,74	3.518,27
1999	0,04	1.869.228,64	100	30	21	5.216.466,27	3.740,21
2000	0,04	1.775.813,44	100	30	22	5.158.020,87	3.698,30
2001	0,04	1.775.387,85	100	30	23	5.367.237,09	3.848,31
2002	0,04	1.860.289,15	100	30	24	5.853.421,09	4.196,90
2003	0,04	1.798.122,78	100	30	25	5.888.713,68	4.222,21
2004	0,04	1.925.710,60	100	30	26	6.563.929,30	4.706,34
2005	0,04	1.928.320,74	100	30	27	6.841.068,28	4.905,05
2006	0,04	2.042.020,99	100	30	28	7.540.091,83	5.406,25
2007	0,04	2.160.894,03	100	30	29	8.304.656,66	5.954,44
2008	0,04	2.234.859,46	100	30	30	8.939.437,85	6.409,58
						110.499.081,84	79.227,84

ANO: 2009							
ANO	k	R _x	L ₀	T	x	Q _{CH4}	
	ano ⁻¹	t/ano	m ³ /t	ano	ano	m ³ /ano	t/ano
1979	0,04	845.388,86	100	31	1	1.018.504,93	730,27
1980	0,04	848.784,38	100	31	2	1.064.328,69	763,12
1981	0,04	852.303,81	100	31	3	1.112.358,05	797,56
1982	0,04	852.107,39	100	31	4	1.157.487,43	829,92
1983	0,04	850.107,76	100	31	5	1.201.898,27	861,76
1984	0,04	853.781,40	100	31	6	1.256.354,50	900,81
1985	0,04	851.617,01	100	31	7	1.304.312,38	935,19
1986	0,04	851.471,99	100	31	8	1.357.311,21	973,19
1987	0,04	860.473,55	100	31	9	1.427.638,90	1.023,62
1988	0,04	870.056,37	100	31	10	1.502.449,97	1.077,26
1989	0,04	1.103.047,02	100	31	11	1.982.523,90	1.421,47
1990	0,04	1.121.922,89	100	31	12	2.098.742,68	1.504,80
1991	0,04	1.147.969,50	100	31	13	2.235.106,98	1.602,57
1992	0,04	1.130.344,25	100	31	14	2.290.606,42	1.642,36
1993	0,04	1.120.318,02	100	31	15	2.362.940,82	1.694,23
1994	0,04	1.130.344,25	100	31	16	2.481.384,31	1.779,15
1995	0,04	1.661.045,54	100	31	17	3.795.217,07	2.721,17
1996	0,04	1.733.021,78	100	31	18	4.121.268,23	2.954,95
1997	0,04	1.851.788,46	100	31	19	4.583.423,78	3.286,31
1998	0,04	1.830.069,74	100	31	20	4.714.526,27	3.380,32
1999	0,04	1.869.228,64	100	31	21	5.011.925,71	3.593,55
2000	0,04	1.775.813,44	100	31	22	4.955.771,98	3.553,29
2001	0,04	1.775.387,85	100	31	23	5.156.784,72	3.697,41
2002	0,04	1.860.289,15	100	31	24	5.623.905,17	4.032,34
2003	0,04	1.798.122,78	100	31	25	5.657.813,91	4.056,65
2004	0,04	1.925.710,60	100	31	26	6.306.553,95	4.521,80
2005	0,04	1.928.320,74	100	31	27	6.572.826,16	4.712,72
2006	0,04	2.042.020,99	100	31	28	7.244.440,60	5.194,26
2007	0,04	2.160.894,03	100	31	29	7.979.026,42	5.720,96
2008	0,04	2.234.859,46	100	31	30	8.588.917,48	6.158,25
2009	0,04	2.307.491,01	100	31	31	9.229.964,04	6.617,88
						115.396.314,91	82.739,16

ANEXO E: Resultados de geração de CH₄ por ano pelo programa

Modulo 4.0©

Ano	Geração de CH ₄ (m ³)
1979	4.836,05
1980	13.602,68
1981	17.911,58
1982	20.541,51
1983	21.966,09
1984	22.859,05
1985	23.596,33
1986	24.428,10
1987	25.014,08
1988	27.023,31
1989	34.148,94
1990	45.256,18
1991	56.287,64
1992	58.965,78
1993	55.550,87
1994	49.740,52
1995	59.781,83
1996	80.708,36
1997	94.147,10
1998	94.210,97
1999	97.541,80
2000	105.385,64
2001	103.331,54
2002	108.675,36
2003	128.484,46
2004	121.518,93
2005	146.228,69
2006	84.426,49
2007	102.011,74
2008	175.222,83
2009	160.854,51

Livros Grátis

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

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)