



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE POS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

JOSÉ GUILLERMO MACHUCA ESPÍRITU

**O ATERRO SANITÁRIO DE MARITUBA: ESTIMATIVA E DISPERSÃO DAS
EMISSÕES DE BIOGÁS E A PERCEPÇÃO DA MUDANÇA DA QUALIDADE DO
AR PELA POPULAÇÃO DO ENTORNO.**

BELÉM-PA
2019

JOSÉ GUILLERMO MACHUCA ESPÍRITU

**O ATERRO SANITÁRIO DE MARITUBA: ESTIMATIVA E DISPERSÃO DAS
EMISSÕES DE BIOGÁS E A PERCEPÇÃO DA MUDANÇA DA QUALIDADE DO
AR PELA POPULAÇÃO DO ENTORNO.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Pará em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Amazônia Oriental e Museu Paraense Emílio Goeldi, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Área de Concentração: Clima e Dinâmica Socioambiental na Amazônia.

Linha de Pesquisa: Interação Clima, Sociedade e Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Everaldo Barreiros de Souza

Coorientador: Prof. Dr. Breno Cesar de Oliveira Imbiriba

**BELÉM-PA
2019**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará**

Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M149a Machuca Espíritu, José Guillermo

O aterro sanitário de Marituba: estimativa e dispersão das emissões de biogás e a percepção da mudança da qualidade do ar pela população do entorno / José Guillermo Machuca Espíritu. — 2019.

123 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Everaldo Barreiros de Souza
Coorientador(a): Prof. Dr. Breno Cesar de Oliveira Imbiriba
Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.

1. Poluição Atmosférica. 2. Aterros Sanitários. 3. Gases de Efeito Estufa. 4. Metano. 5. Região Amazônica. I. Título.

CDD 577.27609811

JOSÉ GUILLERMO MACHUCA ESPÍRITU

**O ATERRO SANITÁRIO DE MARITUBA – ESTIMATIVA E DISPERSÃO DAS
EMISSÕES DE BIOGÁS E A PERCEPÇÃO DA MUDANÇA DA QUALIDADE DO
AR PELA POPULAÇÃO DO ENTORNO.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em parceria com o Museu Paraense Emílio Goeldi e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária da Amazônia Oriental, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Área de concentração: Clima e Dinâmica Sócio-Ambiental na Amazônia.

Linha de pesquisa: Ecossistemas Amazônicos e Dinâmica Socio-Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Everaldo Barreiros de Souza.

Coorientador: Prof. Dr. Breno Cesar de Oliveira Imbiriba.

Data de aprovação: 18 / 02 / 2019

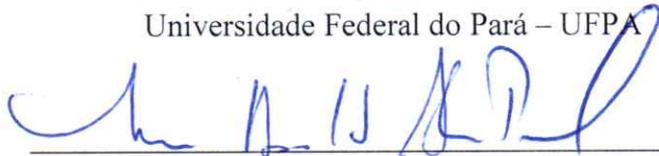
Banca Examinadora:



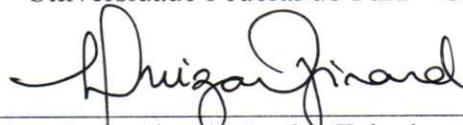
Everaldo Barreiros de Souza – Orientador
Doutor em Meteorologia
Universidade Federal do Pará – UFPA



Aline Maria Meiguins de Lima – Membro
Doutora em Desenvolvimento Sustentável do Trópico
Úmido
Universidade Federal do Pará – UFPA



Marcia Aparecida da Silva Pimentel – Membro
Doutora em Geografia
Universidade Federal do Pará – UFPA



Luiza Carla Girard Mendes Teixeira – Membro
Doutora em Desenvolvimento Sustentável do Trópico
Úmido
Universidade Federal do Pará – UFPA

AGRADECIMENTOS

À minha família, em especial a minha mãe Belia Espíritu Tejeda pelo apoio emocional e econômico em todos os momentos dessa longa jornada.

Ao meu orientador professor Breno Imbiriba, pela honra em ser seu orientando e pelas importantes observações.

À minha parceira de pesquisa Jade Ramos, por sua valiosa contribuição neste projeto.

À minha amiga Lizbeth Piña Juarez que sempre se faz presente nos momentos bons e sobre todo nos maus.

À Jean Bentes, Francisca Rojas, Deira Jimenez, Aidé Lopez, Monica Millan por ser pessoas muito importantes nesta fase da minha vida.

Aos meus colegas e amigos que adquiri no decorrer desse curso, parcerias e amizades valiosas que conheci nesta cidade e que levo para a vida toda.

Agradeço à Organização dos Estados Americanos (OEA), ao Programa de Alianças pela Educação e a Capacitação (PAEC), ao Grupo Coimbra de Universidades Brasileiras (GCUB) pelo apoio e a oportunidade de crescer academicamente.

Agradeço à Universidade Federal do Pará (UFPA), ao Instituto de Geociências (IG) e ao Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais (PPGCA) e todos seus profissionais, pelas vivências e aprendizagens adquiridos nesse período curto, porém muito rico de conhecimentos.

“Happiness can be found, even in the darkest of times, if one only remembers to turn on the light”

(Albus Dumbledore)

RESUMO

Os Resíduos Sólidos Urbanos em aterros e lixões são uma importante fonte antropogênica de Gases de Efeito Estufa, principalmente o Metano (CH_4), que possui alta capacidade de reter calor na atmosfera. Na Central de Processamento e Tratamento de Resíduos Sólidos (CPTR) Marituba localizada na Região Metropolitana de Belém, Pará, foi estimada a geração de metano atual e futura a partir do ano 2015 através do modelo do IPCC (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas) considerando uma data mínima de operação de 15 anos. O aterro deverá gerar durante sua história em torno de 610 mil toneladas de CH_4 , das quais aproximadamente 95% serão emitidas nos próximos anos. Considerando o potencial de aquecimento global do metano que é 28 vezes maior do que o dióxido de carbono (CO_2), ao longo dos anos, o não aproveitamento deste gás gerará uma quantidade equivalente a 17 milhões de toneladas de dióxido de carbono. A dispersão do gás metano como traçador de outros gases e odores gerados na CPTR Marituba utilizando um modelo de dispersão gaussiana mostra que no período noturno (18:00-06:00) a acumulação dos gases é maior na área circundante ao aterro e causa desconfortos na população validando esta informação com os resultados das entrevistas aos moradores da área circundante dos municípios de Ananindeua e Marituba, que sofrem maiores incômodos a causa dos maus odores neste mesmo período noturno. Os resultados desta pesquisa devem ser levados em conta na definição de políticas públicas para a localização de novos aterros sanitários e na implementação de ações para mitigar o impacto negativo dos aterros existentes. Apesar da relevância da temática abordada nesse trabalho, estudos sobre a geração e dispersão dos gases assim como o impacto na população circundante em aterros na Região Amazônica são escassos na literatura, portanto este trabalho acrescenta às pesquisas, a compreensão a respeito dos aterros e seus impactos na Amazônia assim como também o aproveitamento do biogás.

Palavras-chave: Poluição Atmosférica. Aterros Sanitários. Gases de Efeito Estufa. Metano. Região Amazônica.

ABSTRACT

Urban Solid Waste in landfills and dumps is an important anthropogenic source of Greenhouse Gases, mainly Methane (CH₄), which has a high capacity of retaining heat in the atmosphere. At the Marituba Solid Waste Processing and Processing Center (SWPPC) located in the Metropolitan Region of Belém, Pará, current and future methane generation from the year 2015 were estimated through the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) model considering a minimum operation period of 15 years. The landfill will generate during its history approximately 610 thousand metric tons of CH₄, of which approximately 95% will be produced in the coming years. Considering the global warming potential of methane that is 28 times higher than carbon dioxide (CO₂) over the years, this will generate an amount equivalent to 17 million tons of carbon dioxide. The dispersion of methane gas as a tracer of other gases and odors generated at CPTR Marituba using a Gaussian dispersion model shows that at night time (18:00-06:00) gas accumulation is higher at the area surrounding the landfill and causes discomfort in the population, validating this information with the results of the interviews with the residents of the surrounding area of the municipalities of Ananindeua and Marituba, who suffer the greatest annoyances due to the bad odors in this same nocturnal period. The results of this research should be considered in the definition of public policies for the location of new landfills and in the implementation of actions to mitigate the negative impact of existing landfills. Despite the relevance of the topic addressed in this study, studies on the generation and dispersion of gases as well as the impact on the surrounding population in landfills in the Amazon Region are scarce in the literature, so this work will add to the understanding about landfills and its impacts on the Amazon as well as the use of biogas.

Keywords: Landfills. Methane. Greenhouse Gases. Amazon Region.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Exemplo de Lixão.....	25
Figura 2 - Exemplo de Aterro Controlado.....	25
Figura 3 - Exemplo de Aterro Sanitário	26
Figura 4 - Esquema de reações de digestão anaeróbia de materiais polímeros.....	28
Figura 5 - Fases de formação do biogás nos aterros sanitários	30
Figura 6 - Um modelo de dispersão com a fonte virtual a uma altura efetiva, H, da chaminé	49
Figura 7 - Coeficientes de dispersão vertical σ_y (esquerda) e coeficientes de dispersão horizontal σ_z (direita)	54
Figura 8 -Localização da CPTR Marituba.....	59
Figura 9 - Uso e cobertura da terra no entorno da CPTR Marituba	60
Figura 10 - Direção do vento do município de Marituba e parte da região metropolitana de Belém	63
Figura 11 - Estimativa anual dos resíduos gerados na CPTR Marituba.....	71
Figura 12 - Metano emitido ao longo dos anos	73
Figura 13 - Distribuição dos ventos no inverno ao longo do dia do ano de 2017: (a) madrugada, (b) manhã, (c) tarde, (d) noite.....	75
Figura 14 - Distribuição dos ventos no verão ao longo do dia do ano de 2017: (a) madrugada, (b) manhã, (c) tarde, (d) noite.....	76
Figura 15 – Distribuição dos dados horários no Inverno-Madrugada.....	78
Figura 16 - Dispersão do metano no Inverno-Madrugada.....	79
Figura 17 - Distribuição dos dados horários no Inverno-Manhã.....	80
Figura 18 - Dispersão do metano no Inverno-Manhã.....	80
Figura 19 - Distribuição dos dados horários no período Inverno-Tarde	81
Figura 20 - Dispersão do metano no Inverno-Tarde.....	82
Figura 21 - Distribuição dos dados horários no período Inverno-Noite.....	83
Figura 22 - Dispersão do metano no período Inverno-Noite.....	83
Figura 23 - Distribuição dos dados horários no período Verão-Madrugada	84
Figura 24 - Dispersão do metano no período Verão-Madrugada	85
Figura 25 - Distribuição dos dados horários no período Verão-Manhã	86
Figura 26 - Dispersão do metano no período Verão-Manhã	86
Figura 27 - Distribuição dos dados horários no período Verão-Tarde	87
Figura 28 - Dispersão do metano no período Verão-Tarde	88

Figura 29 - Distribuição dos dados horários no período Verão-Noite	89
Figura 30 - Dispersão do metano no período Verão-Noite	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação dos resíduos sólidos.....	23
Tabela 2 - Classificação dos LDRS.....	24
Tabela 3 – Média nacional e da região Norte, coleta, disposição e tratamento dos RSU	27
Tabela 4 - Componentes dos resíduos sólidos quanto a biodegradação.....	29
Tabela 5 - Componentes típicos encontrados no gás de aterro sanitário de RSU e propriedades físicas	32
Tabela 6 - Potencial de perigo de explosão de componentes comuns do biogás	34
Tabela 7 - Fatores que influenciam as fases de produção de biogás	34
Tabela 8 - Emissões de CH ₄ no Brasil, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010.....	36
Tabela 9 - Faixas de valores de Carbono Orgânico Degradável (DOC) para as diferentes frações de RSU.....	39
Tabela 10 - Classificação dos aterros e fatores de correção do metano (MCF)	42
Tabela 11 - Fatores de oxidação (OX) para os LDRS	43
Tabela 12 - Índice de geração de metano (k).....	44
Tabela 13 - Condições climáticas que definem as classes de estabilidade do Pasquill-Gifford-Turner (PGT).....	52
Tabela 14 - Parâmetros das equações de Pasquill como uma função da estabilidade atmosférica	53
Tabela 15 - Formulas recomendadas por Briggs	55
Tabela 16 - Distribuição da população nos municípios em estudo da Região Metropolitana de Belém	63
Tabela 17 - Classes de resíduos e a porcentagem em relação ao peso	65
Tabela 18 - Toneladas de RSU geradas por dia e por ano.....	70
Tabela 19 - Metano gerado (Gg) por ano	72
Tabela 20 - Resumo da demografia dos entrevistados	91
Tabela 21 - Resumo da percepção do impacto do aterro na qualidade do ar	93
Tabela 22 - Resumo da percepção da influência do governo e a sociedade no problema, e a percepção do impacto na saúde	94

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ALC	América Latina e o Caribe
BM	Banco Mundial
CEA	Classes de Estabilidade Atmosférica
CH ₃ COOH	Ácido Acético
CH ₄	Metano
CO ₂ eq	Equivalente de Dióxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
CPTR	Central de Processamento e Tratamento de Resíduos
DDOC _m	Carbono Orgânico Degradável Dissolvido (pelas siglas em inglês)
DOC	Carbono Orgânico Degradável (pelas siglas em inglês)
DOC _f	Fração de Carbono Orgânico Degradável
GEE	Gases de Efeito Estufa
GWP ₁₀₀	<i>Global Warming Potential</i> (Potencial de Aquecimento Global a 100 anos)
H ₂	Hidrogênio
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPCC	Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas
LDRS	Locais de Descarte de Resíduos Sólidos
LEL	Limite de Explosividade Inferior (pelas siglas em inglês)
L _o	Potencial de geração de metano
MAP	Precipitação Média Anual (pelas siglas em inglês)
MAT	Temperatura Média Anual (pelas siglas em inglês)
MCF	Fator de correção de metano (pelas siglas em inglês)
MtCO ₂ eq	Mega toneladas de Dióxido de Carbono equivalente
N ₂	Nitrogênio
N ₂ O	Oxido Nitroso
NH ₃	Amônia
O ₂	Oxigênio

OECD	Organização da Cooperação e Desenvolvimento Econômico (pelas siglas em inglês)
OX	Fator de Oxidação
PET	Potencial de Evapotranspiração (pelas siglas em inglês)
PGT	Pasquill-Gifford-Turner
pH	Potencial de Hidrogênio
PMB	Prefeitura Municipal de Belém
PPB	Partes por Bilhão
PPM	Partes por Milhão
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
RMB	Região Metropolitana de Belém
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
UEL	Limite de Explosividade Superior (pelas siglas em inglês)
UFPa	Universidade Federal do Pará
UNFCCC	Comunicações Nacionais a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (pelas siglas em inglês)

SUMARIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 JUSTIFICATIVA, PROBLEMA E HIPÓTESES.....	20
2.1 Justificativa	20
2.2 Problema	20
2.3 Hipóteses.....	20
3 OBJETIVOS	22
3.1 Objetivo Geral	22
3.2 Objetivos Específicos.....	22
4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	23
4.1 Resíduos Sólidos Urbanos.....	23
4.2 Decomposição dos RSU e geração de biogás.....	27
4.2.1 Mecanismos da geração de gás.....	29
4.2.2. Composição do biogás do aterro	32
4.2.3 Fatores que influenciam a produção de biogás.....	34
4.3 Mudanças climáticas e efeito estufa.....	35
4.4 Modelos de geração de biogás.....	36
4.4.1 Modelos de Ordem Zero.....	37
4.4.2 Modelos de Primeira Ordem.....	38
4.5 Modelo do IPCC para o cálculo da geração do biogás.....	38
4.5.1 Determinação do Fator de Correção para o Metano (MCF).....	42
4.5.2 Fração de CH ₄ no gás de aterro gerado (F).....	42
4.5.3 Fator de oxidação (OX)	43
4.5.4 Índice de geração de metano (<i>k</i>).....	43
4.5.5 Carbono Orgânico Degradável (DOC).....	44
4.5.6 Fração do carbono orgânico degradável que se descompõe (DOC _f).....	45
4.5.7 Recuperação de metano (R).....	45

4.5.8 Tempo de atraso.....	46
4.6 Modelação do transporte e dispersão de poluentes	46
4.7 Modelagem da Dispersão de Gases	48
4.7.1 Classes de estabilidade atmosférica.....	51
4.7.2 Coeficientes de dispersão vertical e horizontal.	52
4.8 Poluição atmosférica e saúde humana	56
5 MATERIAL E MÉTODOS	59
5.1 Local de Estudo.....	59
5.2 Área de Estudo.....	62
5.2.1 Situação da coleta dos RSU na Região Metropolitana de Belém.....	64
5.3 Estimativa do metano gerado	64
5.3.1 Método IPCC.....	64
5.3.2 Descrição da composição dos RSU da RMB	64
5.3.3 Diretrizes para aplicação do modelo IPCC.....	66
5.4 Modelagem da dispersão atmosférica.....	67
5.5 Percepção da qualidade do ar pelos moradores	68
5.5.1 Área de aplicação do questionário.....	69
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	70
6.1 Estimativa da Geração dos RSU na RMB.....	70
6.2 Estimativa do biogás gerado pelo método IPCC	71
6.3 Modelagem da dispersão atmosférica do biogás.....	74
6.3.1 Análise dos dados da estação meteorológica Belém	74
6.3.2 Dispersão atmosférica do metano	76
6.3.3 Dispersão do metano no inverno	77
6.3.4 Dispersão de metano no verão.....	84
6.4 Percepção da qualidade do ar	90
6.4.1 Demografia	90

6.4.2 Percepção do impacto no ar.....	91
6.4.3 Percepção sobre a influência do Governo e da Sociedade e Impacto na Saúde.....	93
7 CONCLUSÕES.....	96
REFERÊNCIAS	99
APÊNDICE A – PROGRAMA DA PLUMA GAUSSIANA.....	106
APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO APLICADO.....	117
APÊNDICE C – PROGRAMA PARA PROCESSAR OS DADOS METEOROLÓGICOS.....	119

1 INTRODUÇÃO

A gestão integral dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) continua sendo um tema pendente para a América Latina e o Caribe (ALC). Segundo o Banco Mundial (BM), a geração dos RSU nesta área do mundo deverá aumentar de 130 milhões de toneladas produzidas em 2012 para 220 milhões de toneladas em 2025 (HOORNWEG; BHADA-TATA, 2012).

Na América Latina e o Caribe, a agenda da gestão integral dos RSU possui aspectos que ainda precisam de atenção prioritária, devido a que predomina o subfinanciamento para a disposição final do RSU; Segundo Hoornweg e Gianelli (2009), o gasto médio dos municípios para a gestão do RSU é de 2-8% do orçamento dos municípios. Isso se traduz em vários problemas: a falta de pessoal treinado na gestão de resíduos sólidos (especialmente fora das megacidades da ALC); a cobertura da coleta de RSU, embora seja alta (93%), a diferença entre os países é extrema, assim como os casos do Haiti e da Guatemala; a taxa de disposição adequada de RSU, ainda é baixa, já que apenas 54% dos RSU estão depositadas em aterros sanitários (ONU, 2012). No Brasil, a média nacional de disposição adequada dos RSU é de cerca de 42% (ABRELPE, 2016), no México, de 74,5% (SEMARNAT, 2016), e o Chile, país que reporta a maior disposição na ALC, é de 78% (SUBDERE, 2018).

Além do exposto, o aumento da população, das taxas de geração dos RSU e a baixa educação ambiental da população que despeja seus resíduos em locais públicos, vias públicas, ao ar livre, córregos, rios e lagoas se traduz na deterioração das condições sanitárias urbanas com consequentes problemas de saúde pública e contaminação ambiental (OPAS-AIDIIS-BID, 2010). Questões chave como a interferência do setor privado na gestão dos resíduos sólidos urbanos (recolha e disposição), a inclusão dos catadores (separadores informais de resíduos sólidos) e a influência da disposição dos RSU no contexto de mudança climática, torna o tema da geração dos RSU de uma grande importância na ALC.

O metano (CH_4) é um dos principais Gases de Efeito de Estufa (GEE). A concentração de CH_4 na atmosfera global aumentou em relação a um valor pré-industrial situado entre 715 PPB a 722 PPB (partes por bilhão) (IPCC, 2008; OMM, 2016) até 1732 PPB no início dos anos 90, chegando a 1.774 PPB em 2005 (IPCC, 2008). A concentração atual é de 1845 PPB, por isso, está em mais de 250% do seu nível pré-industrial (OMM, 2016). Anualmente são emitidas 558 milhões de toneladas de CH_4 (GCP, 2016). Quase 40% do CH_4 que é emitido para a

atmosfera vem de fontes naturais (áreas úmidas, cupins, permafrost, lagos, oceanos) enquanto aproximadamente 60% vem de fontes antropogênicas (pecuária ruminante, cultivo de arroz, exploração de combustível fóssil, aterros e combustão de biomassa) (OMM, 2016). Juntamente com a contribuição para o efeito estufa, o CH₄ é localmente um gás que corre o risco de incêndio e explosões, maus odores e toxicidade, danos à vegetação e poluição da água (BÖRJESSON; SVENSSON, 1997; EL-FADEL; FINDIKAKIS; LECKIE, 1997). Se este metano é liberado para a atmosfera, contribui ao aquecimento global 28-36 vezes mais que o Dióxido de Carbono (CO₂) (IPCC, 2008). A redução das emissões de gases de efeito estufa se traduz principalmente na redução das emissões de CH₄ e CO₂ para a atmosfera, o que pode ser feito pela redução de fontes antropogênicas (IPCC, 2001).

O equivalente de dióxido de carbono (CO₂ eq) é uma medida universal usada para indicar a possibilidade de aquecimento global de cada gás de efeito estufa. Ele é usado para avaliar os impactos da emissão (ou evitar a emissão) de diferentes gases que produzem o efeito estufa. O dióxido de carbono, que persiste na atmosfera entre 200 e 450 anos, é definido como um potencial 1 de aquecimento global; O metano persiste na atmosfera 12.4 anos (IPCC, 2015) e tem um GWP₁₀₀ (Potencial de Aquecimento Global, *Global Warming Potential*, pelas siglas em inglês) a 100 anos de 28 (tem 28 vezes a capacidade de aquecimento do dióxido de carbono) (IPCC, 2015); e o Óxido Nitroso (N₂O), que persiste 121 anos e tem um potencial de aquecimento global 265 (IPCC, 2015). A concentração de gases de efeito estufa em 2011 tem uma capacidade de aquecimento equivalente a uma concentração próxima de 430 Partes Por Milhão (PPM), o que é suficientemente para provavelmente aumentar a temperatura a mais de 2 °C (IPCC, 2015).

De acordo com a Organização de Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD pelas siglas em inglês), a contribuição global das emissões de GEE de todos os setores econômicos entre os anos 1990 e 2000, incluindo os resíduos sólidos, foi de 20.973 Mt (megatoneladas) equivalentes de CO₂ (MtCO₂ eq) e 30.523 MtCO₂ eq de 2000 a 2010 (OECD, 2014). No Brasil, em 2016, as emissões de GEE foram de 2.278 MtCO₂ eq com um aumento de 42,4% nos últimos 25 anos (SEEG, 2016b).

Os setores econômicos responsáveis pelas emissões foram: Mudança no Uso da Terra e Silvicultura (51,3%), Agricultura (21,9%), Setor de Energia (18,6%), Processos Industriais (4,2%) e Resíduos (4,0%) (SEEG, 2016a). Em 2016 os principais países emissores de gases de

efeito estufa do sector de resíduos (CO₂ eq) foram China (13%), EUA (11%), México (7%) e Brasil (4%) (SEEG, 2016b).

Na Região Metropolitana de Belém (Pará), o destino final do Resíduo Sólido Urbano (RSU) coletado é a Central de Processamento e Tratamento de Resíduos (CPTR) Marituba ou mais conhecido como aterro de Marituba, de criação recente (2015), que causou descontentamento na população do entorno. As causas podem ser variadas: a sua localização junto ao centro urbano, do tratamento inadequado dos RSU ou uma fiscalização pouco eficiente por parte dos governos envolvidos, etc.

Os moradores do entorno do aterro, situado nas proximidades do rio Uruboca tem sofrido diretamente com o forte odor, problemas de pele, e especialmente contaminação do ar e da água pelo mau tratamento dos RSU. Empresários e pequenos comerciantes também reclamam que a contaminação da água e o mau cheiro, vindo do aterro tem prejudicado o comércio local.

Nessa conjuntura, diversos protestos foram realizados por moradores do município, movimentos sociais, e outros segmentos da sociedade civil, a fim de sinalizar o poder público quanto aos problemas enfrentados no município, cuja reivindicação dá nome ao movimento chamado “fora lixão!”, a qual exige a retirada definitiva do aterro (SANTOS; FONTEL; PEREIRA, 2018).

A CPTR Marituba quando realizado dentro das normas, ainda que danoso ao meio ambiente, seu impacto é menor que um lixão a céu aberto, porque ele possui metodologias de proteção do solo e tratamento para o chorume gerado, a fim de evitar a contaminação dos afluentes.

Atentando para a necessidade de um planejamento e gestão integrada, o aterro sanitário construído no município de Marituba/PA, ainda precisa se adequar as normas para que tenha um bom funcionamento e menos danos a população em seu entorno, os impactos precisam ser minimizados, para que não ocorra a proliferação de vetores, contaminação do solo, águas superficiais, lençol freático, ar, espalhamento de material no entorno, degradação visual paisagística, a exalação de maus odores e a desvalorização econômica de áreas próximas.

O presente trabalho apresenta a tendência futura da geração dos RSU através da estimativa da população e da média da quantidade de resíduos produzidos por habitante, por dia, e do metano gerado por estes resíduos na CPTR Marituba através do modelo para estimativa do metano produzido em aterros sanitários do Painel Intergovernamental de Mudanças

Climáticas (IPCC, pelas siglas em inglês), assim como também modelar a dispersão dos gases produzidos no aterro ao longo do dia utilizando o gás metano como traçador e avaliar a percepção que tem os moradores do entorno do aterro com respeito a mudança da qualidade do ar em diferentes períodos do dia e finalmente avalia os possíveis impactos na saúde que estes gases do aterro poderiam ocasionar na população do entorno.

2 JUSTIFICATIVA, PROBLEMA E HIPÓTESES

2.1 Justificativa

A criação da CPTR Marituba dentro da área urbana parece afetar negativamente a qualidade do ar dos habitantes do entorno, nos municípios de Marituba e Ananindeua no estado do Pará, devido às emissões da decomposição dos RSU, e aparentemente causando desconforto na população circundante.

Na literatura há poucos estudos que estimam as emissões de metano gerados em aterros com enfoque na Região Amazônica e suas características climáticas. E são também poucos os estudos de modelagem das emissões do biogás dos aterros e sua dispersão assim como também as possíveis afetações a saúde humana devido a estes gases.

2.2 Problema

Resíduos sólidos urbanos em aterros e lixões são uma importante fonte antropogênica de Gases de Efeito Estufa (GEE), principalmente o metano, que possui alta capacidade de reter calor na atmosfera.

Neste trabalho verifica-se a influência dos gases da decomposição dos RSU na qualidade do ar e a percepção da população comparando os resultados quantitativos (dispersão atmosférica) com os resultados qualitativos (questionários) utilizando o gás metano como traçador já que este gás é possível ser estimado de forma a buscar uma relação de possível causa e efeito entre os gases do aterro e a qualidade do ar.

2.3 Hipóteses

1. Modelos de predição teóricos de geração e dispersão indicam que a área urbana circundante à CPTR Marituba é atingida de maneira significativa pelas emissões de biogás.

2. A dispersão das emissões de biogás geradas na CPTR Marituba é sentida pelos habitantes do entorno do empreendimento e causa um impacto negativo na qualidade de ar.
3. Existe uma relação entre as simulações da dispersão do metano e da percepção da qualidade do ar com uma variação da intensidade ao longo do dia.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Avaliar a quantidade e a dinâmica de emissão e dispersão do gás de efeito estufa metano na CPTR Marituba, na região metropolitana de Belém, Pará, Brasil e entender a percepção dos habitantes do entorno do aterro quanto a influência do aterro na qualidade do ar e o impacto na saúde.

3.2 Objetivos Específicos

- Estimar a emissão e descrever a tendência a futuro da geração de metano produzido na CPTR Marituba a través do modelo do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, pelas siglas em inglês) para estimação do metano em aterros.
- Modelar a dispersão do metano produzido na CPTR Marituba aplicando um modelo de dispersão atmosférica.
- Avaliar a percepção dos moradores do entorno do aterro com respeito a mudança da qualidade do ar, do impacto na saúde devido à CPTR Marituba por meio de questionários.
- Relacionar os resultados da dispersão atmosférica do gás metano e os resultados dos questionários.

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 Resíduos Sólidos Urbanos

De acordo com a norma 10004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (ABNT, 2004a), resíduos sólidos são:

[...] os restos das atividades humanas, considerados pelos geradores como inúteis, indesejáveis ou descartáveis, podendo-se apresentar no estado sólido, semissólido, ou líquido. As origens das atividades podem ser de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição, além dos lodos provenientes de sistemas de tratamento de água gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição.

A Tabela 1 é um resumo da classificação dos resíduos sólidos de acordo com a ABNT.

Tabela 1 – Classificação dos resíduos sólidos

Tipos de resíduo		Descrição
Resíduos classe I – Perigosos		São aqueles resíduos que devido às suas propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas, podem apresentar risco à saúde pública ou ao meio ambiente.
Resíduos classe II – Não perigosos	Resíduos classe II A – não inertes	São os resíduos que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I ou de resíduos classe II B. Os resíduos classe II A – não inertes podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.
	Resíduos classe II B - inertes	São quaisquer resíduos amostrados de uma forma representativa, submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente e que não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

Fonte: ABNT (2004a, 2004b, 2004c).

Em 2010 foi criada a Política Nacional de Resíduos Sólidos, a qual define obrigações e metas a todos os municípios brasileiros como aproveitamento energético dos gases gerados, decorrentes da disposição final, bem como eliminação dos lixões e recuperação dos passivos ambientais deles decorrentes. Define ainda a Política Nacional de Saneamento, que os municípios devem elaborar planos específicos para os diferentes serviços de saneamento, no qual o manejo dos RSU está incluído (BRASIL, 2007).

Baseado em fundamentos de engenharia e critérios sanitário, a classificação dos Locais de Descarte de Resíduos Sólidos (LDRS) no Brasil é mostrada na Tabela 2.

Tabela 2 - Classificação dos LDRS

LDRS	Descrição
Lixão	Forma inadequada de disposição final de resíduos sólidos urbanos, se caracteriza pela simples descarga sobre o solo, sem medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública. O mesmo que descarga de resíduos a céu aberto ou vazadouro. Os resíduos assim lançados acarretam problemas à saúde pública, como proliferação de vetores de doenças (moscas, mosquitos, baratas, ratos, etc.), geração de maus odores e, principalmente, poluição do solo e das águas subterrânea e superficial pela infiltração de chorume (líquido cor preta, mau cheiroso e de elevado potencial poluidor, produzido pela decomposição de matéria orgânica contida no lixo). Acrescenta-se a esta situação o total descontrole dos tipos de resíduos recebidos nestes locais, verificando-se até mesmo a disposição de dejetos originados de serviços de saúde e de indústrias. Comumente, ainda, associam-se aos lixões a criação de animais e a presença de pessoas (catadores), os quais, algumas vezes, residem no próprio local.
Aterro controlado	É uma técnica de disposição de resíduos sólidos municipais no solo sem causar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, minimizando os impactos ambientais. Esse método utiliza alguns princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos, cobrindo-os como uma camada de material inerte na conclusão de cada jornada de trabalho. Esta forma de disposição produz poluição, porém localizada, pois, similarmente ao aterro sanitário, a área de disposição é minimizada. Geralmente, não dispõe de impermeabilização de base (contendo a qualidade das águas subterrâneas) nem de sistemas de tratamento percolado (termo empregado para caracterizar a mistura entre o chorume, produzido pela decomposição do lixo, e a água de chuva que percola o aterro) ou do biogás gerado. Esse método é preferível ao lixão, mas devidos aos problemas ambientais que causa e aos seus custos de operação, é de qualidade bastante inferior ao aterro sanitário.
Aterro sanitário	O Aterro sanitário é um processo utilizado para a disposição de resíduos sólidos no solo, particularmente lixo domiciliar que, fundamentado em critérios de engenharia e normas operacionais específicas, permite um confinamento seguro em termos de controle de poluição ambiental e proteção à saúde pública. Outra definição o apresenta como forma de disposição final de resíduos sólidos urbanos no solo mediante confinamento em camadas cobertas com material inerte, geralmente solo, segundo normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e a segurança, minimizando os impactos ambientais.

Fonte: IPT (2018).

A Figura 1, figura 2 e figura 3 mostram exemplo de lixão, aterro controlado e aterro sanitário, respectivamente.

Figura 1 - Exemplo de Lixão



Fonte: Brasil (2014).

Figura 2 - Exemplo de Aterro Controlado



Fonte: Marques (2013).

Figura 3 - Exemplo de Aterro Sanitário



Fonte: Revita (2011).

O Brasil em 2017 gerou 71,6 milhões de toneladas de RSU, com composição variável de acordo com a região, entre 0,872 e 1,217 kg/hab/dia, registrando um índice de cobertura de coleta de 91,2 % para o país, o que evidencia que 6,9 milhões de toneladas de resíduos não foram objeto de coleta e, conseqüentemente, tiveram destino impróprio de acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) (ABRELPE, 2017).

A disposição e o tratamento de resíduos sólidos distribuem-se da seguinte forma: 59,1% em aterros sanitários, o restante, que corresponde a 40,9% dos resíduos coletados, é despejado em locais inadequados por 3.352 municípios brasileiros, totalizando mais 29 milhões de toneladas de resíduos em lixões (18%) ou aterros controlados (22,9%), que não possuem o conjunto de sistemas e medidas necessários para proteção do meio ambiente contra danos e degradações, com danos diretos à saúde de milhões de pessoas. Os recursos aplicados pelos municípios em 2017 para fazer frente a todos os serviços de limpeza urbana no Brasil foram, em média, de R\$10,37 por habitante por mês (ABRELPE, 2017).

Os 450 municípios que compõem a região Norte geraram, em 2017, a quantidade de 15.634 toneladas/dia de RSU, das quais um aproximado de 81,3% foi coletado. Dos resíduos coletados na região, 65,3%, correspondentes a 8.295 toneladas diárias, foram encaminhados

para lixões e aterros controlados. Estes municípios aplicaram neste mesmo ano uma média mensal de R\$ 8,17 por pessoa na coleta de RSU e demais serviços de limpeza urbana. A Tabela 3 mostra as diferenças entre a média nacional e a região norte.

Tabela 3 – Média nacional e da região Norte, coleta, disposição e tratamento dos RSU

	Brasil			Região Norte		
Índice de cobertura da coleta de RSU (%)	91,24			81,27		
Geração de RSU per capita (kg/hab/dia)	1,035			0,872		
Coleta de RSU per capita (kg/hab/dia)	0,944			0,708		
Recursos aplicados na coleta de RSU al (R\$ milhões/ano) / Per capita (R\$/mês)	4,07			3,24		
Recursos aplicados nos demais serviços de limpeza urbana* al (R\$ milhões/ano) / Per capita (R\$/mês)	6,30			4,93		
Disposição final de RSU (%)	Aterro Sanitário	Aterro controlado	Lixão	Aterro Sanitário	Aterro controlado	Lixão
	59,1	22,9	18	34,7	29,7	35,6

* Incluídas as despesas com a destinação final dos RSU e com serviços de varrição, capina, limpeza e manutenção de parques e jardins, limpeza de córregos, etc.

Fonte: ABRELPE (2017).

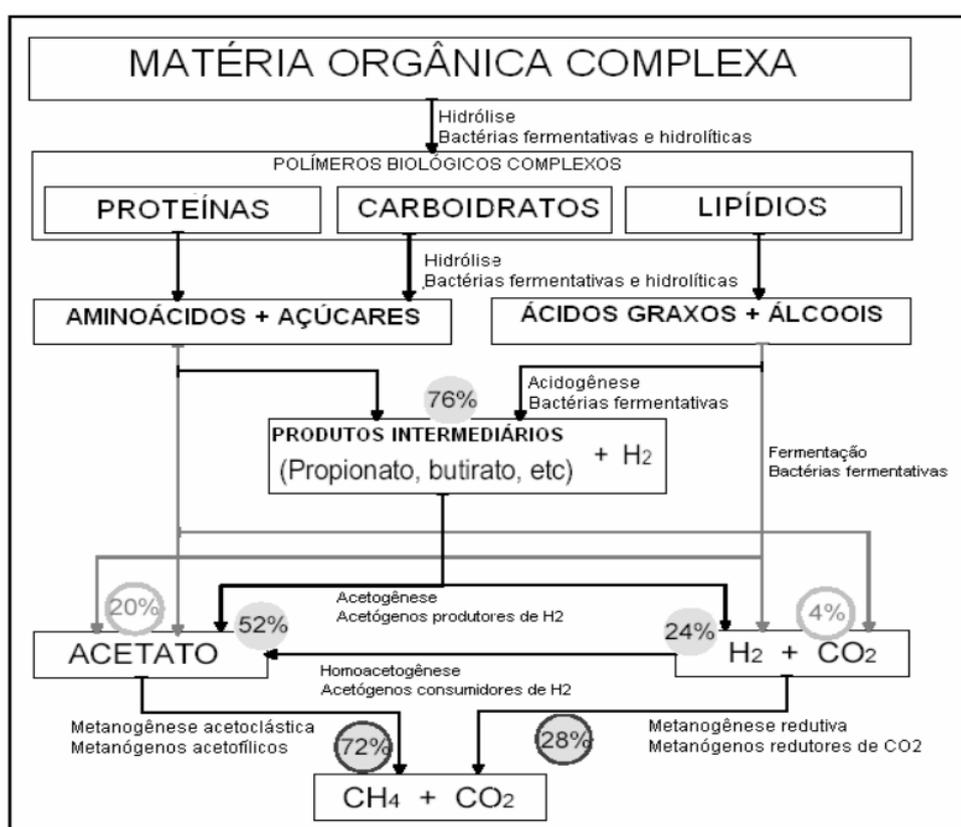
A excessiva geração dos RSU e a disposição inadequada dos mesmos podem ocasionar poluição e degradação do meio ambiente tendo como consequência a perda da qualidade de vida das gerações atuais e futuras (RODRIGUES, 2009).

4.2 Decomposição dos RSU e geração de biogás

A decomposição da matéria orgânica ocorre por dois processos, o primeiro processo é de decomposição aeróbia e ocorre normalmente no período de deposição do resíduo. Após este período, a redução de Oxigênio (O₂) presente nos resíduos dá origem ao processo de decomposição anaeróbia. O gás proveniente da decomposição dos resíduos do aterro conhecido como biogás ou gás de aterro é produzido por uma sequência de processos físicos, químicos e biológicos desenvolvidos dentro dele explicados mais adiante. A composição do gás depende fortemente da composição e idade dos resíduos depositados (TCHOBANOGLIOUS; THEISEN; VIGIL, 1994).

A decomposição da matéria orgânica complexa é apresentada em Lobo (2003), como uma série de etapas de degradação anaeróbica que começam pela hidrólise do sólido orgânico, dando origem a polímeros mais simples como proteínas, carboidratos e lipídios que, por sua vez, são hidrolisados e formam açúcares, aminoácidos e ácidos graxos voláteis de alto peso molecular. Os aminoácidos e açúcares são transformados em produtos intermediários (ácidos voláteis) ou são fermentados produzindo Ácido Acético (CH_3COOH), em ambos os casos é gerada Amônia (NH_3). Os ácidos graxos de cadeia longa são decompostos em produtos intermediários e Hidrogênio (H_2). Os produtos da degradação final são o dióxido de carbono e o metano. A Figura 4 resume as etapas de decomposição apresentadas acima.

Figura 4 - Esquema de reações de digestão anaeróbica de materiais polímeros



Fonte: Lobo (2003).

Os resíduos orgânicos podem ser classificados como materiais de decomposição rápida (de alguns meses a cinco anos) e de degradação lenta (entre cinco e 50 anos), sendo que em condições normais de temperatura e pressão a taxa de decomposição atinge um pico entre o primeiro e o segundo ano e diminui continuamente ao longo dos anos. A Tabela 4 apresenta a classificação desses resíduos normalmente encontrados no lixo urbano.

Tabela 4 - Componentes dos resíduos sólidos quanto a biodegradação

Componente do lixo orgânico	Biodegradável	
	Rapidamente	Lentamente
Restos de alimentos	X	
Jornais	X	
Papel de escritório	X	
Papelão	X	
Plásticos^a		X
Resíduos Têxtis		X
Borrachas		X
Couro		X
Folhas e grama	X	
Madeira		X

^a Os plásticos são considerados como biodegradáveis

Fonte: Tchobanoglous; Theisen; Vigil (1994).

4.2.1 Mecanismos da geração de gás

A geração de gás é produzida por três mecanismos diferentes (TCHOBANOGLIOUS; THEISEN; VIGIL, 1994).

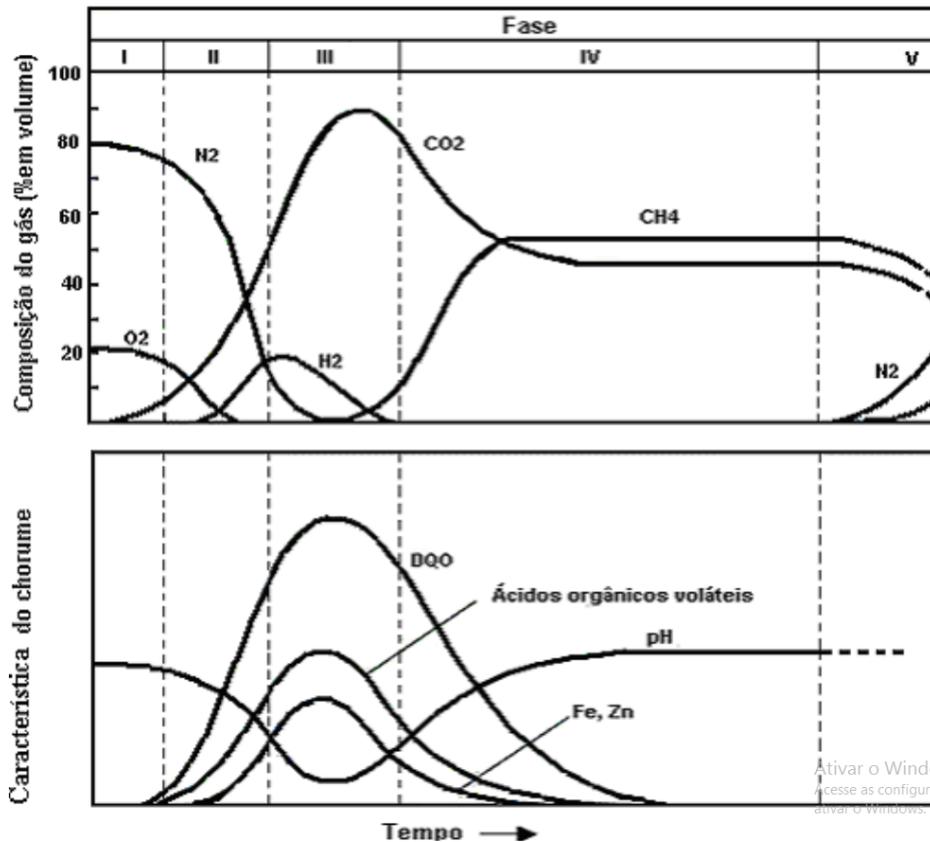
Evaporação / Volatilização: O gás é produzido quando os compostos orgânicos voláteis dentro do aterro se volatilizam até que a concentração de vapor na fase gasosa atinja um novo equilíbrio. O processo é acelerado quando o rejeito se torna biologicamente ativo como resultado do aumento da temperatura devido à atividade bacteriana. A taxa a que os compostos vaporizam depende das características químicas dos compostos.

Reações químicas: Podem ocorrer entre diferentes materiais e elementos presentes nos resíduos e, como resultado, podem gerar gases. Eles costumam ocorrer quando dois materiais incompatíveis são descartados incorretamente.

Degradação biológica: Os aterros sanitários produzem grandes quantidades de biogás, sendo seus principais componentes o metano e o dióxido de carbono. A geração de gás ocorre como resultado da ação de bactérias que decompõem matéria orgânica em condições aeróbicas e anaeróbicas.

De todos os mecanismos, o mais importante na geração de gás é o da degradação biológica. A geração dos principais gases do aterro sanitário é produzida em cinco ou menos fases sequenciais. Estas fases são ilustradas na Figura 5. Em seguida, cada um destes é descrito (TCHOBANOGLIOUS; THEISEN; VIGIL, 1994):

Figura 5 - Fases de formação do biogás nos aterros sanitários



Fonte: Tchobanoglous; Theisen; Vigil (1994).

Fases da geração de gás por degradação biológica:

Fase I. Ajuste inicial. Nesta fase, a decomposição biológica ocorre em condições aeróbicas porque, geralmente, há sempre uma certa quantidade de ar preso dentro do aterro sanitário. A principal fonte de organismos aeróbicos e anaeróbicos é o material do solo que é usado como cobertura diária e final. Outras fontes de organismos são a recirculação do lixiviado.

Fase II. Fase de transição. Nesta fase, a concentração de oxigênio diminui e as condições anaeróbicas começam a se desenvolver. Os membros da comunidade microbiana responsável pela conversão de material orgânico do RSU em metano e dióxido de carbono iniciam um processo em três etapas, com a conversão de material orgânico complexo em ácidos orgânicos e outros produtos intermediários, conforme descrito na fase III.

Fase III. Fase ácida. Aqui, a atividade microbiana iniciada na fase II é acelerada com a produção de quantidades significativas de ácidos orgânicos e pequenas quantidades de gás hidrogênio. O primeiro passo no processo de três etapas envolve a transformação, mediada por enzimas (hidrólise), de compostos de alto peso molecular em compostos adequados para uso por microrganismos como fontes de energia e carbono celular. O segundo passo no processo (acidogênese) envolve a conversão microbiana dos compostos resultantes do primeiro passo em compostos intermediários de baixo peso molecular, tais como ácido acético e pequenas concentrações de ácido fúlvico e outros ácidos mais complexos. O dióxido de carbono é o principal gás gerado durante a fase III. Também serão produzidas pequenas quantidades de gás hidrogênio. Os microrganismos envolvidos na conversão, coletivamente chamados de não-metanogênicos, são bactérias anaeróbicas facultativas e obrigatórias.

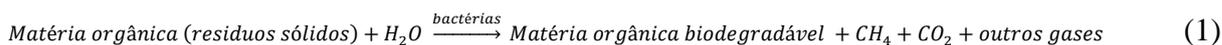
O Potencial de Hidrogênio (pH) do lixiviado diminuirá para um valor de 5 ou menos, devido à presença de ácidos orgânicos e às altas concentrações de CO₂ no aterro. Ao mesmo tempo, a demanda química e bioquímica de oxigênio aumentará e alguns constituintes inorgânicos também serão solubilizados, principalmente metais pesados, devido aos baixos valores de pH do lixiviado.

Fase IV. Fase de fermentação de metano. Nesta fase, um segundo grupo de microrganismos converte o ácido acético e o gás hidrogênio produzidos pelos formadores de ácido na fase ácida em CH₄ e CO₂. Em alguns casos, esses microrganismos começarão a desenvolver-se no final da fase III. Na fase IV, a formação de metano e ácido ocorre simultaneamente, embora a taxa de formação de ácido seja consideravelmente reduzida. Nesta fase, o pH dentro do aterro aumentará para valores na faixa de 6,8 a 8, pois os ácidos e o hidrogênio produzidos são convertidos em CH₄ e CO₂ na fase IV.

Fase V. Fase de maturação. A fase V ocorre depois que o material orgânico biodegradável é convertido em CH₄ e CO₂ durante a fase IV. Enquanto a umidade continua a migrar através dos resíduos, as porções de material biodegradável que anteriormente não estavam disponíveis são convertidas. Durante a fase V, a velocidade da geração de gás de aterro diminui significativamente, porque a maioria dos nutrientes disponíveis foram separadas com o lixiviado durante as fases anteriores, e os substratos que permanecem no aterro são de baixa degradação. Os principais gases de aterro que evoluíram na fase V são CH₄ e CO₂. Dependendo das medidas de vedação do aterro, pequenas quantidades de nitrogênio e oxigênio também

podem ser encontradas no gás de aterro sanitário. Durante a fase de maturação, o lixiviado conterá frequentemente ácidos húmicos e fúlvicos, que são difíceis de degradar biologicamente.

A reação química generalizada para a decomposição anaeróbia de resíduos sólidos pode ser escrita da seguinte maneira (equação 1):



4.2.2. Composição do biogás do aterro

O gás de aterro é composto de vários gases que estão presentes em grandes quantidades (gases principais) e vários gases presentes em pequenas quantidades (oligogases). Geralmente, o gás de aterro é composto por aproximadamente 50% de gás metano (CH₄) e 50% de dióxido de carbono (CO₂) (USEPA, 2005). A Tabela 5 mostra a composição típica dos gases encontrados em um aterro de RSU e as propriedades físicas.

Tabela 5 - Componentes típicos encontrados no gás de aterro sanitário de RSU e propriedades físicas

Componente	Porcentagem (base volume seco)
Metano	45 - 60
Dióxido de carbono	40 - 60
Nitrogênio	2 - 5
Oxigênio	0,1 - 1,0
Sulfetos, dissulfetos, mercaptanos, etc.	0 - 1,0
Amônia	0,1 - 1,0
Hidrogênio	0 - 0,2
Monóxido de carbono	0 - 0,2
Constituintes em traços	0,01 - 0,6
Propriedades físicas	
Temperatura	37 – 67 °C
Densidade específica	1,02 – 1,06
Teor de umidade	Saturado
Maior poder calorífico, Kcal / m³	890 – 1.23

Fonte: Tchobanoglous; Theisen; Vigil (1994).

Os principais componentes do gás são o metano e o dióxido de carbono, embora mais de cem compostos diferentes tenham sido identificados em gases extraídos de aterros sanitários. A distribuição exata do percentual de gases variará conforme a antiguidade do aterro. (TCHOBANOGLIOUS; THEISEN; VIGIL, 1994).

No Brasil Brito Filho (2005) relata valores de metano variando entre 44 e 76% e valores de dióxido de carbono variando entre 8 e 15% no aterro sanitário de Nova Iguaçu, localizado na região metropolitana do Rio de Janeiro. Para o aterro controlado “Terra Brava” também localizado na região metropolitana do Rio de Janeiro, o autor relata quantidades de metano variando entre 40 e 76%, para valores de dióxido de carbono variando entre 7 e 15%.

Real (2005) apresenta quantidades de metano variando entre 64 e 72% e valores de dióxido de carbono inferiores a 10% no Lixão de Paracambí, localizado no Município de Paracambí, Estado do Rio de Janeiro.

O nível de concentração para qual o gás tem potencial para explodir é chamado de limite de explosividade. O potencial para um gás explodir é determinado pelo Limite de Explosividade Inferior (LEL) e Limite de Explosividade Superior (UEL).

O LEL e UEL são medidas de porcentagem de um gás no ar em volume. Para concentração abaixo do LEL e acima do UEL, o gás é considerado não explosivo. Contudo, um risco de explosão pode existir se o gás estiver presente no ar entre o LEL e UEL mediante a presença de uma fonte de ignição, como uma faísca gerada por atrito ou eletricidade (ATSDR, 2005).

A Tabela 6 mostra o potencial de perigo de explosão causado pelos constituintes importantes do biogás de aterro. O metano é o mais provável constituinte biogás de aterro que pode levar em um risco de explosão. Outros constituintes inflamáveis no biogás de aterro são pouco prováveis de estarem presentes em concentrações altas para causar um perigo de explosão.

Tabela 6 - Potencial de perigo de explosão de componentes comuns do biogás

Componente	Potencial causador de risco de explosão
Metano (CH₄)	É altamente explosivo quando misturado com o ar em um volume entre 5% de LEL e 15% de UEL. Para concentrações abaixo e 5% e acima de 15%. O metano não é inflamável. Para alguns aterros, o metano pode ser produzido em quantidades suficientes para coleta no aterro ou estruturas próximas em níveis de explosão.
Dióxido de Carbono (CO₂)	Não é inflamável ou explosivo.
Nitrogenio (N₂)	Não é inflamável ou explosivo.
Oxigenio (O₂)	Não é inflamável, porem para iniciar explosões é necessário o oxigênio.
Amonia (NH₃)	É inflamável. O LEL é 15% e o UEL é 28%. Contudo, é improvável à coleta da amônia em uma concentração bastante alta, por trazer um perigo de explosão.
NMOCs	Potencial de perigos de explosão varia pela química do componente. Por exemplo, o LEL do benzeno é 1,2% e o UEL é 7,8%. Contudo, o benzeno e outros NMOCs sozinhos são improváveis de serem coletados em concentrações altas ou bastantes para trazer perigos de explosão.

Fonte: ATSDR (2005).

4.2.3 Fatores que influenciam a produção de biogás

A duração das fases individuais da produção de biogás variará de acordo com a composição do lixo, a umidade do lixo, a idade do lixo, a temperatura interna do aterro e o pH do aterro (US EPA, 1991) a descrição de cada fator é mostrada na Tabela 7.

Tabela 7 - Fatores que influenciam as fases de produção de biogás

Fatores de influência	Descrição dos fatores
Composição do lixo	Quanto maior a porcentagem de materiais biodegradáveis, maior a taxa de geração de gases. O lixo pode ter uma composição variada ao longo do ano dependendo do clima, dos hábitos de consumo da população local ou de fatores sazonais.
Umidade do lixo	A umidade alta (entre 60 e 90 %) pode aumentar a produção de biogás.
Idade do lixo	RSU aterrados entre 2 e 5 anos tem maior potencial de geração de gás de aterro, entretanto a duração de cada fase e o tempo de produção de metano depende das condições específicas de cada aterro.
Temperatura interna do aterro	A produção de metano é afetada pela temperatura. A temperatura ideal para a digestão anaeróbica está entre 29 °C e 38 °C para as bactérias mesófilas e entre 49 °C e 70 °C para as termofílas.
pH do aterro	O pH ótimo para a produção de metano está entre 7,0 e 7,2. Inicialmente os aterros apresentam pH ácido, que tende a se aproximar da neutralidade, a partir da fase metanogênica.

Fonte: USEPA (1991).

A taxa de decomposição de resíduos em aterros sanitários (medida pela produção de biogás) geralmente atinge seu máximo nos dois primeiros anos. A partir desse momento, cai lentamente, podendo manter durante períodos de 25 anos ou mais.

De acordo com Themellis e Ulloa (2007) com base na informação teórico-experimental apresentada em seus trabalhos, pode-se supor que em certas condições, pelo menos 50% do metano latente no RSU pode ser formado no primeiro ano de permanência dos resíduos no aterro, enquanto a área de aterro não está fechada e a água da chuva pode se infiltrar e percolar na massa de resíduos. Estes dados corresponderiam a cerca de 50 Nm³ de metano / tonelada de RSU.

4.3 Mudanças climáticas e efeito estufa

O efeito estufa antrópico e o aquecimento global ganharam uma grande notoriedade a partir da década dos anos 70 com a propagação das discussões sobre problemas ambientais a nível global nas pautas de encontros científicos e dos meios de comunicação levando a criação do IPCC em 1988, pois se suspeitava que o aquecimento do planeta pudesse levar a alterações dos padrões climáticos. A cada dia são publicados mais estudos indicando que o aquecimento do planeta vem sendo observado nas últimas décadas é de certa forma incomum, quando se tem por referência o período anterior à influência humana no ambiente, como observado com o advento da Revolução Industrial (CETESB, 2016).

O efeito estufa é um fenômeno que ocorre naturalmente no planeta e é responsável pela temperatura da atmosfera terrestre. A Terra recebe incidência dos raios solares que sofrem reflexões em partículas existentes na atmosfera, porém a maior parte deles incide sobre a superfície, aquecendo-a. Na superfície, os raios sofrem reflexão e a fração correspondente ao comprimento de onda na faixa do infravermelho, é absorvido por alguns gases que retém esse calor, ocasionando o efeito estufa. O potencial de aquecimento global do metano (GWP) tomando como base o CO₂, para um horizonte de 100 anos, é igual a 28 (IPCC, 2015).

Há basicamente, duas alternativas para a redução de emissões de metano em aterros. A primeira é a redução da disposição de resíduos orgânicos em LDRS, assim evitando a produção do gás no futuro (coleta seletiva, reciclagem, reutilização, por exemplo). A segunda é a captação

e extração do gás do aterro através de drenos, assim destinando o gás para alguma alternativa que leve a destruição total ou parcial (queima do gás principalmente) (IPCC, 2007).

A estimativa das emissões de gases de efeito estufa no Brasil é realizada nas Comunicações Nacionais à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC, acrônimo em inglês) atende nos seguintes setores: Energia, Processos Industriais, Uso de Solventes e outros Produtos, Agropecuária, Mudança do Uso da Terra e Florestas, e Tratamento de Resíduos. No Brasil já houve três Comunicações Nacionais: a primeira comunicação estimou as emissões de GEE entre 1990 e 1994 (VIERA, 2002) e a segunda comunicação atualiza as informações do Inventário anterior e estima as emissões de GEE até 2005, portanto, o período da segunda comunicação é de 1990 até 2005 (CETESB, 2010) e a terceira que faz uma revisão das estimativas referentes ao período de 1990 a 2005 (já contempladas no inventário anterior) e o acréscimo de estimativas para o período de 2006 a 2010, buscando refinamentos metodológicos no limite da fronteira do conhecimento (CETESB, 2016). A metodologia para estimar as emissões é definida pelo IPCC de forma que países de todo o mundo tenham a mesma base de cálculo e possam comparar suas emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE). A Tabela 8 mostra as emissões de CH₄ pelo tratamento de resíduos no Brasil, conforme a Terceira Comunicação.

Tabela 8 - Emissões de CH₄ no Brasil, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010

Setor	Emissões (Gg.CH ₄ .ano)				
	1990	1995	2000	2005	2010
Tratamento de Resíduos	1.173,7	1.418,7	1.754,2	2.062,0	2.462,7

Fonte: (CETESB, 2016).

4.4 Modelos de geração de biogás

Os modelos de geração de biogás descrevem em termos simples as mudanças complexas que ocorrem durante o processo de decomposição em um aterro sanitário para determinar a quantidade de metano gerada ao longo do tempo.

A produção de biogás pode ser determinada usando modelos de ordem zero, primeira ordem e segunda ordem. Pesquisas recentes indicam que os modelos de ordem zero geram resultados não confiáveis devido a erros importantes nas simplificações. Os modelos de ordem

superior apresentam resultados mais ajustados à realidade quando comparados com as medidas feitas no campo. O uso de um modelo de segunda ordem em vez de um modelo de primeira ordem gera mais complicações na modelagem e na determinação dos parâmetros necessários para introduzir os modelos, devido a isso a melhora na precisão das previsões normalmente não justifica o esforço. Consequentemente, a maioria dos modelos mais utilizados baseia-se em um modelo de primeira ordem e alternativas deste tipo de modelos (AMINI *et al*, 2012; LAMBORN, 2012).

4.4.1 Modelos de Ordem Zero

Este modelo gera uma abordagem bruta para a produção de biogás em aterros em operação. O modelo determina a taxa de geração de metano independentemente da quantidade de matéria orgânica remanescente no substrato e, da quantidade de gás gerada antecipadamente. O modelo é dado pela equação 2 (KAMALAN; SABOUR; SHARIATMADARI, 2011):

$$Q = \frac{ML_0}{t_f - t_0} \quad (2)$$

Onde:

Q = taxa de geração de metano [m³ / ano]

M = massa de resíduos dispostos [Ton]

L₀ = potencial de geração de metano [m³ / Ton]

t₀ = Tempo de atraso antes do início da geração [anos]

t_f = momento em que termina [anos]

O potencial de geração de metano (**L₀**) é uma função quase exclusiva da composição dos resíduos. Seu valor é estimado com base no teor de carbono dos resíduos, a fração de carbono biodegradável e um fator de conversão estequiométrica.

Claramente esta estimativa de fluxo é constante durante todo o intervalo de tempo considerado, e não expressa nenhuma variação na atividade da geração de metano. Sendo, assim, uma aproximação grosseira.

4.4.2 Modelos de Primeira Ordem

Este método formula uma hipótese que o componente orgânico degradável (Carbono Orgânico Degradável, DOC do inglês *Degradable Organic Carbon*) dos resíduos se descompõe gradativamente, durante o qual o CH₄ e o CO₂ são formados. Se as condições permanecem constantes, a taxa de produção de CH₄ depende unicamente da quantidade de carbono restante no lixo. Segue-se que as emissões de CH₄ geradas pelos resíduos depositados em um aterro sanitário são as mais elevadas nos primeiros anos após a eliminação e que, então, estas decaem como o carbono degradável dos resíduos e este é consumido por bactérias responsáveis pela decomposição.

4.5 Modelo do IPCC para o cálculo da geração do biogás

O modelo adotado pelo Painel Intergovernamental de Mudanças climáticas (IPCC) na versão 2006 segue o princípio de cinética de primer ordem e considera que a emissão de CH₄ persiste ao longo de uma série de anos, após a disposição do resíduo. Para a sua aplicação, são necessários dados relativos ao clima (medias anuais de temperatura e chuva), a quantidade de resíduo aterrada, à composição do resíduo, à qualidade de operação do aterro e as quantidades de CH₄ recuperada. (IPCC, 2000).

O modelo de IPCC é multifásico, considera a massa dos resíduos sólidos como sendo composto de diferentes categorias (papel e papelão, têxtil, alimentos, madeira, borracha e couro), cada uma com a sua própria taxa de decaimento e DOC (ver Tabela 9). O modelo então calcula as emissões de CH₄ de cada categoria (a fase), e o resultado é a combinação das emissões das fases. Se as condições permanecerem constantes, a taxa de produção de CH₄ depende apenas da quantidade de carbono remanescente no resíduo. Conclui-se que as emissões de CH₄ geradas pelos resíduos depositados em um aterro são as maiores durante os primeiros

anos após o descarte e que, então, esse decaimento como o carbono degradável dos resíduos é consumido pelas bactérias, responsável pela decomposição (IPCC,2006).

Tabela 9 - Faixas de valores de Carbono Orgânico Degradável (DOC) para as diferentes frações de RSU

Fração de resíduo correspondente	Teor de DOC em % de resíduos úmidos		Teor de DOC em % de resíduos secos	
	Padrão	Faixa	Padrão	Faixa
Papel e papelão	40	36-45	44	40-50
Têxtil	24	20-40	30	25-50
Resíduos de alimentos	15	8-20	38	20-50
Madeira	43	39-46	50	46-54
Resíduos de jardins e parques	20	18-22	49	45-55
Fraldas	24	18-32	60	44-80
Borracha e couro	39	39	47	47
Plásticos	-	-	-	-
Metal	-	-	-	-
Vidro	-	-	-	-
Outros, resíduos inertes	-	-	-	-

Fonte: IPCC (2006).

No modelo IPCC, as emissões de CH₄ provenientes da eliminação de resíduos sólidos nos aterros sanitários, para um ano específico, são estimadas utilizando a equação 3 (IPCC, 2006):

$$Emissões\ de\ CH_4 = \left[\sum_X CH_4gerado_{x,T} - R_T \right] \cdot (1 - OX_T) \quad (3)$$

Onde:

Emissões de CH₄ = CH₄ emitidas durante o ano T, [Gg]

T = ano de inventário

x = categoria ou tipo de resíduos e / ou material

R_T = CH₄ recuperado durante o ano T, [Gg]

OX_T = fator de oxidação durante o ano T, [fração]

O CH₄ potencial que é gerado através dos anos se calcula sobre a base das quantidades e da composição dos RSU no aterro e das práticas de gestão dos resíduos que são realizados nestes. A base para o cálculo é a quantidade de carbono orgânico degradável dissolvido

(DDOC_m) (equação 4) que é a parte do carbono orgânico que se degrada em condições anaeróbicas nos aterros (o índice m faz referência à massa).

$$DDOC_m = W \cdot DOC \cdot DOC_f \cdot MCF \quad (4)$$

Onde:

DDOC_m = massa do DDOC depositado, [Gg]

W = massa dos resíduos depositado, [Gg]

DOC = carbono orgânico degradável durante a deposição, fração, [Gg de C/Gg de resíduos]

DOC_f = fração do DDOC que pode se decompor (fração)

MCF = Fator de correção de CH₄ para a decomposição aeróbica durante o ano de deposição (fracção)

Embora o potencial de geração (L_o) de CH₄ não é usada explicitamente nas diretrizes de 2006 é igual ao produto de DDOC_m, a concentração de CH₄ no gás (F) e o cociente do peso molecular do CH₄ e o C (16/12).

$$L_o = DDOC_m \cdot F \cdot 16/12 \quad (5)$$

Onde:

L_o = Potencial de geração de CH₄, [Gg de CH₄]

DDOC_m = massa do DOC dissolvido depositado, Gg

F = Fracção de CH₄ no gás de aterro gerado (fracção de volume)

16/12 = Cociente de pesos moleculares CH₄/C (cociente)

Numa reação de primeira ordem, a quantidade de produto é sempre proporcional à quantidade de material reativo, isto quer dizer que o ano no qual o material de resíduo foi depositado no aterro, não é pertinente para determinar a quantidade de CH₄ gerado cada ano. O que conta é a massa total do material em decomposição que existe atualmente no sitio.

Isto significa também que quando se conhece a quantidade de material em decomposição nos aterro ao começo do ano, no método de estimação, cada ano pode ser considerado como o ano 1 e os cálculos básicos de primeira ordem podem efetuar-se com estas

duas equações simples (6 e 7), onde a reação de decomposição começa o 1 de janeiro de cada ano posterior à eliminação.

$$DDOCma_T = DDOCmd_T + (DDOCma_{T-1} \cdot e^{-k}) \quad (6)$$

$$DDOCmdescomp_T = DDOCma_{T-1} \cdot (1 - e^{-k}) \quad (7)$$

Onde:

T = Ano do inventario

DDOCma_T = DDOCm acumulado no aterro ao final do ano T, Gg

DDOCma_{T-1} = DDOCm acumulado no aterro ao final do ano (T-1), Gg

DDOCmd_T = DDOCm depositado no aterro durante o ano T, Gg

DDOCm descomp_T = DDOCm decomposto no aterro durante o ano T, Gg

k = constante de reação, $k = \ln(2)/t_{1/2}$ (anos⁻¹)

t_{1/2} = vida média (anos)

Para estimar a quantidade de CH₄ que é gerado a partir do material que é susceptível de decompor-se, se multiplica a fracção de CH₄ contenda no gás de aterro gerado pelo cociente de pesos moleculares CH₄/C (equação 7):

$$CH_4gerado_T = DDOCmdecomp_T \cdot F \cdot 16/12 \quad (8)$$

Onde:

CH₄gerado_T = quantidade CH₄ gerado a partir do material em decomposição

DDOCm descomp_T = CH₄ decomposto durante o ano T, Gg

F = fracção volumétrica de CH₄ no gás de aterro gerado (fracção)

16/12 = cociente de pesos moleculares CH₄/C (cociente)

O modelo simples de planilha para o Modelo de Resíduos do IPCC foi desenvolvido com base nas Equações 6 e 7 discutidas acima. A planilha mantém um total atualizado da quantidade de DDOC decomposta no local de disposição que contabiliza o valor depositado a cada ano e o valor restante dos anos anteriores. Ele é usado para calcular a quantidade de DOC que é decomposta em CH₄ e CO₂ a cada ano.

A planilha também permite que os usuários definam um intervalo de tempo entre a deposição dos resíduos e o início da geração de CH₄. Isto representa o tempo necessário para que uma quantidade substancial de CH₄ seja gerada a partir dos resíduos. O modelo calcula depois a quantidade de CH₄ gerado a partir DDOC_m e subtrai o CH₄ recuperado e o CH₄ oxidado sobre o material de cobertura e resulta na quantidade de CH₄ emitida.

4.5.1 Determinação do Fator de Correção para o Metano (MCF)

O IPCC (2006), no documento guia para a realização de inventários de gases de efeito estufa, propõe valores do fator de correção de metano (MCF pelas siglas em inglês) em função do tipo de aterro onde se realiza a disposição dos RSU. Classifica os LDRS em quatro categorias e designa um valor de MCF a cada um deles como é mostrado na Tabela 10. Se proporciona um valor por defeito para os países onde não se conhece a quantidade de resíduos dispostos em cada aterro. A classificação dos aterros em gerenciado ou não gerenciado pode variar depois de alguns anos na medida em que se implementam políticas nacionais de gestão de resíduos.

Tabela 10 - Classificação dos aterros e fatores de correção do metano (MCF)

Tipo de sítio	Valores por defeito do Fator de correção de metano (MCF, do inglês, <i>Methane Correction Factor</i>)
Gerenciado – anaeróbico	1,0
Gerenciado – semi-anaeróbico	0,5
Não gerenciado – profundo (>5m de resíduos) e/ou camada freática elevada	0,8
Não gerenciado – pouco profundo (<5m de resíduos)	0,4
Aterro não categorizado	0,6

Fonte: IPCC (2000).

4.5.2 Fração de CH₄ no gás de aterro gerado (F)

Nos aterros, a maior parte dos resíduos geram um gás com aproximadamente 50 por cento de CH₄. Somente os materiais que tem quantidades elevadas de gordura ou óleo podem gerar gás com muito mais do 50 por cento de CH₄. Pelo tanto, o valor por defeito do IPCC para a fracção de CH₄ no gás de aterro gerado é (0,5) (IPCC, 2006).

4.5.3 Fator de oxidação (OX)

O Fator de Oxidação (OX) refere-se à quantidade de metano procedente dos aterros que se oxida no solo ou em outros materiais que cobrem os resíduos. Estudos realizados demonstram que os aterros bem gerenciados têm índices de oxidação mais elevados que os aterros não gerenciados. O fator de oxidação nos sítios cobertos com camadas grossas de materiais bem areados pode diferir de maneira significativa dos sítios sem cobertura ou onde grandes quantidades de CH₄ podem se escapar através de fraturas e/ou fissuras na cobertura de proteção (IPCC, 2006).

O valor por defeito para o fator de oxidação é zero. O uso do valor de oxidação 0,1 é justificado nos aterros cobertos e bem gerenciados para estimar tanto a difusão através da cobertura como as fugas através das fraturas e/ou fissuras. O uso de um valor de oxidação maior que 0,1 deve ser claramente documentado, referenciado e sustentado com dados pertinentes para as circunstâncias nacionais. É importante lembrar que todo CH₄ recuperado deve se restar da quantidade gerada antes de aplicar um fator de oxidação (IPCC, 2006).

Tabela 11 - Fatores de oxidação (OX) para os LDRS

Tipo de sítio	Fator de oxidação (OX)
	Valores por defeito
Aterro gerenciado¹, não gerenciado e não categorizado	0
Gerenciado coberto com material oxidante do CH₄²	0,1

¹ Gerenciado, mas não coberto com material areado

² Exemplos: solo, abono orgânico (*compost*)

Fonte: IPCC (2006).

4.5.4 Índice de geração de metano (*k*)

O índice de geração de CH₄ (*k*) representa a taxa de decomposição biológica, à qual produz o CH₄, depois de ser depositado o resíduo. Seu valor é determinado por fatores associados à composição de resíduo e às condições da região onde se localiza o aterro, como por exemplo: a composição do resíduo, a temperatura média anual, a precipitação média anual e o potencial de evapotranspiração (IPCC, 2000, 2006). Para utilizar os valores padrão para *k*, é preciso conhecer informações sobre o clima da região onde o estudo é realizado, como

Temperatura Média Anual (MAT), Precipitação Média Anual (MAP) e Potencial de Evapotranspiração (PET), tal como é expresso na Tabela 12.

Tabela 12 - Índice de geração de metano (k)

Tipo de resíduos		Zona Climática							
		Boreal e temperado (MAT ≤ 20° C)				Tropical (MAT ≥ 20° C)			
		MAT ≤, 20°C				MAT ≤, 20°C			
		Seco (MAP/PET < 1)		Úmido (MAP/PET > 1)		Seco (MAP < 1000mm)		Úmido e seco (MAP ≥ 1000mm)	
		Padrão	Faixa	Padrão	Faixa	Padrão	Faixa	Padrão	Faixa
Resíduos de degradação lenta	Resíduos de papel/ têxteis	0,04	0,03 - 0,05	0,06	0,05 - 0,07	0,045	0,04 - 0,06	0,07	0,06 - 0,085
	Resíduos de madeira/palha	0,02	0,01 - 0,03	0,03	0,02 - 0,04	0,025	0,02 - 0,04	0,035	0,03 - 0,05
Resíduos de degradação moderada	Outros putrescíveis orgânicos (não alimentícios) / resíduos de jardim e parques	0,05	0,04 - 0,06	0,1	0,06 - 0,1	0,065	0,05 - 0,08	0,17	0,15 - 0,2
Resíduos de degradação rápida	Resíduos alimentícios / lodo de esgoto	0,06	0,05 - 0,08	0,185	0,1 - 0,2	0,085	0,07 - 0,1	0,4	0,17 - 0,7
Resíduos brutos		0,05	0,04 - 0,06	0,09	0,08 - 0,1	0,065	0,05 - 0,08	0,17	0,15 - 0,2

Fonte: IPCC (2003).

4.5.5 Carbono Orgânico Degradável (DOC)

O carbono orgânico degradável (DOC) é o carbono orgânico dos rejeitos que pode aceder a decomposição bioquímica e deve se expressar em Gg de C por Gg de rejeitos. DOC nos resíduos brutos é estimado com base na composição dos resíduos e pode ser calculado a partir da média ponderada do teor de carbono degradável dos vários componentes (tipos e / ou materiais residuais) do fluxo de resíduos (IPCC, 2006). A equação seguinte permite estimar o DOC com os valores da composição do carbono padrão (equação 9):

$$DOC = \sum_i(DOC_i \cdot W_i) \quad (9)$$

Onde:

DOC = Fração do carbono orgânico degradável nos resíduos brutos, Gg de C/Gg de resíduos

DOC_i = Fração de carbono orgânico degradável nos resíduos tipo *i*

W_i = Fração do tipo de resíduos *i* por categoria de resíduo

Os valores DOC padrão para os RSU podem ser consultados na Tabela 9.

4.5.6 Fração do carbono orgânico degradável que se descompõe (DOC_f)

A Fração de Carbono Orgânico Degradável (DOC_f) decomposta é uma estimativa da fração de carbono que é degradada e liberada nos aterros e reflete o fato de que uma parte do carbono orgânico degradável não é degradada, ou degrada muito lentamente, sob condições anaeróbicas nos aterros. O valor padrão recomendado para o DOC_f é 0.5 (assumindo que o ambiente do aterro é anaeróbico e que os valores do DOC incluem lignina (madeira), (veja a Tabela 9 para valores DOC padrão) O valor DOC_f depende de muitos fatores, como temperatura, umidade, pH, composição de resíduos, etc. (IPCC, 2006).

4.5.7 Recuperação de metano (R)

O CH₄ gerado nos aterros pode ser recuperado e queimado em um maçarico ou em um dispositivo energético. A quantidade de CH₄ recuperada é expressa na Equação 3 como R (IPCC, 2006).

O valor padrão para a recuperação de CH₄ é zero. A recuperação de CH₄ deve ser declarada apenas quando houver referências documentando a quantidade de CH₄ recuperada. As declarações baseadas em medições de todo o gás recuperado para energia ou queima de tocha, ou declarações sobre recuperação de gás com base no monitoramento da quantidade de eletricidade produzida a partir do gás (considerando a disponibilidade dos fatores de carga, o valor de o aquecimento e a taxa calórica correspondente, bem como outros fatores que

influenciam a quantidade de gás usada para produzir a quantidade de eletricidade monitorada) são consistentes com as boas práticas (IPCC, 2006).

Quando a recuperação de CH_4 é estimada com base na quantidade de aterros que pratica a recuperação de biogás, uma estimativa de recuperação padrão seria de 20%. Este valor é sugerido devido às inúmeras incertezas associadas ao uso desta metodologia (IPCC, 2006).

4.5.8 Tempo de atraso

Na maioria dos locais de disposição de resíduos sólidos, estes são depositados continuamente ao longo do ano, geralmente em uma base diária. No entanto, há evidências de que a produção de CH_4 não começa imediatamente após a deposição dos resíduos (IPCC, 2006).

Primeiro, a decomposição é aeróbica, que pode durar algumas semanas até que todo o oxigênio disponível tenha sido gasto. Em seguida, segue o estágio de acidificação com produção de hidrogênio. É frequentemente apontado que o estágio de acidificação dura vários meses. Depois, há um período de transição, desde condições ácidas até condições neutras, quando se inicia a produção de CH_4 (IPCC, 2006).

O IPCC fornece um valor padrão de seis meses para o tempo de atraso (IPCC, 1997). É equivalente a um tempo de início da reação em 1º de janeiro do ano após a deposição, quando o tempo médio de permanência dos resíduos nos aterros foi de seis meses. No entanto, a incerteza desta hipótese é de, pelo menos, 2 meses. O Modelo de Resíduos do IPCC permite que o usuário altere o atraso padrão de seis meses para um valor diferente. É uma boa prática escolher um tempo de atraso entre zero e seis meses. Valores localizados fora desse intervalo devem ser suportados por testes (IPCC, 2006).

4.6 Modelação do transporte e dispersão de poluentes

A presença no ar de substâncias sob a forma de gases, sólidos ou líquidos em determinadas quantidades ou concentrações prejudiciais à saúde do Homem, outros seres vivos e para habitações e outros bens, podem constituir um grave problema e como tal o estudo da sua dinâmica é de suma importância (ALMEIDA; RODRIGUES, 2003).

A gestão e proteção da qualidade do ar pressupõem o conhecimento do estado do meio ambiente atmosférico. As redes de qualidade do ar e os inventários de emissões atmosféricas são de fundamental relevância para a construção do quadro cognitivo, mas não do interpretativo. Como instrumento interpretativo existem os modelos de transporte e dispersão de poluentes na atmosfera, que permitem a ligação entre a causa (fonte de poluição) e o efeito (concentração de poluente) (MOREIRA; TIRABASSI, 2004).

Nas últimas duas décadas, o estudo do transporte e dispersão de poluentes na atmosfera tornou-se alvo de bastante estudo, cuja importância se tornou evidente com o aumento das emissões poluentes causadas pelo crescimento das áreas urbanas e industriais. Anteriormente, a implementação de uma indústria não entrava em linha de conta, por exemplo, com as condições meteorológicas do local de implementação, contudo, atualmente consegue-se saber que determinados locais podem ser inadequados à instalação de uma fonte poluidora (indústria). A instalação de uma refinaria, uma indústria de celulose, uma termoelétrica, um aterro sanitário, etc., devem estar sujeitas a um rigoroso estudo de impacto ambiental, no qual se inclui a modelação da dispersão de poluentes (MORAES, 2001).

Existem numerosos modelos de transporte e dispersão de poluentes atmosféricos, diferenciáveis entre si, que podem ser utilizados em distintos estudos (MOREIRA; TIRABASSI, 2004). Um modelo trata-se de uma versão simplificada da realidade, uma vez que não engloba todas as características do sistema real, mas contem aquelas que apresentam maior significância para o problema que se pretende estudar, através da sua utilização. Estes são abundantemente utilizados para realizar previsões e para identificar as melhores soluções para a gestão de problemas ambientais específicos (NIWAR, 2004). Contudo não existe nenhuma teoria que descreva fielmente a relação entre a detecção de concentrações de poluentes no ar e os respectivos processos e fatores meteorológicos responsáveis. Como tal, não existe ainda um modelo único que explique todos os fenómenos observados (NIWAR, 2004).

A dispersão de poluentes consiste num fenómeno extremamente complexo, pois é governada pela turbulência, quer na baixa atmosfera, quer na chamada Camada Limite Planetária (CLP), cuja física encontra-se longe de completamente compreendida (MORAES, 2001).

Os modelos de transporte e dispersão de poluentes atmosféricos, variam de grau de complexidade e podem ser classificados em duas classes principais: Eulerianos e Lagrangianos

(MORAES, 2001; LISBOA, 2005). Nos modelos do tipo Euleriano o sistema de coordenadas é fixo no espaço e as propriedades do fluído, como densidade, temperatura e velocidade são determinadas num ponto fixo no espaço (x, y, z) em função do tempo t (MORAES, 2001; LISBOA, 2005) Nos modelos do tipo Lagrangiano o sistema de coordenadas é baseado na posição de uma partícula num dado instante de tempo t , relativo à sua posição (x, y, z) num tempo de referência t_0 . As coordenadas lagrangianas são fisicamente mais corretas na descrição do movimento do fluído, contudo mais difíceis do ponto de vista do tratamento matemático (MORAES, 2001; LISBOA, 2005). Simplificando, a diferença básica entre as duas abordagens é que na aproximação euleriana o sistema de referência é fixo, em relação à Terra, e na aproximação lagrangiana o sistema de referência segue o movimento atmosférico médio (LISBOA, 2005).

Os modelos de dispersão Gaussianos podem ser vistos como Eulerianos e Lagrangianos, ou como uma subclasse destes dois e constituem a maioria dos modelos de transporte e dispersão de poluentes atmosféricos, nomeadamente na sua configuração de modelos de pluma em estado estacionário (MORAES, 2001; MOREIRA, 2004; NIWAR, 2004; ZANETTI, 1990). Estes são baseados numa aproximação matemática a um comportamento de dispersão de uma pluma segundo uma distribuição Gaussiana, sob condições de emissão e meteorológicas estacionárias (MORAES, 2001; NIWAR, 2004; LISBOA, 2005; ZANETTI, 1990). Incorporam uma descrição simplista do processo de dispersão, contudo, mesmo com algumas limitações, este tipo de modelos, quando utilizados corretamente, fornecem resultados confiáveis (NIWAR, 2004).

A escolha de um modelo encontra-se intimamente ligada ao problema em causa e às características meteorológicas e orográficas da zona em análise (NIWAR, 2004). Os modelos podem ser subdivididos de acordo com o tipo de fonte emissora, que pode ser pontual, de volume, área ou linear, e considerando a orografia consoante se trate de terreno plano ou complexo (NIWAR, 2004).

4.7 Modelagem da Dispersão de Gases

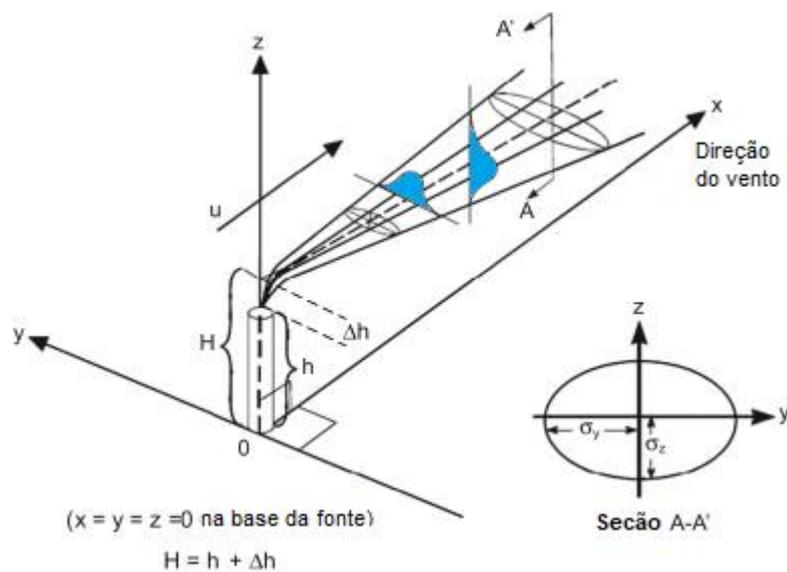
Os modelos gaussianos são comumente usados em problemas de dispersão poluente não-reativos de fontes pontuais, como chaminés industriais. Basicamente, eles assumem que a

pluma de um efluente tem uma distribuição normal ou gaussiana das concentrações em torno do eixo de simetria definido pela direção do vento. Note-se que esses modelos são adequados para estimar os efeitos locais e que seu grau de precisão e, em geral, decrescente na medida em que são aplicados em locais com terreno complexo e caracterizados por circulações atmosféricas complexas (USEPA, 1986).

A origem do Modelo de Dispersão Gaussiana é encontrada no trabalho de Sutton (1932), Pasquill (1961, 1974) e Gifford (1961, 1968).

O Modelo de Dispersão Gaussiana baseia-se nas condições da atmosfera para proceder com suas simulações, onde uma fonte tende a apresentar a dispersão de seus poluentes em uma forma de curva similar à Curva Normal usada em estatística (MARTINS; FORTES; LESSA, 2015).

Figura 6 - Um modelo de dispersão com a fonte virtual a uma altura efetiva, H , da chaminé



Fonte: Turner (1970).

Formulação matemática:

A coluna de fumaça emitida pela chaminé eleva-se a uma altura efetiva, H , que é a soma da altura da chaminé, h , mais o aumento, Δh , devido ao momento inicial da fumaça, bem como a diferença de temperaturas entre o gás que sai e o ar que o rodeia.

De H, a coluna de fumaça se move horizontalmente na direção do vento (direção x) com a velocidade u e se dispersa nas direções perpendiculares a ela, y e z. (y = horizontal, z = vertical). A dispersão no plano yz é principalmente devida à turbulência atmosférica e pode ser calculada como uma distribuição gaussiana (Equação 10):

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp \left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2} + \frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2} \right] \quad (10)$$

Onde:

C = Concentração de poluentes [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

Q = Emissão de gases [g/s]

z = Distância no eixo z [m]

y = Distância no eixo y [m]

u = Velocidade do vento [m/s]

h = Altura da chaminé [m]

H = Altura efetiva da chaminé [m]

σ_y = Coeficiente de dispersão horizontal

σ_z = Coeficiente de dispersão vertical

Na equação acima, o solo é tratado como uma superfície plana que não absorve contaminantes.

Para determinar o parâmetro Δh ou ascensão vertical, pode-se recorrer a múltiplas fórmulas empíricas como por exemplo a formula de Holland (1953) (Equacao 11):

$$\Delta h = v_s D / u \left[1,5 + 2,68 \cdot 10^{-3} p D_i \frac{T_s - T_a}{T_s} \right] \quad (11)$$

Onde:

v_s = Velocidade de saída do gás [m/s]

D = Diâmetro da chaminé [m]

U = Velocidade do vento [m/s]

p = Pressão [mbar]

T_s = Temperatura de saída dos gases da chaminé [K]

T_a = Temperatura atmosférica [K]

4.7.1 Classes de estabilidade atmosférica

Os coeficientes de dispersão vertical e horizontal (σ_y e σ_z) são calculados de acordo com fórmulas empíricas. Um deles são aqueles dados por Pasquill (1961). Estas fórmulas são geralmente implementadas nos programas de computador de modelos de dispersão que são comumente usados e são uma função das Classes de Estabilidade Atmosférica (CEA).

Existem principalmente seis (CEA) designadas como:

- A (fortemente instável ou convectiva)
- B (instável)
- C (fracamente instável)
- D (neutra)
- E (fracamente estável)
- F (estável)

Posteriormente, a estabilidade G também foi incluída para representar condições estáveis noturnas de baixo vento (Tabela 13). Historicamente, essas classes de estabilidade foram propostas por Pasquill e Gifford e melhoradas por Turner, levando ao uso geral de índices de estabilidade 1 a 6 (correspondentes às classes de estabilidade A à F), conhecidas como Pasquill-Gifford-Turner (PGT) em muitos modelos de plumas de dispersão.

Para efeitos dispersão de poluentes, uma condição atmosférica instável é desejável (A-C), uma vez que o movimento vertical do ar é favorecido, geralmente ocorre no dia em que a radiação faz que o ar ao redor da superfície da Terra seja mais quente e mais leve em relação ao ar frio da atmosfera. Por outro lado, uma condição estável (E-F) dificulta a disseminação do meio poluente do ar, já que o ar mais quente está acima do frio, inibindo a mistura vertical; essa condição também é conhecida como inversão térmica. A classe de estabilidade atmosférica pode ser deduzida para cada condição meteorológica da Tabela 13:

Tabela 13 - Condições climáticas que definem as classes de estabilidade do Pasquill-Gifford-Turner (PGT)

Velocidade do vento (m s ⁻¹)	Durante o dia ^a				Dentro de 1 hora antes do pôr do sol ou depois do amanhecer ^b	Horário Noturno		
	Radiação solar incidente (W m ⁻²)					Quantidade de nuvens (oktas)		
	Forte (>600)	Moderada (300-600)	Fraca (<300)	Nublado		0-3	4-7	8
≤ 2.0	A	A-B	B	C	D	F ou G ^c	F	D
2.0-3.0	A-B	B	C	C	D	F	E	D
3.0-5.0	B	B-C	C	C	D	E	D	D
5.0-6.0	C	C-D	D	D	D	D	D	D
> 6.0	C	D	D	D	D	D	D	D

Fonte: Turner (1970).

a Excluindo 1 h após o nascer do sol e 1 h antes do pôr do sol

b A noite foi originalmente definida para incluir períodos de 1 h antes do pôr do sol e depois do nascer do sol. Estas 2 h são sempre categorizadas aqui como D.

c Pasquill disse que em ventos fracos em noites claras a propagação vertical pode ser menor do que na categoria F, mas exclui tais casos porque é improvável que a pluma de superfície tenha qualquer curso definível. No entanto, eles são importantes do ponto de vista da acumulação de poluição e a categoria G (noite, 0 ou 1 okta de nuvem, velocidade do vento 0 ou 0,5 ms⁻¹) foi adicionado.

4.7.2 Coeficientes de dispersão vertical e horizontal.

Uma vez determinada a classe de estabilidade atmosférica pode se calcular os valores dos coeficientes de dispersão σ_y e σ_z .

Pasquill desenvolveu um sistema de equações de dispersão em 1961, que dependia de duas variáveis de espalhamento que descreviam as direções vertical e lateral, respectivamente. Essas relações eram uma função da estabilidade da atmosfera e da distância do ponto de emissão.

Pasquill propõe as seguintes Equações (12,13,14,15) para o cálculo dos coeficientes de dispersão σ_z (m) e σ_y (m), como uma função da distância x (m) para áreas urbanas e rurais:

Urbanas:

$$\sigma_y = ex (1 + c_1 x)^{-1/2} \quad (12)$$

$$\sigma_z = f x (1 + g x)^h \quad (13)$$

Rurais:

$$\sigma_y = c_2 \times \tan(\text{TH}) \quad (14)$$

$$\sigma_z = a (c_3 x)^b \quad (15)$$

Onde:

$$\text{TH} = c_4 [c - d \ln(c_3 x)] \quad (16)$$

Com: $c_1=0.0004 \text{ m}^{-1}$, $c_2=0.4651$, $c_3=0.001 \text{ m}^{-1}$ e $c_4=0.01745$.

Os valores para os parâmetros a, b, c, d, e, f, g, h são dados na Tabela 14.

Tabela 14 - Parâmetros das equações de Pasquill como uma função da estabilidade atmosférica

Atm. Estab.	x (m)	a (m)	b (-)	Atm. Estab.	x (m)	a (m)	b (-)
A	<100	122,800	0,94470	E	<100	24,260	0,83660
	100-150	158,080	1,05420		101-300	23,331	0,81956
	151-200	170,220	1,09320		301-1.000	21,628	0,75660
	201-250	179,520	1,12620		1.001-2.000	21,628	0,63077
	251-300	217,410	1,26440		2.001-4.000	22,540	0,57154
	301-400	258,890	1,40940		4.001-10.000	24,703	0,50527
	401-500	346,750	1,72830		10.001-20.000	26,970	0,46713
	501-3.110	453,850	2,11660		20.001-40.000	34,420	0,37615
>3.110	-	-	>40.000	47,618	0,29592		
B	<210	90,673	0,93196	F	<200	15,209	0,81558
	211-400	98,483	0,98332		201-700	14,457	0,78407
	>400	109,300	1,09710		701-1.000	13,953	0,68465
C	Qualquer x	61,141	0,91465	1.001-2.000	13,953	0,63227	
				2.001-3.000	14,823	0,54503	
				3.001-7.000	16,187	0,46490	
D	<310	34,459	0,86974	7.001-15.000	17,836	0,41507	
	310-1.000	32,093	0,81066	15.001-30.000	22,651	0,32681	
	1.001-3.000	32,093	0,64403	30.001-60.000	27,074	0,27436	
	3.001-30.000	36,650	0,56589	>60.000	34,219	0,21716	
>30.000	44,053	0,51179					
Atm. Estab.	c (-)	d (-)	e (-)	f (-)	g (-)	h (-)	
A	24,1670	2,5334	0,32	0,24	0,001	0,5	
B	18,3330	1,8096	0,32	0,24	0,001	0,5	
C	12,5000	1,0857	0,22	0,20	0	0	
D	8,330	0,7238	0,16	0,14	0,0003	-0,5	
E	6,2500	0,5428	0,11	0,08	0,0015	-0,05	
F	4,1667	0,3619	0,11	0,08	0,0015	-0,05	

Fonte: USEPA (1995); Turner (1994).

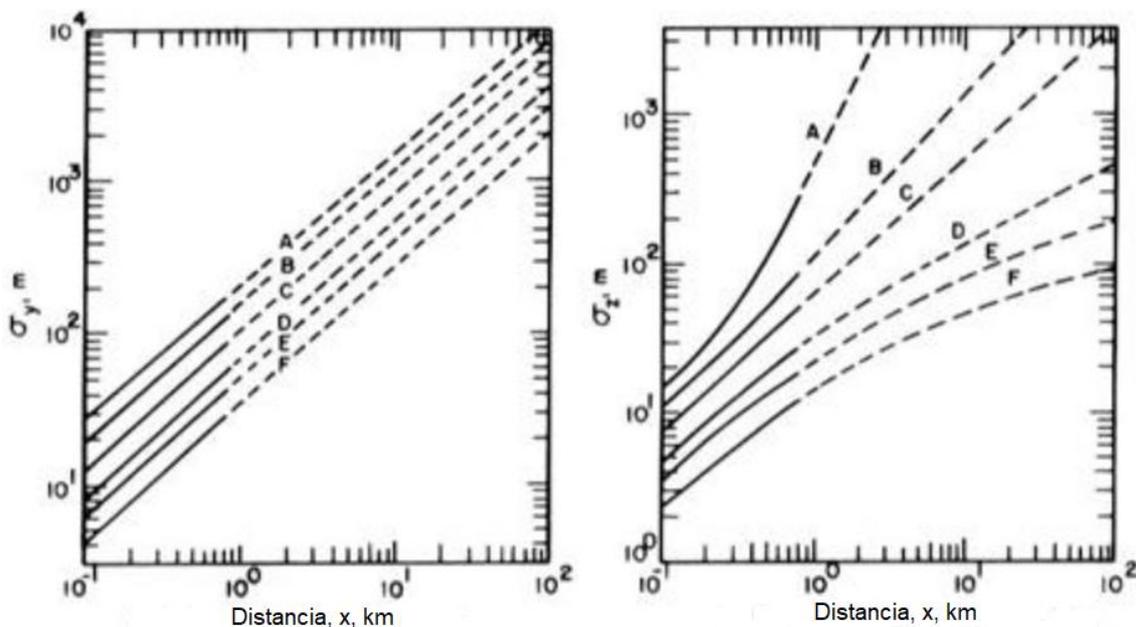
Em 1967, Turner publicou os valores de σ_y e σ_z , a classificação de estabilidade e a distância na direção do vento da pluma em forma de curvas. Estas curvas são chamadas de

“curvas PGT” já que são uma modificação das curvas originalmente publicadas por Pasquill e Gifford e são aplicáveis para locais abertos como áreas rurais (Figura 7).

A dispersão da pluma depende da classificação de estabilidade atribuída ao cenário em estudo. Os coeficientes de dispersão horizontal aumentam à medida que as condições atmosféricas se tornam menos estáveis, isto é, de F para A.

Ao comparar as duas figuras, observa-se que a classificação da estabilidade afeta a dispersão vertical mais radicalmente do que a horizontal. Os gráficos do coeficiente de dispersão também podem ser usados para obter os coeficientes de dispersão vertical e horizontal σ_y e σ_z .

Figura 7 - Coeficientes de dispersão vertical σ_y (esquerda) e coeficientes de dispersão horizontal σ_z (direita)



Fonte: Turner (1970).

Os coeficientes de dispersão vertical e horizontal para σ_y e σ_z respectivamente também podem se encontrar nas fórmulas utilizadas por Briggs e mostradas na Tabela 15 que são uma interpolação das formulas da Tabela 14.

Tabela 15 - Formulas recomendadas por Briggs

Estabilidade de Pasquill	σ_y , (m)	σ_z , (m)
Parâmetros de dispersão em ambiente rural		
A	$0,22x (1 + 0,0001x)^{-1/2}$	$0,20x$
B	$0,16x (1 + 0,0001x)^{-1/2}$	$0,12x$
C	$0,11x (1 + 0,0001x)^{-1/2}$	$0,08x (1 + 0,0002x)^{-1/2}$
D	$0,08x (1 + 0,0001x)^{-1/2}$	$0,06x (1 + 0,0015x)^{-1/2}$
E	$0,06x (1 + 0,0001x)^{-1/2}$	$0,03x (1 + 0,0003x)^{-1}$
F	$0,04x (1 + 0,0001x)^{-1/2}$	$0,016x (1 + 0,0003x)^{-1}$
Parâmetros de dispersão em ambiente urbano		
A-B	$0,32x (1 + 0,0004x)^{-1/2}$	$0,24x (1 + 0,001x)^{1/2}$
C	$0,22x (1 + 0,0004x)^{-1/2}$	$0,20x$
D	$0,16x (1 + 0,0004x)^{-1/2}$	$0,14x (1 + 0,0003x)^{-1/2}$
E-F	$0,11x (1 + 0,0004x)^{-1/2}$	$0,08x (1 + 0,00015x)^{-1/2}$

Fonte: Briggs (1973).

Os modelos de dispersão gaussiana são muito utilizados na modelagem da qualidade do ar e na consultoria ambiental. O modelo pode ser usado para ilustrar os seguintes fenômenos:

- Efeito das flutuações do vento / velocidade nas concentrações de poluentes
- Efeito da estabilidade vertical na mistura e concentrações no solo
- Efeitos de múltiplas pilhas emitindo poluentes
- Demonstração de um ciclo anual de estabilidade em concentrações no solo
- O efeito da umidade no material particulado
- O efeito da química de aerossóis no material particulado
- Coberturas de curto e longo prazo.

Os modelos de dispersão gaussiana não modelam explicitamente os movimentos turbulentos que são responsáveis por espalhar o poluente, apenas modela os efeitos que a turbulência teria através do termo de difusividade turbulenta. A fim de considerar os movimentos turbulentos, se deve considerar a dinâmica do fluxo do fluido.

4.8 Poluição atmosférica e saúde humana

A determinação da influência da poluição do ar na saúde humana é extremamente complexa e difícil. A convivência dos seres vivos, em especial a do Homem, com a poluição do ar tem trazido consequências sérias para a saúde. Os efeitos dessa exposição têm sido marcantes e plurais quanto à sua abrangência na população em geral (ALMEIDA; RODRIGUES, 2003).

A poluição atmosférica provoca doenças respiratórias, tais como asma, bronquite e enfisema pulmonar e desconforto físico, donde se destacam a irritação dos olhos, nariz e garganta, dor de cabeça, sensação de cansaço e tosse; também agrava doenças cardiorrespiratórias e contribui para o desenvolvimento de cancro do pulmão (MIRANDA, 2007).

Estes problemas têm alto custo social, com gastos nos tratamentos de saúde, perda de horas de trabalho e redução da produtividade. Diversos estudos têm procurado demonstrar, com resultados cada vez mais significativos, efeitos de morbidade e mortalidade associados aos poluentes do ar. Estes novos conhecimentos têm alterado conceitos previamente existentes (MIRANDA, 2007).

Os efeitos para a saúde da exposição ao metano e ao dióxido de carbono são bem conhecidos. Ambos são gases incolores e inodoros que agem como asfixiantes. O dióxido de carbono não é inflamável e, em baixas concentrações ou baixos níveis de exposição, aumenta a profundidade e a taxa de respiração, a pressão arterial e o pulso (HPA, 2010). Em concentrações crescentes, desenvolve-se uma fase depressiva que pode culminar em insuficiência cardiorrespiratória. Concentrações acima de 6% em volume podem causar dores de cabeça, tontura, confusão mental, palpitações, aumento da pressão arterial, dificuldade respiratória e depressão do sistema nervoso central. Os seres humanos não podem respirar ar contendo mais de 10% de dióxido de carbono sem perder a consciência. (HPA, 2011).

Em contraste com o dióxido de carbono, o metano é um gás inflamável que é explosivo no ar em concentrações entre 5 e 15% em volume. A inalação pode causar náusea, vômito, dor de cabeça e perda de coordenação. Em concentrações muito altas, pode causar coma e morte por parada respiratória (HPA, 2009).

As emissões de metano e dióxido de carbono dos aterros sanitários devem ser controladas por meio de um sistema de gerenciamento de gás de aterro baseado em flares e / ou motores de capeamento e gás. Portanto, as concentrações não devem ser altas o suficiente para causar efeitos significativos à saúde, a menos que os gases possam acumular-se em espaços confinados, como esgotos e porões. (HPA, 2011).

Os odores são frequentemente uma questão fundamental para os aterros sanitários, especialmente aqueles que recebem resíduos biodegradáveis. Odores normalmente estão associados a atividades como o manuseio de resíduos odoríferos e a cobertura de resíduos biodegradáveis ou com a presença de componentes residuais em gás de aterro ou lixiviados. (HPA, 2011).

As emissões odoríferas são frequentemente acompanhadas por relatos de problemas de saúde das comunidades (STEINHEIDER, 1999). Os indivíduos podem relatar uma ampla gama de sintomas de saúde não específicos, atribuindo-os à exposição a odores, incluindo náuseas, dores de cabeça, sonolência, fadiga e problemas respiratórios. Os sintomas de saúde relatados em associação com emissões odoríferas podem surgir em concentrações detectáveis olfatórias bem abaixo dos níveis associados a efeitos tóxicos ou limiares para a irritação da membrana mucosa (HPA, 2011).

As respostas individuais aos odores são altamente variáveis e são influenciadas por muitos fatores, incluindo sensibilidade, idade e exposição prévia ao odor. Fatores psicológicos e sociais, além do nível de preocupação de um indivíduo com o dano potencial à sua saúde, também terão um papel importante na resposta de um indivíduo. Existem estudos publicados que mostram uma forte correlação entre o incômodo percebido pelo odor e os sintomas subjetivos (DALTON *et al.*, 1997; DALTON, 2003).

A Environment Agency of England and Wales mediu uma série de produtos químicos capazes de causar problemas de odor nos limites dos aterros sanitários. Metil mercaptano, sulfureto de dimetilo e dissulfureto de dimetilo são químicos de mau cheiro com baixo limite de odor. Os dados de monitoramento do ar indicaram que as concentrações desses produtos químicos no limite desses locais de estudo ocasionalmente excederam o limite de odor relevante, embora estivessem bem abaixo dos níveis associados a efeitos tóxicos. No entanto, a presença de odores detectáveis pode causar incômodo entre a população local, possivelmente levando a estresse e ansiedade. Algumas pessoas podem sentir sintomas como náusea ou tontura

como uma reação aos odores, mesmo quando as concentrações desses produtos químicos são insuficientes para serem diretamente prejudiciais à saúde. Os membros do público devem consultar o seu médico de família se estiverem preocupados com quaisquer efeitos na sua saúde causados pela exposição aos odores (HPA, 2011).

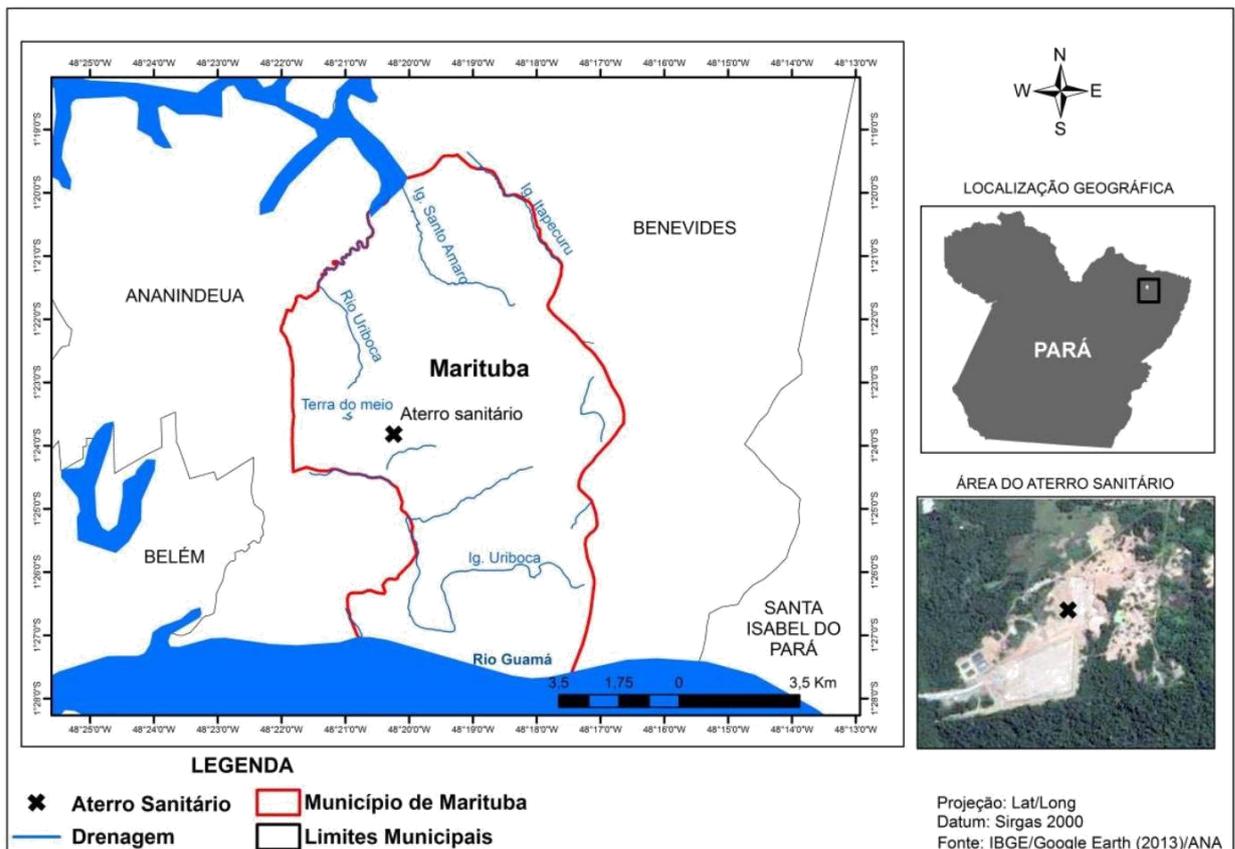
Como os odores podem ter um impacto negativo na saúde, quaisquer atividades potencialmente odoríferas devem ser bem reguladas por meio da licença ambiental. Todos os aterros devem ter planos robustos no local para gerenciar e reduzir os odores, e qualquer emissão deve ser objeto de um processo abrangente de avaliação de risco. Isso deve incluir a avaliação das principais substâncias emitidas para avaliar seu potencial toxicológico e de odor e, se necessário, modelagem e / ou monitoramento externo para prever o impacto dessas emissões nas comunidades locais (HPA, 2011).

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Local de Estudo

O local de estudo é a Central de Processamento e Tratamento de Resíduos (CPTR) Marituba ou também conhecido como Aterro Sanitário de Marituba (ASM), localizado na rodovia BR-155, 6959, com coordenadas geográficas de latitude $1^{\circ} 23' 53.47''$ S e longitude $48^{\circ} 20' 25''$ W; a 4 km aproximadamente do centro de Marituba, na Região Metropolitana de Belém (RMB), e ocupa uma área de 111 ha, sendo 78 ha destinados às Unidades de Processamento/Tratamento e Infraestrutura de Apoio e 32 ha de Área de Preservação Ambiental (REVITA, 2011), a área aterrada atual possui uma altura de 40 metros e se planeja fazer 3 células de expansão (SANTOS; FONTEL; PEREIRA, 2018). Tem um tempo mínimo de operação de 15 anos e 5 meses de acordo com o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) (REVITA, 2011) (Figura. 8).

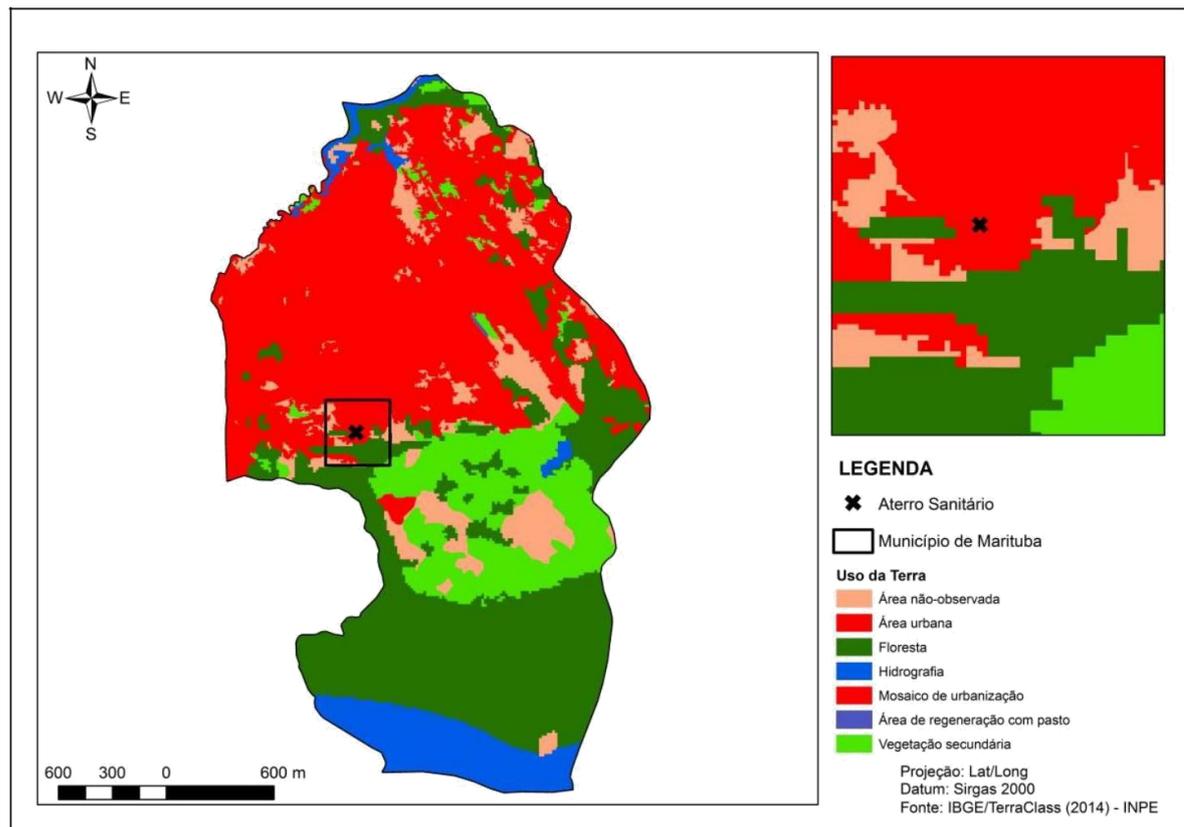
Figura 8 -Localização da CPTR Marituba



Fonte: Pontes *et al.* (2017).

O uso e cobertura da terra no entorno do Aterro Sanitário é constituída de: Área urbana; Floresta; Vegetação Secundária, hidrografia, entre outras) e como é perceptível o Aterro foi construído dentro de uma área urbana do município de Marituba (Figura 9) (PONTES *et al.*, 2017).

Figura 9 - Uso e cobertura da terra no entorno da CPTR Marituba



Fonte: Pontes *et al.* (2017).

O município de Marituba se destacou nas mídias de comunicação local, devido aos diversos protestos realizados pela população local que exigem providências ao governo municipal, no que concernem as inadequações do empreendimento que gerencia o aterro sanitário, instalado no ano de 2016, e que causou problemas de saúde principalmente doenças respiratórias devido ao forte odor (SANTOS; FONTEL; PEREIRA, 2018).

O anterior aterro, o aterro do Aurá, conhecido como Lixão do Aurá, desativado em julho de 2015, causou os mesmos impactos ambientais dentre os quais, se destacou o forte odor, causado pela decomposição de matérias de origens distintas (alimentos, animais, etc.), o que

ocasionou o aparecimento de moscas, ratos, entre outros agentes transmissores de doenças. O lixão de Aurá operou por cerca de 20 anos atendendo os municípios de Belém, Ananindeua, Marituba, Benevides e Santa Barbara e recebendo por dia quase duas mil toneladas de resíduos. Neste lixão os RSU não recebiam nenhum tipo de tratamento. (SANTOS; FONTEL; PEREIRA, 2018). Lobo e Tavares (2012) relatam na sua pesquisa que o solo e rios próximos foram contaminados pelo chorume produzido pelo lixão.

O projeto inicial da CPTR Marituba sofreu alterações, uma vez que durante a sua execução não apresentou resultados esperados devido as condições climáticas da região. Após de despejar os RSU pelos caminhões, uma caçamba passa para aterrar o local e assim evitar que a chuva infiltre e gere chorume, além de diminuir o odor. Devido ao clima chuvoso da região, o trabalho tinha que ser paralisado porque o risco de acidente é muito alto. As obras de terraplanagem eram feitas só no verão (quando a incidência de chuvas é menor) porque o material precisava estar seco. A solução encontrada para que o lixo aterrado não desabasse, foi cobri-lo com lonas, e não com grama como se tinha pensando anteriormente, porque assim impedem a impermeabilização da chuva. A Revita passou um ano sem armazenar o chorume e só fazia tratamento de uma parte do mesmo, pois segundo denúncias da população ao Ministério Público do Estado (MPE), uma parte do chorume gerado no aterro tem sido descartado diretamente na Natureza, provocando danos ambientais (VASCONCELOS; SILVA, 2017).

Em março de 2017, a Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade -SEMAS apresentou uma notificação onde foram estabelecidos prazos para a regularização do aterro sanitário e descritas as medidas técnicas emergenciais para a correção das falhas detectadas pela equipe que inspecionou o empreendimento (SANTOS; FONTEL; PEREIRA, 2018).

A Prefeitura do Município de Belém (PMB) deposita cerca de 30.000 toneladas de resíduos sólidos por mês na CPTR Marituba e o total de recebimento de resíduos sólidos no aterro é de cerca de 40.000 toneladas de resíduo\mês, ou seja, Belém equivale a 75% desse total por isso a necessidade de uma área tão grande destinada ao aterro. Além da PMB outras duas prefeituras da RMB também depositam seus resíduos no aterro (Marituba e Ananindeua) (VASCONCELOS; SILVA, 2017).

Neste aterro sanitário há coleta seletiva, e é realizada pela Associação de Catadores e Recicladores de Materiais Recicláveis de Marituba (ACAREMA). A ACAREMA tem 35 pessoas associadas, sendo que parte delas trabalha no aterro e o restante na sede da associação

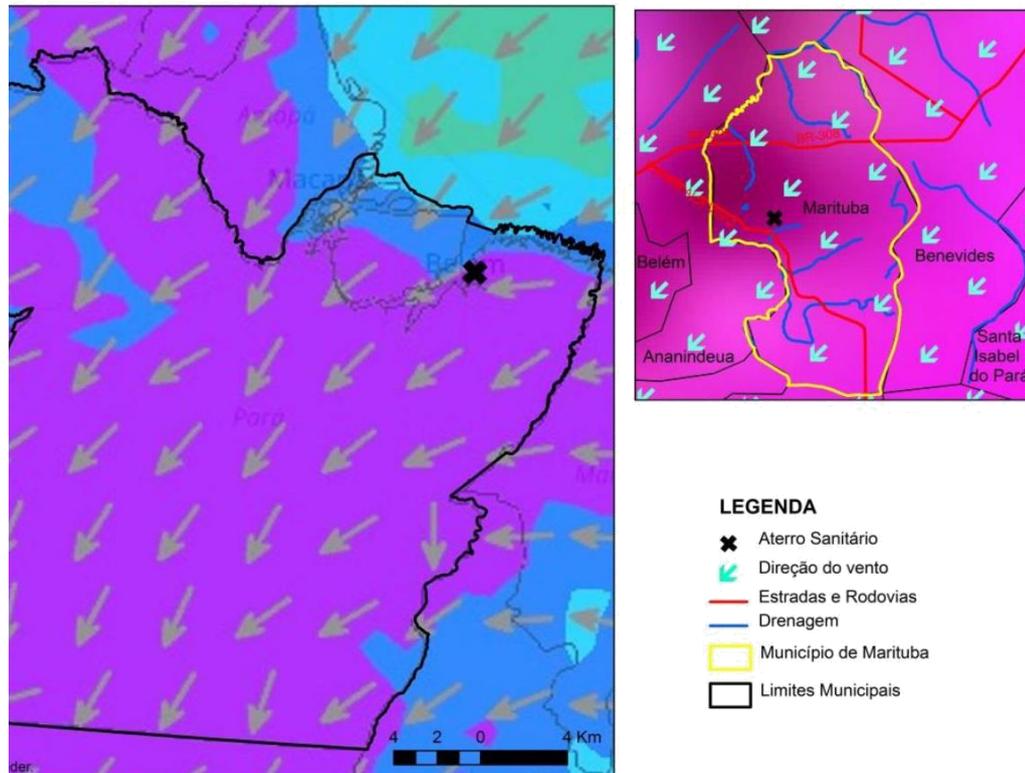
na cidade de Marituba. Os catadores separam os resíduos enviados ao aterro e o resultado deste trabalho é responsável pela sobrevivência deles (SANTOS; FONTEL; PEREIRA, 2018).

5.2 Área de Estudo

A RMB com população estimada para 2017 de 2,4 milhões de habitantes, sobre uma área de 3.565,80 km² (IBGE, 2017) é a segunda região metropolitana mais populosa (depois da Região Metropolitana de Manaus) e com maior densidade populacional da Região Norte do Brasil (IBGE, 2017). A RMB é formada pelos seguintes municípios: Belém (a capital do estado do Pará), Ananindeua, Benevides, Castanhal, Marituba, Santa Bárbara do Pará e Santa Izabel do Pará.

É uma metrópole tipicamente tropical com clima quente (26 °C em média) e chuvas abundantes, cujo índice pluviométrico varia de 2.225 milímetros a 3.300 milímetros por ano (INMET, 2018). A umidade relativa do ar é elevada durante todo o ano, com médias mensais entre 85% e 95%, e a média anual é de 87%. O total médio anual de evaporação é aproximadamente 634 mm, e o total médio anual de insolação é de 2.135 horas. Os ventos denominados oscilam entre o Norte e Sudeste, com uma predominância de Leste (Figura 10). A velocidade média do vento apresenta uma pequena variação que vai de 1,3 a 2,0 m/s, sendo que os valores mais altos são obtidos durante a tarde.

Figura 10 - Direção do vento do município de Marituba e parte da região metropolitana de Belém



Fonte: Pontes *et al.* (2017).

Belém, Ananindeua e Marituba, que em conjunta somam 85% da população da RMB (Tabela 16) descartam seus RSU na CPTR Marituba. Os demais municípios da região metropolitana de Belém, não serão considerados, devido ao destino dos resíduos gerados não serem dispostos no aterro em estudo, mas devido a significância da porcentagem da totalidade da população usuária da CPTR Marituba será considerada nesse estudo como RMB.

Tabela 16 - Distribuição da população nos municípios em estudo da Região Metropolitana de Belém

População nos municípios em estudo		
Municípios	População	Porcentagem da população da RMB
Belém	1.452.275	59%
Ananindeua	516.057	21%
Marituba	127.858	5%
<i>Total</i>	2.096.190	85%

Fonte: IBGE (2017).

5.2.1 Situação da coleta dos RSU na Região Metropolitana de Belém

Em Belém, até 1997, a coleta dos RSU era feita de maneira irregular e inconstante gerando muitos problemas na cidade como a proliferação de insetos e roedores, pois, a população não dispunha de dia e horário programada para despejar seus resíduos (PEREIRA, 2011).

Segundo Departamento de Resíduos Sólidos de Belém (DRES), pertencente à Secretaria de Saneamento do Município de Belém (SESAN) atualmente a coleta de resíduos é realizada regularmente atendendo aproximadamente 95% da população (SESAN, 2018). Através de estudos são montados roteiros para atender cada área da cidade, conforme a necessidade, a coleta pode ser efetuada diariamente ou em dias alternados em horários diurnos ou noturnos respeitando a demanda de resíduos gerados e a características do local, a coleta é realizada porta a porta (PEREIRA, 2011).

5.3 Estimativa do metano gerado

5.3.1 Método IPCC

Neste estudo foi utilizado o método IPCC para estimar a geração de metano através dos RSU. A vantagem deste método é que é o mesmo método utilizado para a elaboração dos inventários de GEE no Brasil e é o mais difundido mundialmente para elaboração de inventários de GEE e estimativas de geração de gás de aterro (biogás) em municípios. Dessa forma, a aplicação do método IPCC, neste trabalho, possibilita comparações com estudo já publicados de outros LDRS.

5.3.2 Descrição da composição dos RSU da RMB

Em 2015 a empresa Guamá Valorização Energética elaborou uma Análise Gravimétrica da composição dos RSU na Região Metropolitana de Belém. Neste estudo foram considerados 12 classes de materiais que traduzem o percentual de cada componente em relação ao peso total

da amostra analisada. Para escolha dessas classes, foram identificados os itens com maior apelo mercadológico. Os materiais que não se enquadraram em nenhuma classe trabalhada foram classificados como rejeito, totalizando 13 classes mostradas na Tabela 17. A classe de maior predominância na amostra corresponde aos Resíduos Domiciliares na forma de Resíduos Orgânicos (restos de comida, etc.) com o percentual de aproximadamente 54%. Considerando a somatória dos materiais derivados de plásticos no estudo realizado nesta gravimetria, os Plásticos Totais contabilizam o valor de 13,48 %, deixando esta classe como o segundo maior volume de todo material amostrado

Dentro do quadro de materiais recicláveis, destaca-se a massa de papel e papelão encontrados na amostra nos valores de 6,34% despontando como um dos maiores grupos encontrados no estudo. A quantidade de couro, isopor, pedras, cerâmicas, que no estudo estavam classificados como “outros” foram encontrados com o percentual de 5,29%, enquanto que os materiais que não se enquadraram em nenhuma classe desta gravimetria foram considerados como rejeitos, tais quais fraldas, papéis higiênicos, etc. Este grupo ficou com valores percentuais de 10,31% do total da amostra.

Tabela 17 - Classes de resíduos e a porcentagem em relação ao peso

Classe de Resíduo	Porcentagem
Material Orgânico	53,38 %
Papel/Papelão	6,34 %
Plástico Mole	2,88 %
Plástico Duro	4,26 %
PET	2,66 %
Longa Vida	0,32 %
Metais Ferrosos	1,22 %
Alumínio	0,88 %
Vidros	0,84 %
Tecidos/Trapos	4 %
Entulhos	7,62 %
Outros	5,29 %
Rejeitos	10,31 %
TOTAL	100 %

Fonte: Guamá Valorização Energética (2015).

Esses dados servem na modelagem das emissões de metano da CPTR Marituba. Cada fração orgânica dos resíduos apresenta valores diferentes para os parâmetros principais do modelo IPCC aplicado neste estudo.

5.3.3 Diretrizes para aplicação do modelo IPCC

O modelo do IPCC utiliza uma planilha eletrônica de Excel™, que permite aproximar as estimativas de emissão de metano e biogás para a realidade do aterro estudado. Essa planilha é preparada para ser utilizada por gestores públicos para estimativas de emissões de carbono e elaboração de inventários nacionais e regionais de emissões.

Os parâmetros de entrada da planilha levam em conta as condições climáticas do aterro (se seco ou úmido), as frações de resíduos com diferentes quantidades de carbono orgânico degradável (DOC), fatores relacionados a biodegradabilidade do metano (MCF), movimento do gás, e fator de oxidação (OX). Também há opções de se atribuir valores padrões regionais para as variáveis k e DOC , consistentes com os valores nas Tabelas 9 e 12.

A primeira sessão da planilha contém instruções de uso e algumas informações sobre a teoria. Na segunda sessão é possível adequar a simulação para a região de interesse e modificar os parâmetros de entrada k e DOC para a estimativa considerar o clima da região (tropical seco ou úmido, temperado seco ou úmido para a América do Sul) e se a massa de resíduo é única ou se é fracionada em componentes (orgânico, jardim, fraldas, plástico e materiais inertes). No presente estudo foram realizadas simulações utilizando valor geral do DOC.

Na terceira sessão o usuário ajusta o Fator de Correção de Metano - MCF de acordo com o tipo gerenciamento do aterro ou indústria e distribuição da massa de resíduo que pode ser fracionada em até, 100% (semi-aeróbico, gerenciado, não-gerenciado, profundo ou raso). Esta seção pode abranger uma estimativa nacional ou regional para vários aterros, onde os valores variam consideravelmente de acordo com o seu tipo de gerenciamento. No caso da CPTR Marituba, o valor do MCF adotado foi 1,0, considerando a CPTR Marituba como aterro gerenciado e anaeróbico.

A quarta sessão se refere a produção de resíduo, dada a população e sua produção per capita anual. O sistema calcula a massa do resíduo total, mas aqui o usuário especifica as frações

para cada componente do resíduo, ou se deseja utilizar valores padrão do modelo. Neste estudo, as simulações compreenderam valores para cada frações do resíduo sugeridos pela planilha quanto valores disponibilizados pela empresa Guamá Valorização Energética no ano de 2015 (Tabela 17).

As demais sessões o usuário encontra os resultados da disposição do resíduo, fator de oxidação, emissão total de metano gerada pelo aterro e outras informações voltadas para a construção de estimativas de estoque de carbono. Neste sentido, este trabalho realizou uma simulação, na qual foi utilizado os valores adaptados a partir de dados locais.

5.4 Modelagem da dispersão atmosférica

Para realizar as plumas da dispersão do gás metano ao longo do ano 2017, foi utilizado o programa de MATLAB™ e utilizando o código desenvolvido originalmente pela Universidade de Manchester para simular a dispersão atmosférica do gás baseado na formula da dispersão gaussiana (Equação 10). Este programa foi modificado para acessar os dados meteorológicos do INMET assim como para utilizar qualquer tipo de coeficientes de dispersão e neste caso os coeficientes de dispersão para áreas urbanas de Briggs (Tabela 15). O programa é mostrado no Apêndice A.

Para os parâmetros climatológicos foram utilizados dados da estação meteorológica Belém, pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) localizada sob a latitude $01^{\circ}24'37,08''$ S e longitude $48^{\circ}26'17,88''$ W, na altitude de 24 metros, e os dados cobrem o ano de 2017.

Para o fluxo de metano gerado na CPTR Marituba foram usados os resultados do modelo do IPCC para estimar as emissões do ano de 2017.

5.5 Percepção da qualidade do ar pelos moradores

Foi realizado um estudo qualitativo para recuperar as experiências dos moradores das áreas próximas ao aterro. Foram realizadas cento e sessenta entrevistas individuais feitas por um grupo de sete pessoas.

Os participantes eram residentes, de ambos sexos, de diferentes idades, que tivessem pelo menos 1 ano de morar na região, de diferentes bairros dos municípios de Ananindeua e Marituba, delimitando a área de estudo num radio de 4 km máximo do aterro e principalmente na direção dos ventos do mesmo.

O estudo foi realizado os dias 23, 26 e 30 de junho e o 12 de julho e foi feito em parceria com o Programa Interdisciplinar Tropico em Movimento, com ajuda dos estagiários, membros e com o pessoal do Laboratório de Física Atmosférica da Faculdade de Meteorologia ambos da Universidade Federal do Pará (UFPA).

As entrevistas foram feitas com um questionário de 41 perguntas, direitas, de opção múltipla, em algumas perguntas o entrevistado poderia responder uma ou várias opções, e um apartado com os comentários do entrevistado que não entravam nas respostas preestabelecidas e outro apartado com observações do entrevistador. O tempo aproximado de aplicação de cada questionário foi de aproximadamente 10 minutos. O questionário é mostrado no Apêndice B

Este é dividido em 4 partes:

1. Demografia - para a classificação das pessoas em sexo, idade, estado civil, escolaridade, etc.
2. Qualidade do ar - avaliação direta da percepção do impacto com relação a intensidade, hora de maior influência, sazonalidade, variação ao longo do tempo, impacto no dia-a-dia, e vantagens/desvantagens da presença do aterro.
3. Influência do Governo - avaliação da presença do governo na negociação dos possíveis problemas.
4. Impacto na saúde - avaliação da percepção do impacto na saúde devido ao aterro sanitário.

5.5.1 Área de aplicação do questionário

A região dentro de um raio de 4km ao redor do Aterro Sanitário tem população de 76.628 habitantes (Censo IBGE, 2010). Com este total da população estimou-se que, para ter um erro máximo de 6,5%, com grau de confiança de 90%, eram necessários 161 questionários.

Os 161 questionários foram aplicados em quatro dias de visitas de campo. Todos os questionários foram aplicados no período da manhã, em dois sábados e em dois dias de semana. Foi notório que nos sábados era mais difícil encontrar pessoas nas residências ou mesmo transitando pelas ruas.

Notou-se também o fato de que certas áreas de entrevista eram de alguma periculosidade, dificultando assim o acesso tranquilo à certas ruas pelo que os questionários foram concentrados em avenidas e ruas principais.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Estimativa da Geração dos RSU na RMB

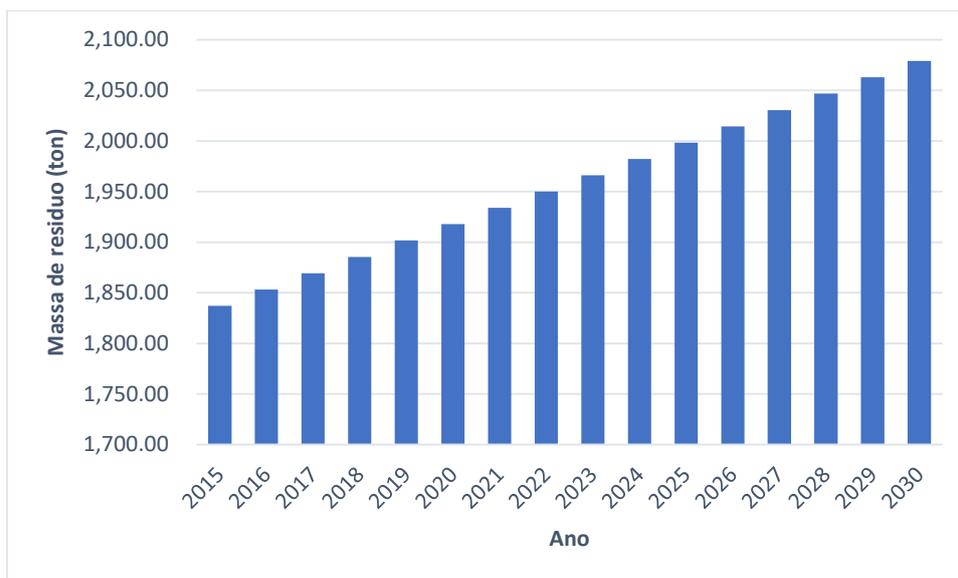
A forma de estimação da geração dos RSU foi através da população, onde foi considerado que cada habitante produziu, em média, uma certa quantidade de resíduos por dia. Na região norte estima-se que esse valor é de 0,89 kg/hab/dia (ABRELPE, 2014). Para estimar a população, foram utilizados os censos do IBGE de 2010 e 2016 que fornecem a contagem da população para os municípios da RMB. Para os anos futuros foi feita uma extrapolação exponencial para estimar a população a futuro. Os anos utilizados foram o ano de início do aterro (junho de 2015) até o tempo mínimo de operação de acordo com a RIMA que é de 15 anos e 5 meses, tendo assim um período que abarca desde o ano de 2015 até o ano de 2030. O valor das toneladas geradas de RSU por dia e por ano são mostradas na Tabela 18 para o período em estudo. A estimativa do resíduo gerado por ano está expressa na Figura 11.

Tabela 18 - Toneladas de RSU geradas por dia e por ano

Ano	População	Massa (ton/dia)	Massa (ton/ano)
2015	2.064.197	1.837	335.277
2016	2.082.311	1.853	676.439
2017	2.100.425	1.869	682.323
2018	2.118.540	1.885	688.208
2019	2.136.654	1.901	694.092
2020	2.154.768	1.917	699.976
2021	2.172.883	1.933	705.861
2022	2.190.997	1.949	711.745
2023	2.209.111	1.966	717.640
2024	2.227.226	1.982	723.514
2025	2.245.340	1.998	729.399
2026	2.263.454	2.014	735.283
2027	2.281.569	2.030	741.168
2028	2.299.683	2.046	747.052
2029	2.317.797	2.062	752.936
2030	2.335.912	2.078	758.821

Fonte: Elaboração própria.

Figura 11 - Estimativa anual dos resíduos gerados na CPTR Marituba



Fonte: Elaboração própria.

6.2 Estimativa do biogás gerado pelo método IPCC

Foi realizada a simulação na planilha do IPCC para as emissões de CH₄ a partir da estimativa dos resíduos depositados na CPTR Marituba entre os anos de 2015 a 2030, nas quais foram utilizados valores padrão dos parâmetros do modelo do IPCC para a constante k do clima da região (quente e húmido). As frações do resíduo foram escolhidas de acordo como o relatório da Revita (Tabela 17). Em nenhuma simulação foi considerada a produção de resíduos de indústrias ou qualquer coleta de biogás no aterro. As quantidades geradas por ano são mostradas na Tabela 19 e no Gráfico 12.

Tabela 19 - Metano gerado (Gg) por ano

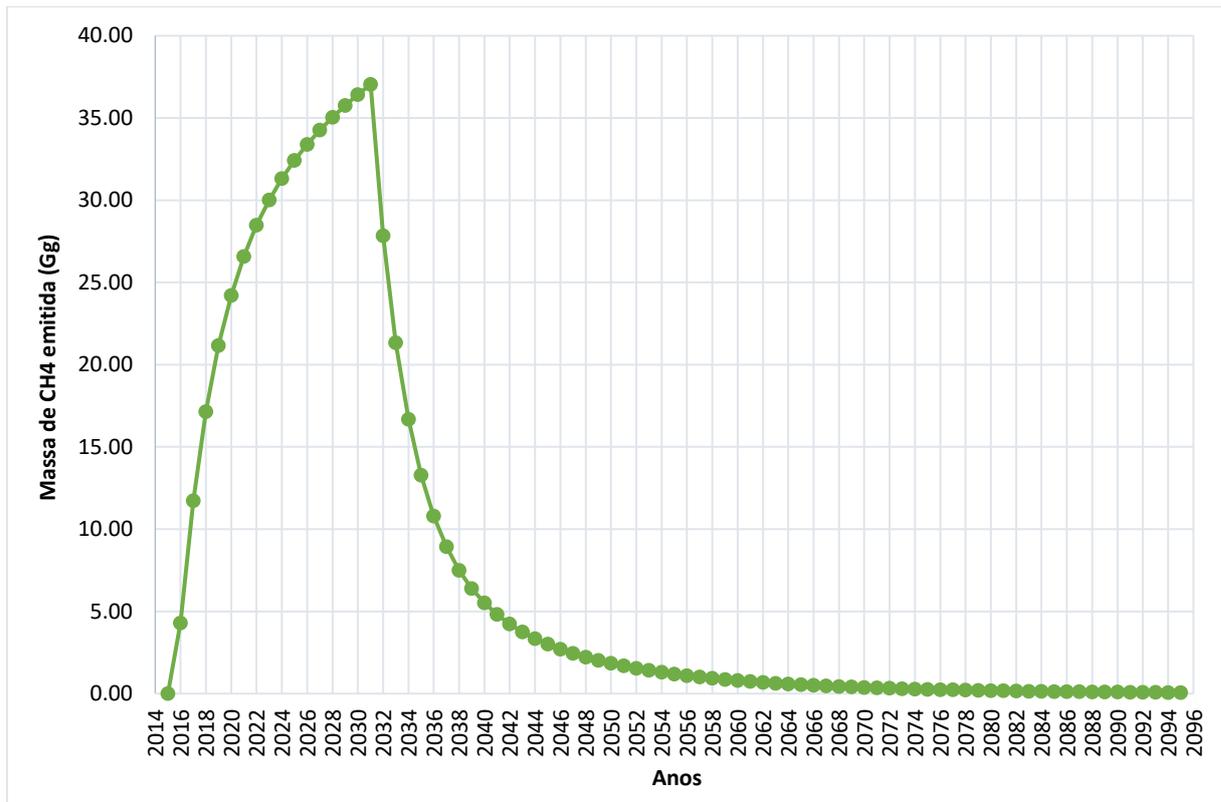
Ano	Quantidade (Gg)						
2016	4,29	2036	10,80	2056	1,10	2076	0,24
2017	11,73	2037	8,93	2057	1,01	2077	0,23
2018	17,14	2038	7,50	2058	0,93	2078	0,21
2019	21,16	2039	6,40	2059	0,86	2079	0,20
2020	24,22	2040	5,52	2060	0,80	2080	0,18
2021	26,59	2041	4,81	2061	0,74	2081	0,17
2022	28,48	2042	4,24	2062	0,68	2082	0,16
2023	30,02	2043	3,76	2063	0,63	2083	0,15
2024	31,32	2044	3,35	2064	0,59	2084	0,14
2025	32,43	2045	3,00	2065	0,54	2085	0,13
2026	33,40	2046	2,71	2066	0,51	2086	0,12
2027	34,26	2047	2,45	2067	0,47	2087	0,11
2028	35,04	2048	2,22	2068	0,44	2088	0,10
2029	35,76	2049	2,02	2069	0,40	2089	0,10
2030	36,43	2050	1,84	2070	0,38	2090	0,09
2031	37,05	2051	1,68	2071	0,35	2091	0,08
2032	27,84	2052	1,54	2072	0,33	2092	0,08
2033	21,33	2053	1,41	2073	0,30	2093	0,07
2034	16,67	2054	1,30	2074	0,28	2094	0,07
2035	13,29	2055	1,19	2075	0,26	2095	0,06

Quantidade total gerada = 609,41 Gg de CH₄

Fonte: Elaboração própria.

No total é estimada uma produção de 609,41 Gg de CH₄ (equivalentes a 609.410 toneladas de CH₄) equivalentes a 17.063.480 toneladas de carbono equivalente (CO₂ eq) lembrando que o metano tem uma capacidade de aquecimento global a 100 anos (GWP₁₀₀) de 28 vezes a capacidade de aquecimento global do dióxido de carbono.

Figura 12 - Metano emitido ao longo dos anos



Fonte: Elaboração própria.

A emissão total de metano gerado pela CPTR Marituba atingirá seu nível máximo em 2031, um ano após o ano de encerramento do aterro e, a partir de então, passa a reduzir os níveis de emissão consideravelmente. Na medida em que o gás vai sendo gerado, uma massa de resíduo está sendo degradada. Esta massa vai decaindo ao longo dos anos até atingir níveis irrelevantes de emissão (até o ano de 2095).

É notório o fato de que depois do que a CPTR Marituba encerre suas atividades de despejo de RSU no ano de 2030 o aterro continuará gerando emissões de metano (34% do total) pelo menos nos próximos 60 anos. É importante ressaltar que caso tais emissões não sejam aproveitadas ou queimadas elas seriam lançadas diretamente na atmosfera ocasionando o aumento da concentração dos gases de efeito estufa e consequentemente contribuindo ao aumento da temperatura global.

6.3 Modelagem da dispersão atmosférica do biogás

6.3.1 Análise dos dados da estação meteorológica Belém

Para ter uma estimativa da dispersão atmosférica do biogás ao longo do ano, primeiramente, foram processados os dados horários (velocidade do vento, direção do vento, radiação solar incidente, precipitação, etc.) do ano 2017 da estação meteorológica Belém, pertencente ao INMET.

Esses dados foram organizados por meio de um programa elaborado para separar os dados primeiramente em duas estações: período mais chuvoso (Inverno) e o período menos chuvoso (Verão). O período mais chuvoso corresponde aos meses de Dezembro-Maio e o período menos chuvoso aos meses de Junho-Novembro, e posteriormente cada período foi separado em outros 4 períodos horários de 6 horas cada um:

- Madrugada: de 00:00 H a 06:00 H
- Manhã: de 06:00 H a 12:00 H
- Tarde: de 12:00 H a 18:00 H
- Noite: de 18:00 H a 24:00 H

O programa utilizado para separar os dados do ano todo foi elaborado com MATLAB e está disponível no Apêndice C.

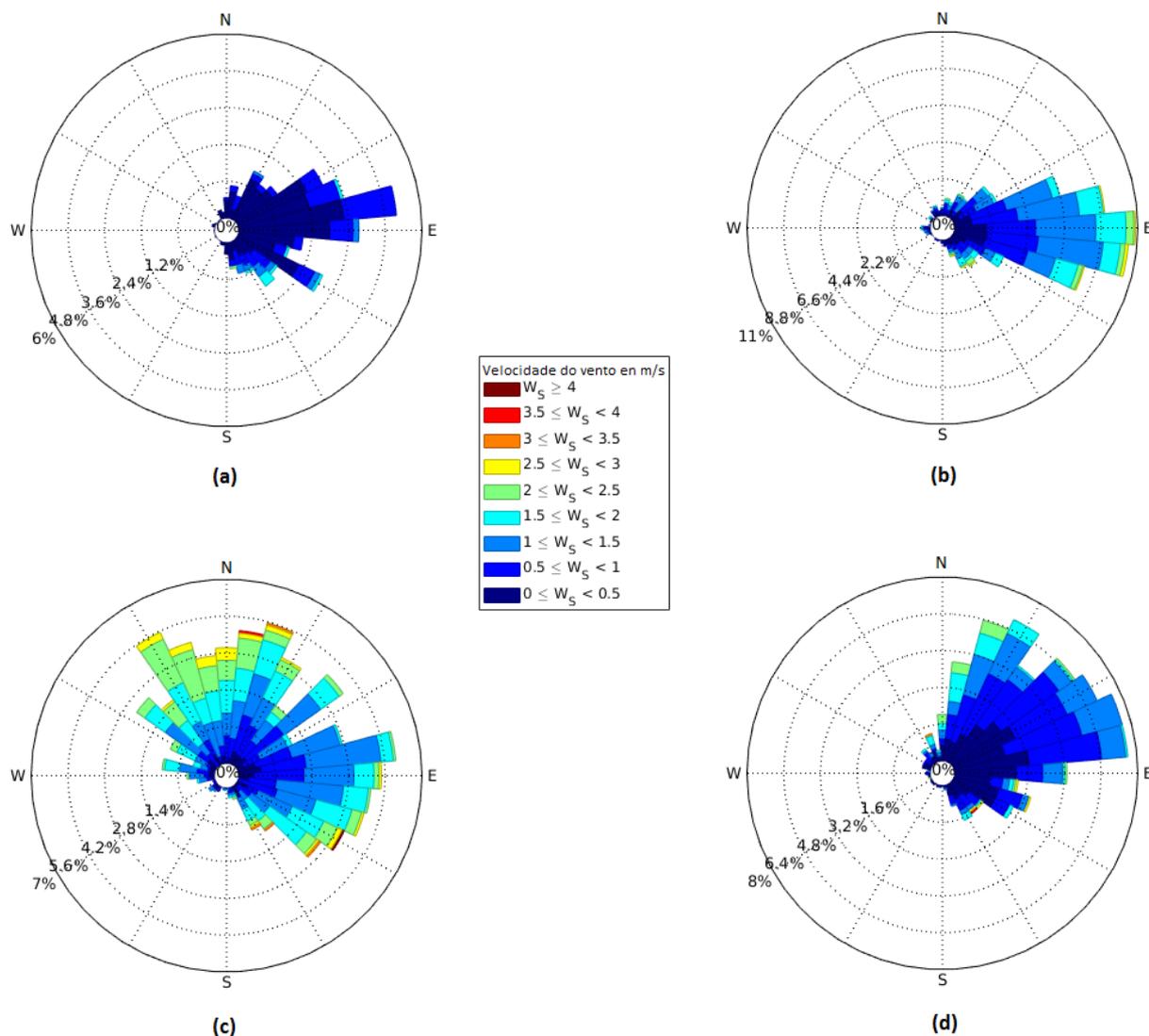
A distribuição dos ventos foi processada¹ em forma de Rosa dos ventos meteorológica, estão apresentados na Figura 13 para o inverno e na Figura 14 para o verão, mostrando a direção de origem dos ventos, a frequência de ocorrência da magnitude dos ventos.

A Figura 13 ilustra a distribuição dos ventos no período do inverno, período mais chuvoso da RMB. Na madrugada figura (a) (canto superior esquerdo) e manhã (b) (canto superior direito) nota-se a predominância dos ventos de Nordeste e Leste respectivamente, além disso a magnitude nestes horários se mostra bem menos intenso. A intensidade dos ventos aumenta apenas no período da tarde na figura (c) (canto inferior esquerdo) aumentando também a variação em até 180° de Noroeste a Sudeste. Na noite figura (d) (canto inferior direito) os ventos

¹ Processamento: José Guillermo Machuca Espíritu, Breno Cesar de Oliveira Imbiriba, Jade Rebeka de Souza Ramos.

têm uma variação de 90° de Norte a Leste e diminuem de intensidade em comparação com a tarde.

Figura 13 - Distribuição dos ventos no inverno ao longo do dia do ano de 2017: (a) madrugada, (b) manhã, (c) tarde, (d) noite

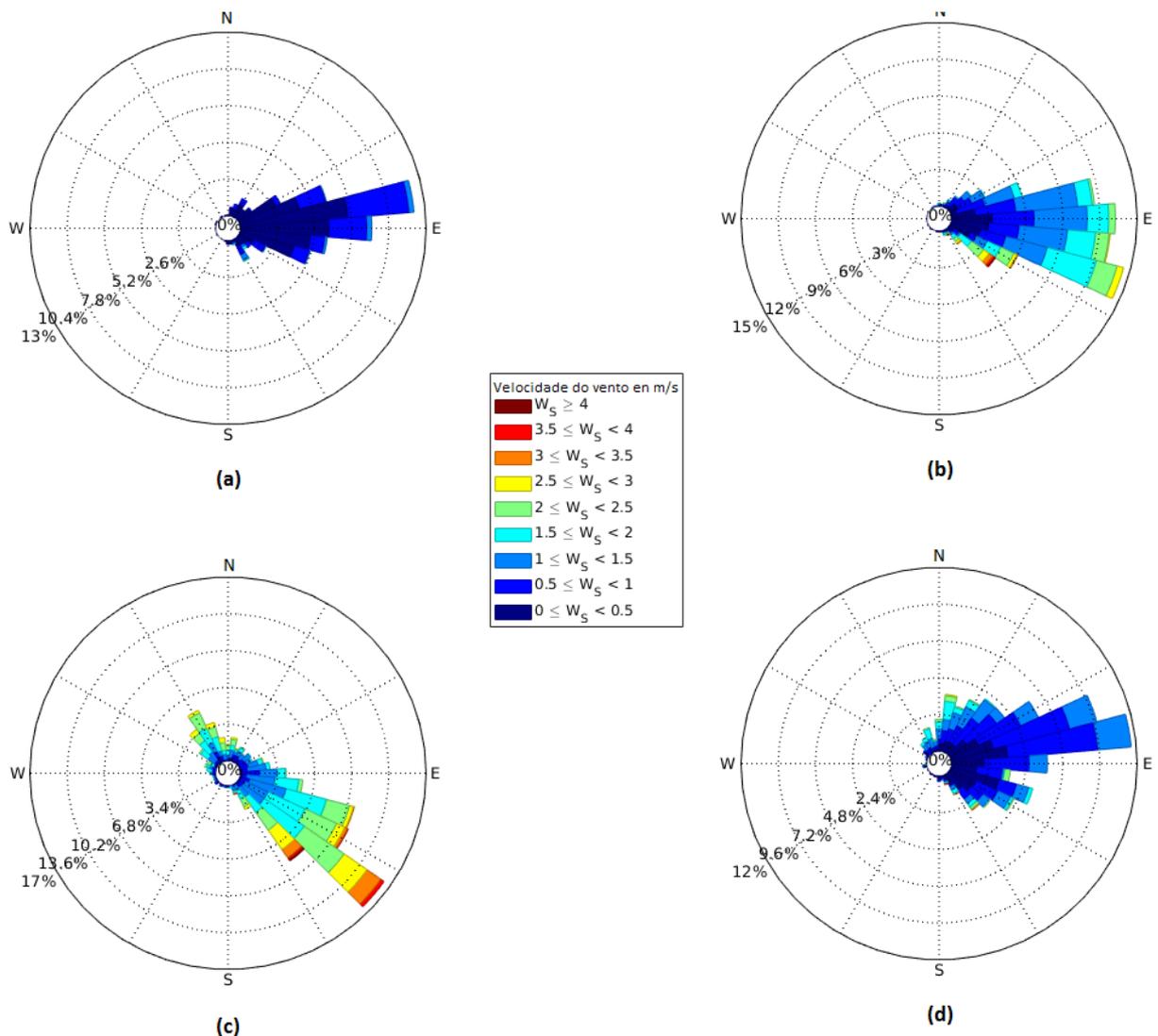


Dados: INMET (2018).

Na Figura 14 ilustra a distribuição dos ventos no período do verão, período menos chuvoso da RMB. Na madrugada figura (a) nota-se a predominância dos ventos de Leste e magnitude baixa, na manhã (b), a predominância dos ventos é de Leste e Sudeste além disso a magnitude nestes horários tende a aumentar em relação a madrugada. A intensidade dos ventos aumenta consideravelmente no período da tarde (figura c) sendo a maior magnitude de qualquer

horário seja verão ou inverno, os ventos têm predominância do Sudeste, mas tem uma menor magnitude em direção Noroeste. Na noite (figura d) os ventos têm uma predominância de Nordeste a Leste e diminuem de intensidade em comparação com a tarde.

Figura 14 - Distribuição dos ventos no verão ao longo do dia do ano de 2017: (a) madrugada, (b) manhã, (c) tarde, (d) noite



Dados: INMET (2018).

6.3.2 Dispersão atmosférica do metano

Para realizar as plumas de dispersão do biogás utilizando o metano como traçador ao longo do ano de 2017, foram introduzidos os dados já separados por período horário e estação

do ano, o programa calcula automaticamente a classe de estabilidade com os dados de velocidade de vento e insolação para o período diurno para cada hora, de acordo com a tabela que define as classes de estabilidade de Pasquill-Gifford-Turner (Tabela 13).

Para o período noturno ao não ter dados de nebulosidade (oktas) foram utilizados dados de precipitação, assim ao ter uma precipitação abundante ($>15\text{mm}$) seria considerado como um céu coberto, uma chuva ligeira (entre 2 y 15mm) seria considerada um céu meio coberto, e a escassa ou nula precipitação ($<2\text{mm}$) seria considerada um céu limpo sem nuvens. Esta classificação é claramente imprecisa devido a que pode ter um céu completamente nublado e com ausência de precipitação e vice-versa, lembrando que no período noturno são tem as classes de estabilidade D, E, F.

O fluxo de metano de acordo a estimação na Tabela 19, é de 11,73 Gg/ano para o ano de 2017, convertendo este fluxo a 371,95 g/s para poder ser utilizado na Equação 10 dentro do programa da dispersão atmosférica. O programa ao ter cada classe de estabilidade calculada elabora uma média da pluma de dispersão de acordo com as classes de estabilidade desse período do dia. Os resultados são mostrados nos itens 6.3.3 e 6.3.4.

6.3.3 Dispersão do metano no inverno

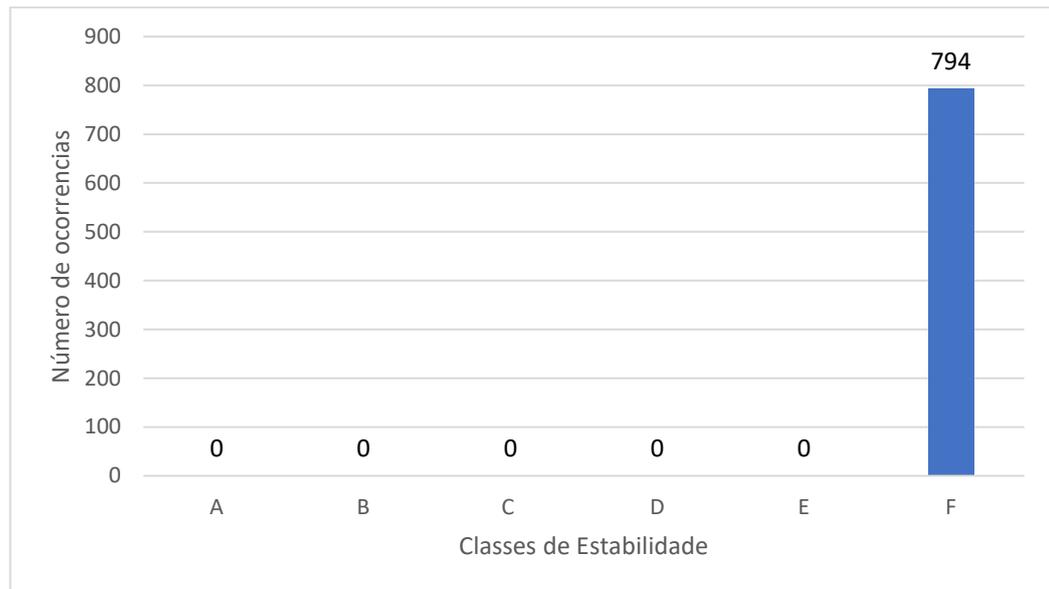
Para os meses de inverno no período da madrugada foram contabilizando 794 dados horários, que se distribuem de acordo com a Figura 15, no caso todos foram classe F isto é uma atmosfera estável que dificulta a dispersão dos contaminantes e neste caso do biogás do aterro.

Na Figura 16, se tem a dispersão do metano a partir do aterro para os meses de inverno no período da madrugada, esta figura representa a média de todas as 794 plumas simuladas para cada hora de dados meteorológicos disponíveis.

A concentração do metano é máxima sobre o aterro (entre 12000 e 14000 μgm^{-3}) e cai rapidamente com a distância (2 km aproximadamente), assim a pluma apresenta duas regiões, uma central, com altas concentrações de metano, e por conseguinte, de biogás, e a região de maior abrangência como menores concentrações de gás na direção Oeste abrangendo desde o Sul até o Norte na direção do município de Ananindeua e o Centro de Marituba, inclusive com um pouco de dispersão pro Sudeste.

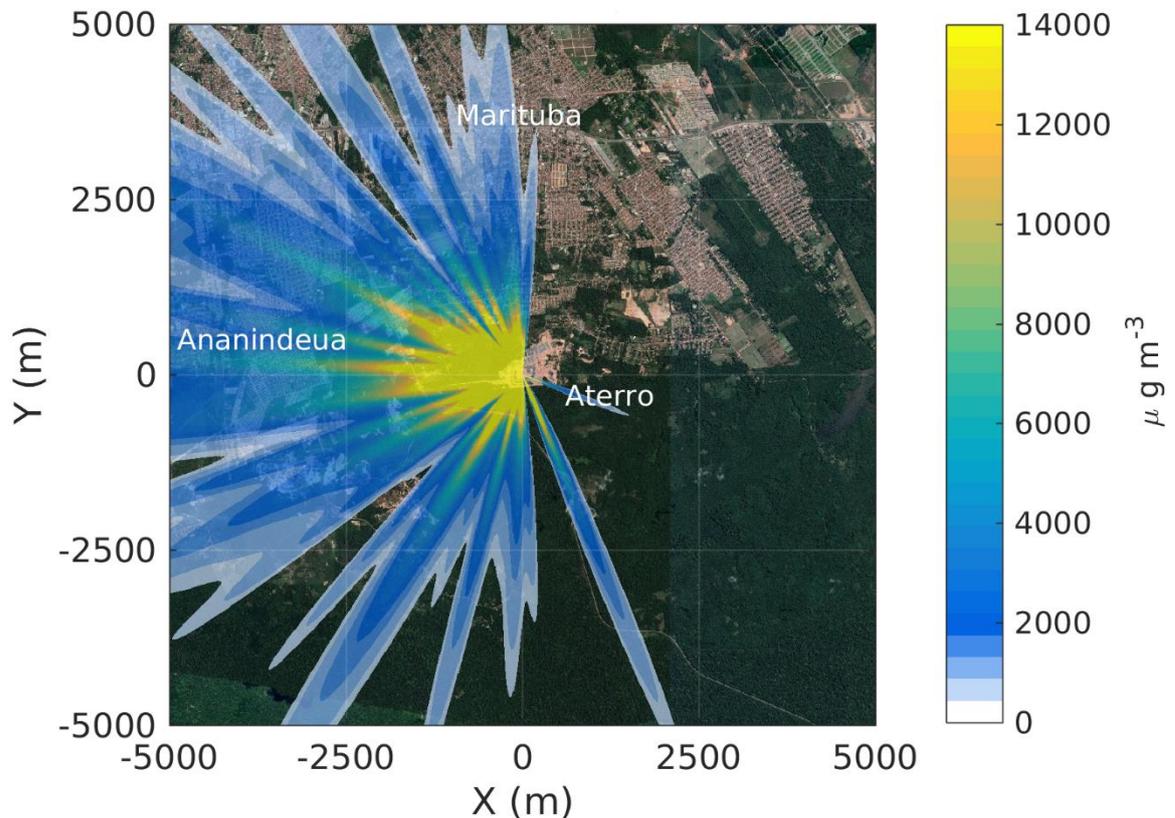
Estas plumas também devem ser interpretadas como traçadores da dispersão de outros gases componentes do biogás. A escala foi feita para coincidir com os relatos sobre odores do aterro, percebido no centro de Marituba, a 5 km do aterro.

Figura 15 – Distribuição dos dados horários no Inverno-Madrugada



Fonte: Elaboração própria.

Figura 16 - Dispersão do metano no Inverno-Madrugada

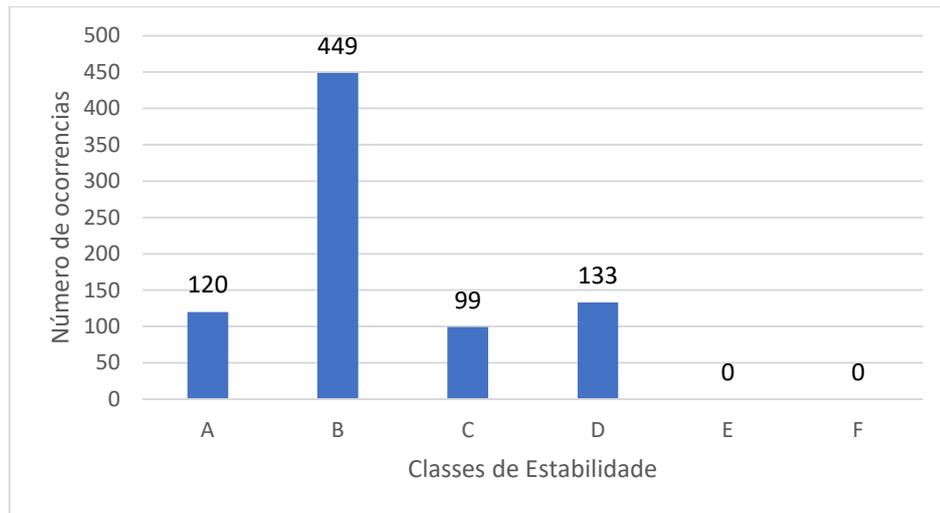


Fonte: Elaboração própria.

Na Figura 17, para os meses de inverno no período da manhã a classe de maior predominância é a classe B contabilizando 449 dados horários e em menor medida a classe D (133 dados horários), a classe A (120 dados horários) e a classe C (99 dados horários), as classe B, A e C são próprias de uma atmosfera instável que favorece a dispersão do biogás do aterro, e a classe D é uma classe neutra.

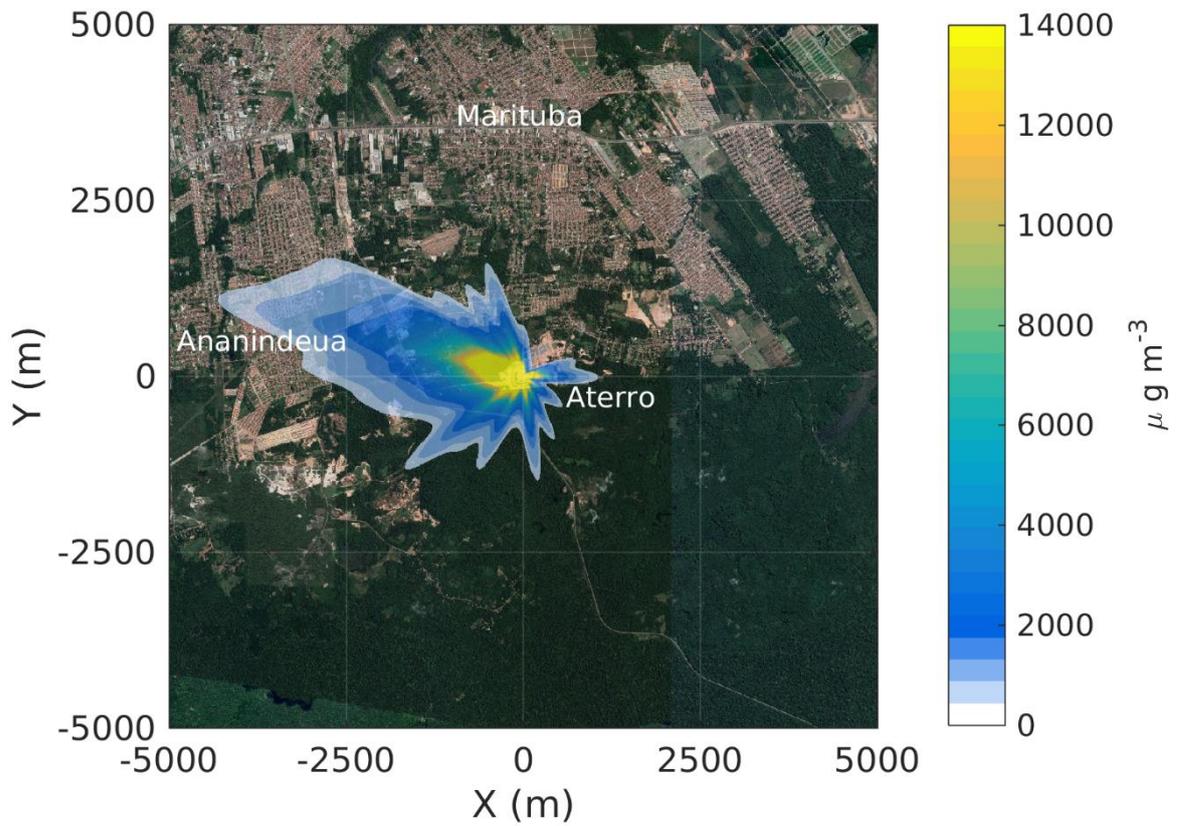
Na Figura 18, na dispersão do metano ao redor do aterro, o gás metano se espalha na direção Oeste e Noroeste na direção ao município de Ananindeua. A maior concentração (entre 12000 e 14000 $\mu\text{g m}^{-3}$) é sobre o aterro em um raio de 1km aproximadamente, chegando concentrações mínimas do gás a 4 km de distância do aterro. Neste horário a dispersão dos gases ao redor do aterro é menor em comparação com a figura 16 devido a que começa a ter sol e a atmosfera começa mudar de estável para instável, tendo uma dispersão na vertical em direção à atmosfera.

Figura 17 - Distribuição dos dados horários no Inverno-Manhã



Fonte: Elaboração própria.

Figura 18 - Dispersão do metano no Inverno-Manhã

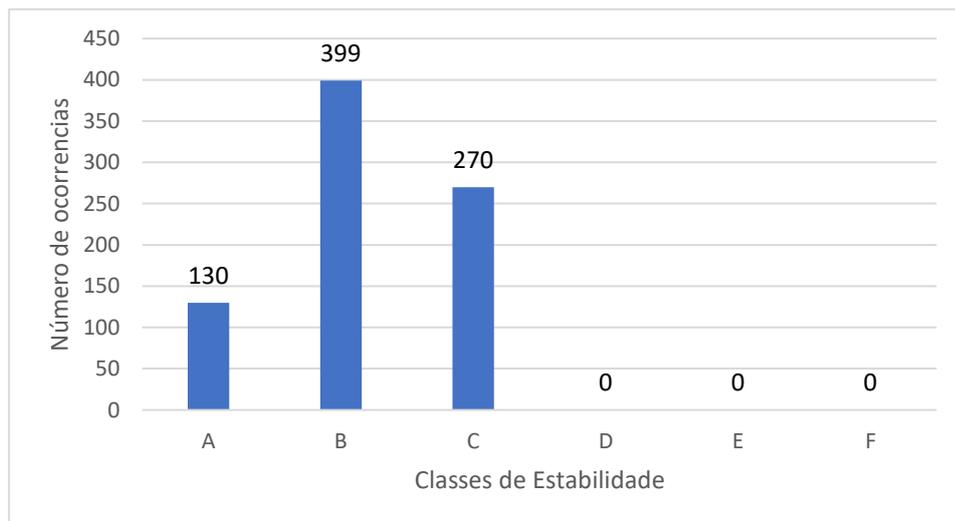


Fonte: Elaboração própria.

Na Figura 19 pode se observar que nos meses de inverno no período da tarde a classe de maior predominância é a classe B contabilizando 399 dados horários e em menor medida a classe C (270 dados horários) e a classe A (130 dados horários). As classes B, A e C próprias de uma atmosfera instável favorece a dispersão do biogás do aterro em direção à atmosfera.

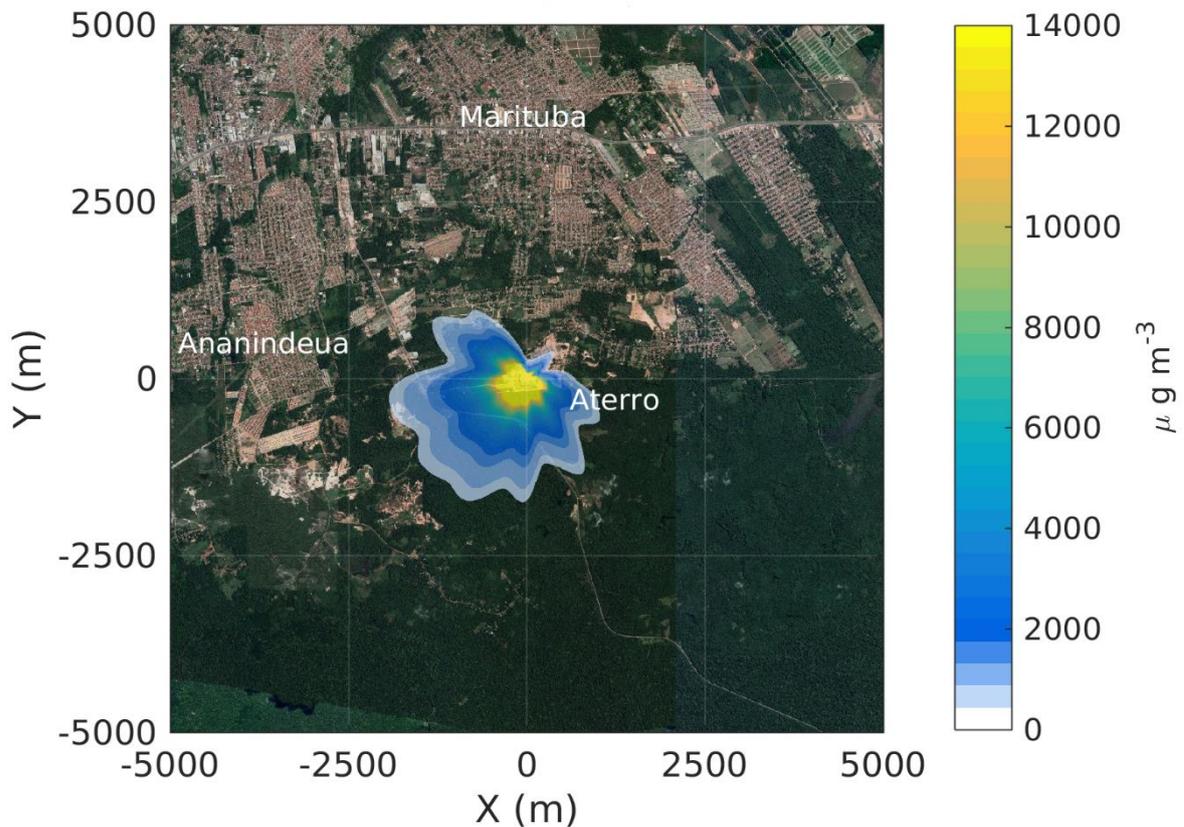
Na Figura 20, na dispersão do metano ao redor do aterro, o gás metano se espalha na direção Oeste e Sudoeste. A maior concentração (entre 12000 e 14000 $\mu\text{g}\text{m}^{-3}$) é sobre o aterro em um raio de 500 m aproximadamente, chegando a concentrações mínimas do gás a 2 km de distância do aterro. Neste horário a dispersão dos gases em direção à atmosfera é maior em comparação com o período Inverno-Manhã tendo assim uma menor dispersão ao redor do aterro.

Figura 19 - Distribuição dos dados horários no período Inverno-Tarde



Fonte: Elaboração própria.

Figura 20 - Dispersão do metano no Inverno-Tarde

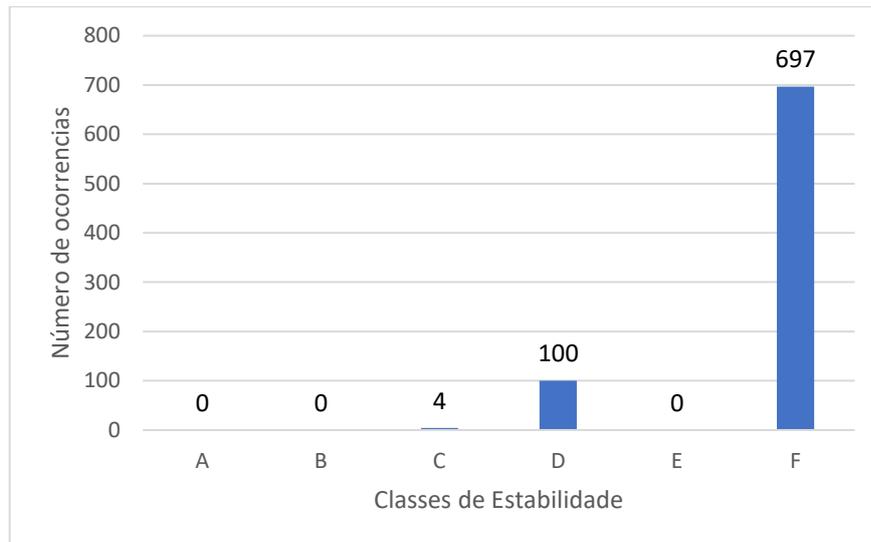


Fonte: Elaboração própria.

Na Figura 21 pode se observar que nos meses de inverno no período da noite a classe de maior predominância é a classe F contabilizando 697 dados horários e em menor medida a classe D (100 dados horários). Em geral pode-se considerar uma atmosfera fortemente instável que dificulta a dispersão dos contaminantes na direção à atmosfera e espalhando eles ao redor do aterro.

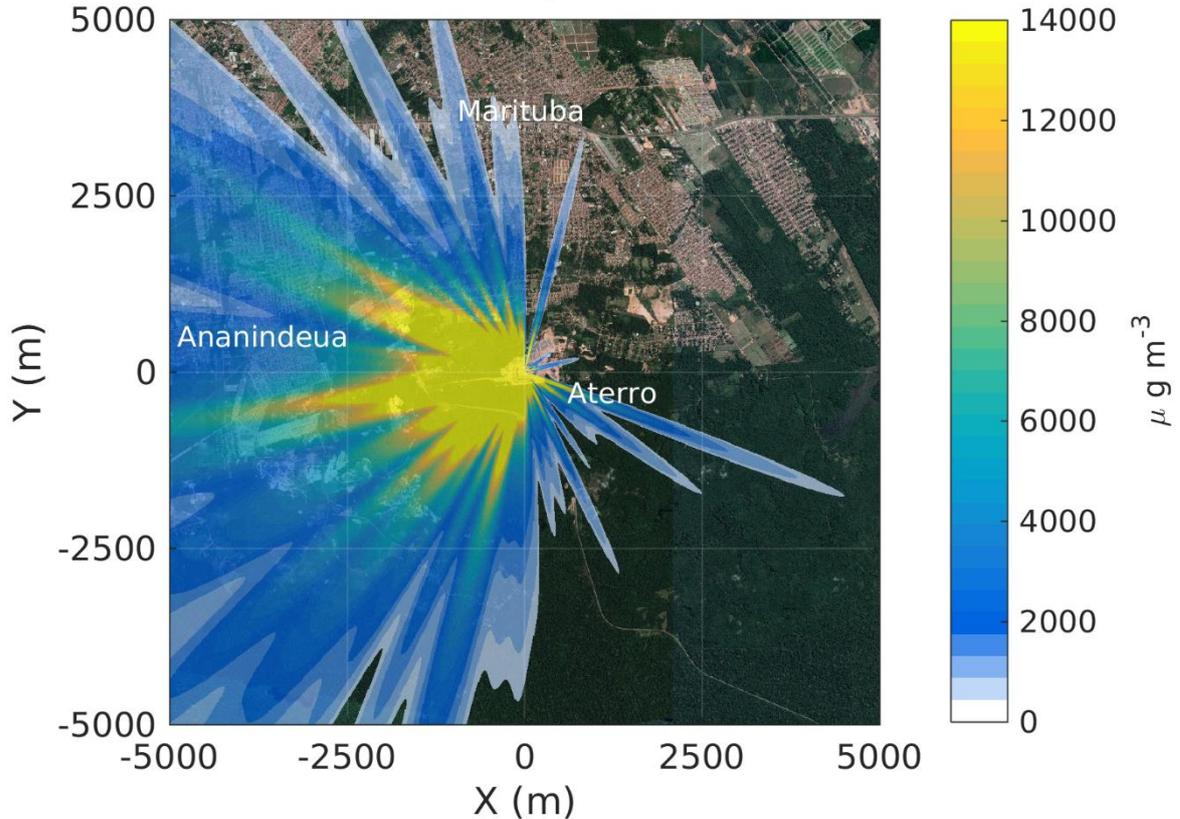
Na Figura 22, a dispersão do metano é ao redor do aterro, na direção Oeste, Noroeste, Sudoeste e em menor medida ao Sul e o Norte. A maior concentração (cerca de $14000 \mu\text{g m}^{-3}$) é sobre o aterro e em um raio de 2 km aproximadamente, chegando a concentrações mínimas do gás a mais de 5 km de distância do aterro. Neste horário a dispersão do metano na vertical (em direção à atmosfera) é menor em comparação com o período Inverno-Tarde tendo assim uma maior dispersão na horizontal e atingindo uma grande área dos municípios de Ananindeua e Marituba.

Figura 21 - Distribuição dos dados horários no período Inverno-Noite



Fonte: Elaboração própria.

Figura 22 - Dispersão do metano no período Inverno-Noite



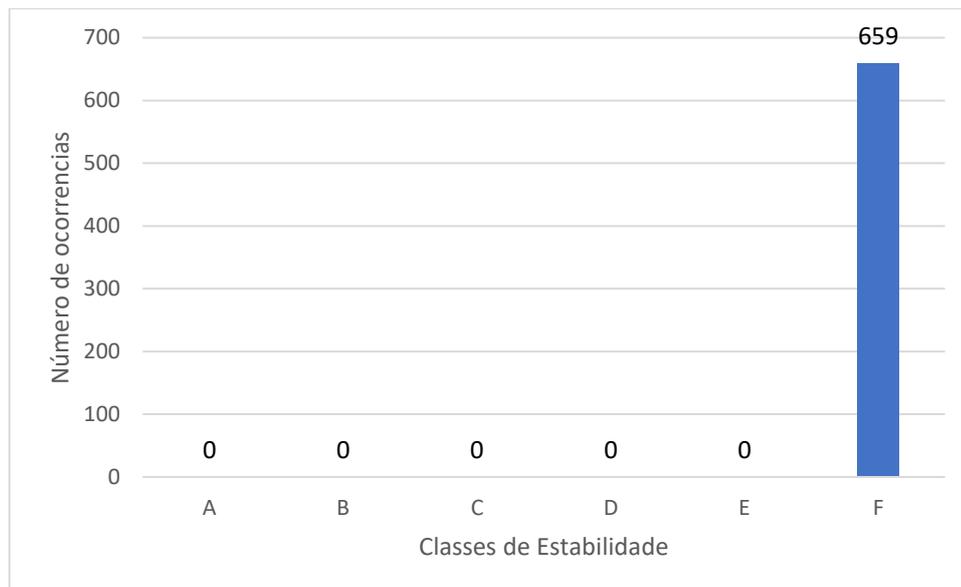
Fonte: Elaboração própria.

6.3.4 Dispersão de metano no verão

Na Figura 23, nos meses de verão no período da madrugada a única classe de estabilidade é a classe F contabilizando 659 dados horários, isto é uma atmosfera estável que dificulta a dispersão dos contaminantes na vertical (em direção à atmosfera) e neste caso do biogás do aterro.

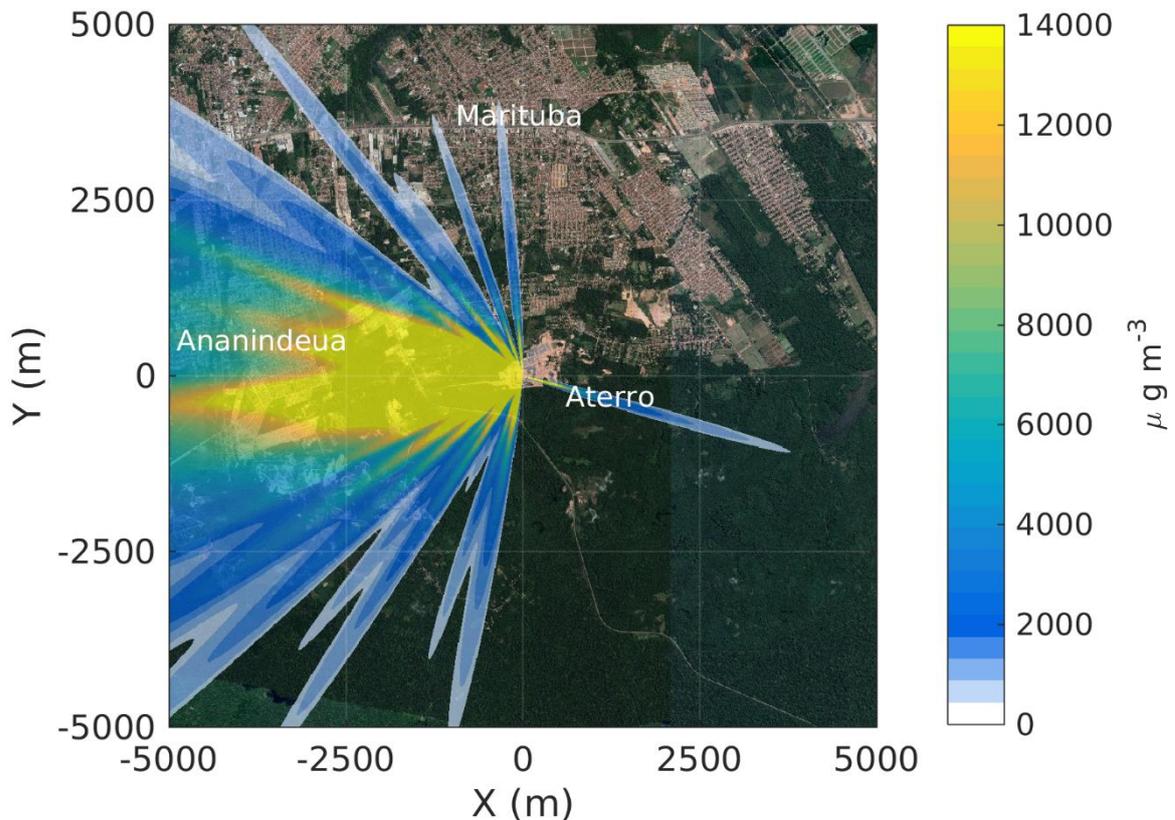
Na Figura 24, a dispersão do metano é sobre o aterro, o gás metano se espalha ao redor na direção Oeste abrangendo desde o Sudoeste até o Noroeste na direção do município de Ananindeua e parte de Marituba. As maiores concentrações são sobre o aterro na direção Oeste até em um raio de 5km aproximadamente, chegando concentrações mínimas do gás a mais de 5 km de distância do aterro.

Figura 23 - Distribuição dos dados horários no período Verão-Madrugada



Fonte: Elaboração própria.

Figura 24 - Dispersão do metano no período Verão-Madrugada

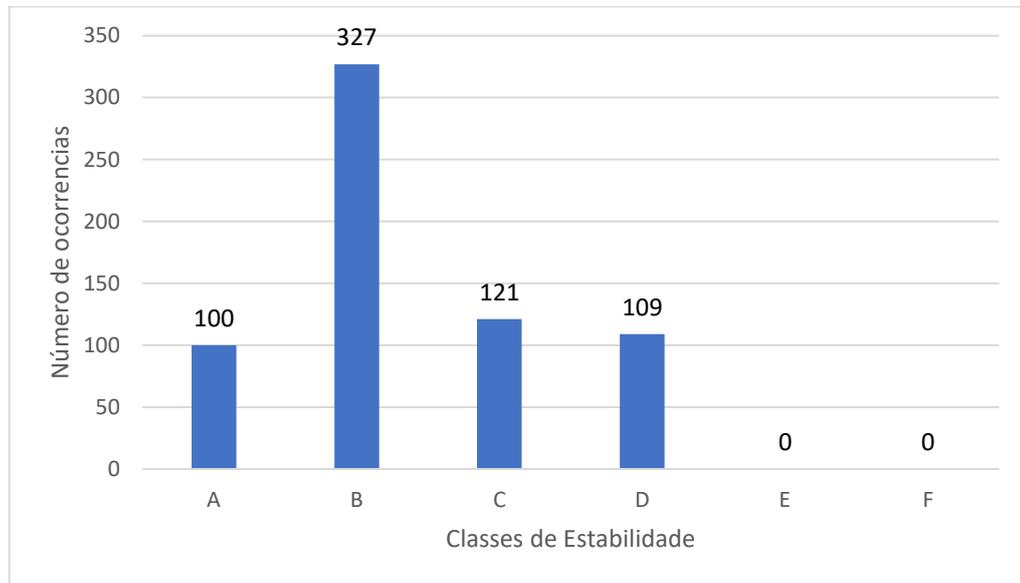


Fonte: Elaboração própria.

Como pode-se observar na Figura 25, nos meses de verão no período da manhã a classe de maior predominância é a classe B contabilizando 327 dados horários e em menor medida as classes C (121 dados horários), D (109 dados horários) e A (100 dados horários), as classes B,C e A são próprias de uma atmosfera instável que favorece a dispersão do biogás do aterro, a classe D já é uma classe neutra.

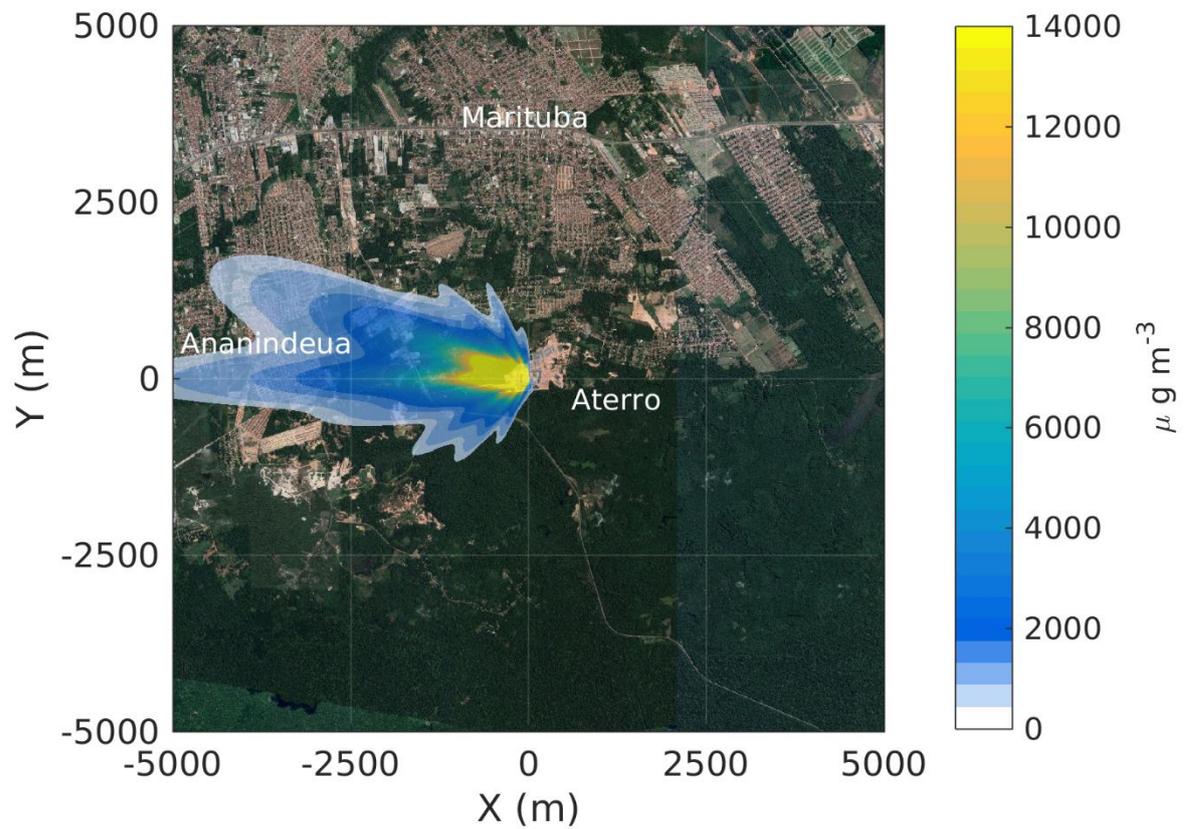
Na Figura 26, a dispersão do metano é ao redor do aterro, o gás metano se espalha ao Oeste e um pouco ao Noroeste na direção do município de Ananindeua. A maior concentração (entre 12000 e 14000 $\mu\text{g m}^{-3}$) é sobre o aterro em um raio de 1km aproximadamente, chegando concentrações mínimas do gás a 5 km de distância do aterro na direção Oeste. A dispersão do biogás ao redor do aterro é menor em comparação com o período Verão-Madrugada já que a atmosfera começa a ser instável e a ter dispersão na vertical) (Figura 24).

Figura 25 - Distribuição dos dados horários no período Verão-Manhã



Fonte: Elaboração própria.

Figura 26 - Dispersão do metano no período Verão-Manhã

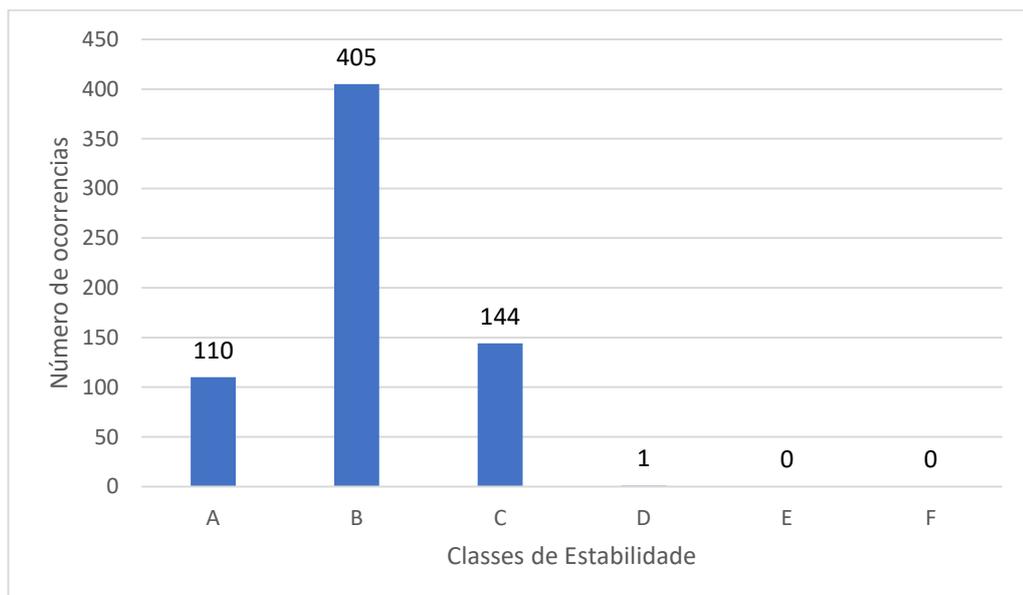


Fonte: Elaboração própria.

Na próxima figura (Figura 27) pode se observar que nos meses de inverno no período da tarde a classe de maior predominância é a classe B contabilizando 405 dados horários e em menor medida a classe C (144 dados horários) e a classe A (110 dados horários), as classe B, A e C próprias de uma atmosfera instável favorece a dispersão do biogás do aterro.

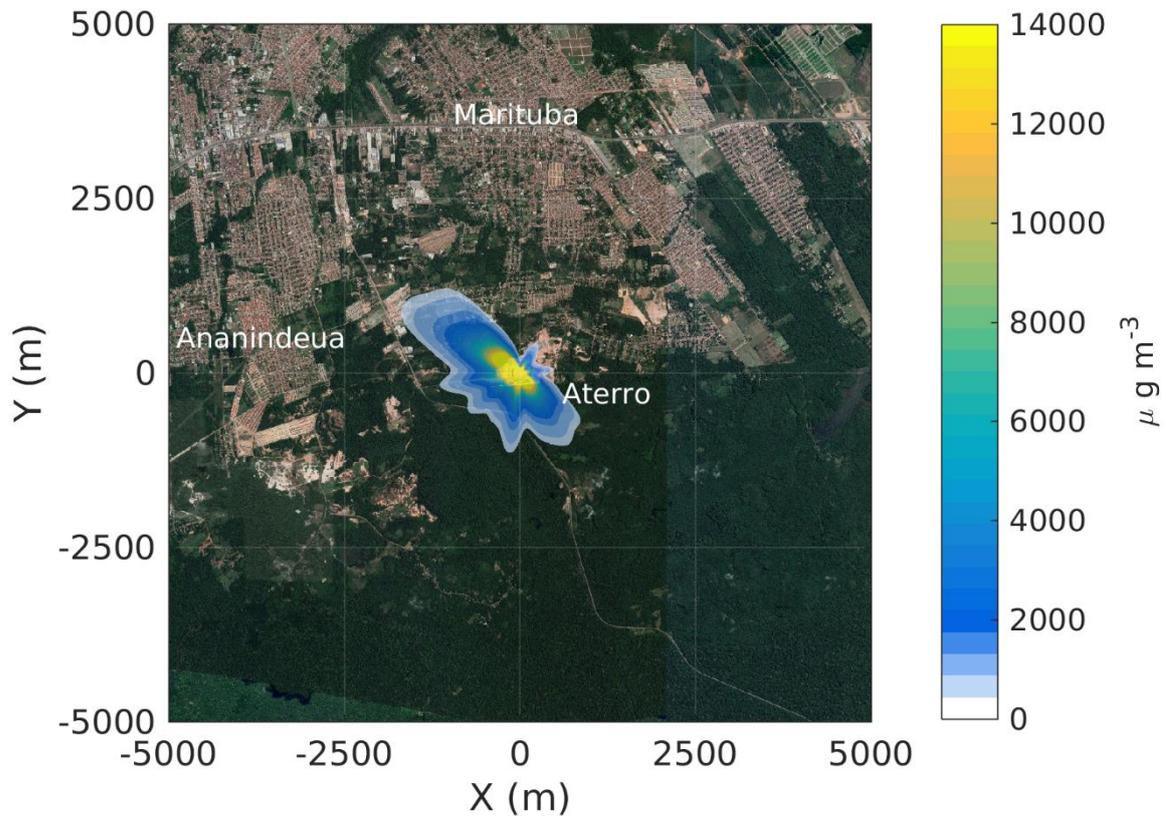
Na Figura 28, a dispersão do metano é ao redor do aterro, o gás metano se espalha na direção Noroeste e Sudeste. A maior concentração (entre 12000 e 14000 μgm^{-3}) é sobre o aterro em um raio de 500 m aproximadamente, chegando a concentrações mínimas do gás a 2 km de distância do aterro aproximadamente. Neste horário a dispersão dos gases na direção à atmosfera é maior em comparação com o período Verão-Manhã tendo assim uma menor dispersão ao redor do aterro e evitando a acumulação.

Figura 27 - Distribuição dos dados horários no período Verão-Tarde



Fonte: Elaboração própria

Figura 28 - Dispersão do metano no período Verão-Tarde

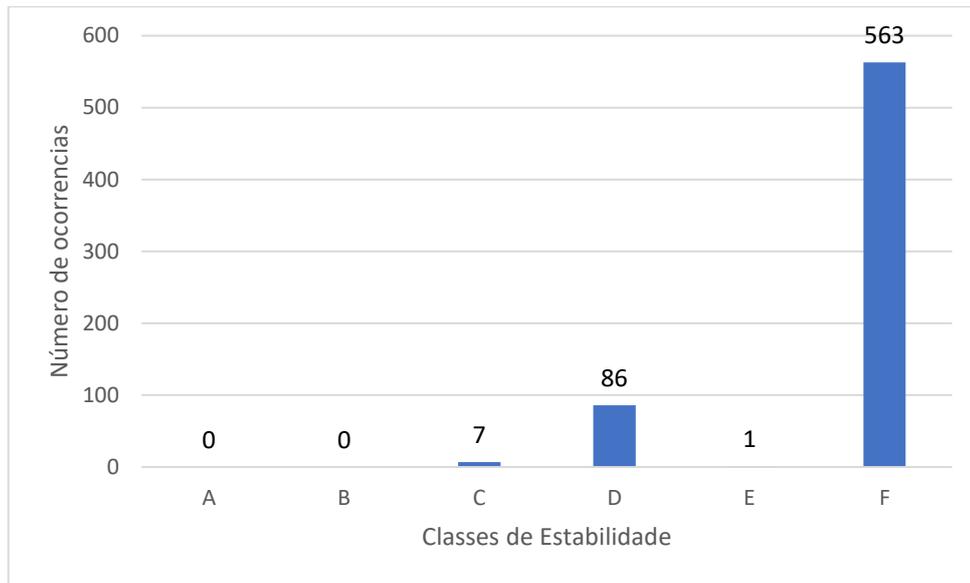


Fonte: Elaboração própria.

Na Figura 29 pode se observar que nos meses de Verão no período da noite a classe de maior predominância é a classe F contabilizando 563 dados horários e em menor medida a classe D (86 dados horários). Em geral poderia se considerar uma atmosfera fortemente instável que dificulta a dispersão dos contaminantes na direção à atmosfera e facilitando a acumulação ao redor do aterro.

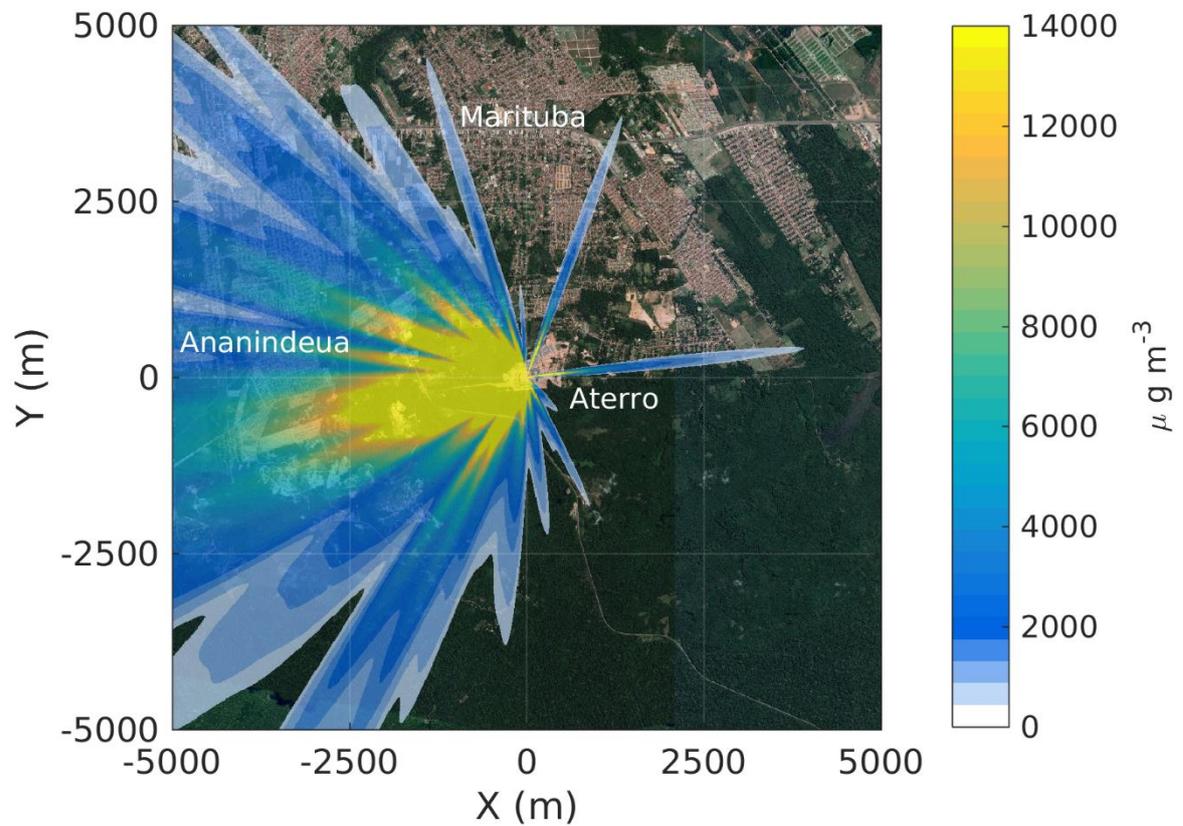
Na Figura 30, a dispersão do metano é ao redor do aterro, o gás metano se espalha na direção Oeste, Noroeste, Sudoeste e em menor medida ao Sudoeste e o Norte. A maior concentração (cerca de $14000 \mu\text{g m}^{-3}$) é sobre o aterro e em um raio de 2,5 km aproximadamente na direção Leste, chegando a concentrações mínimas do gás a mais de 5 km de distância do aterro. Neste horário a dispersão dos gases no eixo vertical é menor em comparação com o período Verão-Tarde tendo assim uma maior dispersão ao redor do aterro e atingindo uma grande área do município de Ananindeua e parte de Marituba.

Figura 29 - Distribuição dos dados horários no período Verão-Noite



Fonte: Elaboração própria.

Figura 30 - Dispersão do metano no período Verão-Noite



Fonte: Elaboração própria.

As simulações mostram que há basicamente dois tipos de plumas, aquelas para atmosferas estáveis (noite e madrugada) e aquelas para atmosferas instáveis (manhã e tarde).

As plumas instáveis se limitam nos primeiros 2 km a oeste do aterro devido à dispersão vertical na direção as camadas superiores da atmosfera. Atingindo uma pequena superfície ao redor do aterro e facilitando a dispersão do biogás e dos contaminantes da CPTR Marituba.

As estáveis apresentam grande alcance (aprox. 5 km) apontando para Oeste e com larga dispersão angular (180° entre N e S) os gases ficam acumulados ao redor do aterro da CPTR Marituba devido a uma atmosfera estável que impossibilita a dispersão vertical do biogás. Os gases atingem áreas mais amplas dos municípios de Ananindeua e Marituba, o que poderia se considerar como incômodos ou malos odores que a população poderia chegar a sentir. No período diurno este problema se ameniza de manhã chegando a valores mínimos de dispersão no período da tarde.

6.4 Percepção da qualidade do ar

A informação de cada um dos questionários foi processada², analisando os dados e elaborando uma estatística que passa a mostrar nas tabelas seguintes (Tabela 20, 21, 22).

6.4.1 Demografia

Os entrevistados são homens e mulheres em similar proporção (52% e 48% respectivamente), e a faixa etária mais alta é entre 21 e 30 anos (28%). A grande maioria dos entrevistados (93%) já habitava a região ao redor do aterro a mais de 3 anos, ou seja, vivenciaram toda a trajetória desde a implementação do aterro, dos problemas e soluções na questão do impacto na comunidade. O 73% dos entrevistados são de cor de pele parda, a maioria dos entrevistados são solteiros (53%), e não possuem filhos (35%). A grande maioria dos entrevistados (76%) tem completado até o ensino médio (Tabela 20).

²Processamento: José Guillermo Machuca Espíritu, Breno Cesar de Oliveira Imbiriba, Jade Rebeka de Souza Ramos.

Tabela 20 - Resumo da demografia dos entrevistados

Sexo	Homens 52%	Mulheres 48%				
Idade	0-20 12%	21-30 28%	31-40 21%	41-50 17%	51-60 13%	+60 9%
Anos na região	0-1 6%	2 2%	3-5 11%	6-10 19%	11-15 8%	+16 55%
Cor da pele	Preta 13%	Parda 73%	Branca 14%	Amarela 0%	Outra 0%	
Estado civil	Solteiro 53%	Casado 38%	Divorc. 3%	Viúvo 2%	Outro 4%	
Filhos	0 35%	1 25%	2 19%	3 6%	4 6%	+5 9%
Escolaridade	Primaria 8%	Fund. 27%	Médio 41%	Técnico 16%	Grad. 6%	Pós. 3%

Fonte: Elaboração própria.

6.4.2 Percepção do impacto no ar

Inicialmente pode se observar a notoriedade com que a população atribui a queda de qualidade do ar na região ao aterro (99%), causado pelo mau cheiro (83%). Na graduação do problema, ele incomoda muito (90%).

Um dos resultados mais importantes nesse estudo é a relação entre a meteorologia e a percepção da qualidade do ar. A pior qualidade do ar ocorre durante a madrugada (36%), seguido por noite e manhã, (28% e 19% respectivamente). Também se atribui que os piores momentos ocorrem imediatamente depois das chuvas (77%) e durante o período de Inverno (85%).

73% da população diz que o problema do mau cheiro afetou algo no seu dia-a-dia. O maior impacto ocorre durante as refeições (39%) moradores declaram que tiveram que tomar medidas como comer dentro da casa (quem comia no quintal ou no corredor) e o sono (35%), porém 45% deles tenta tomar alguma medida para remediar o problema. Repetidos relatos individuais discorrem sobre o cheiro enjoativo na hora da refeição e de dormir, e que tentativas como fechar as janelas durante a noite, forrar a casa, usar ar-condicionado, comer dentro da

casa (quem comia no quintal ou no corredor) inclusive usar aromatizantes ambientais para tentar amenizar o problema do mal cheiro.

A população é quase unânime (99%) com relação ao fato de que não há nem uma vantagem em morar nas proximidades da CPTR Marituba. No entanto, 28% dos entrevistados indica que houve uma melhoria na qualidade da coleta do lixo no bairro. O 64% dos entrevistados diz que não houve nem uma melhoria respeito ao fedor em comparação com um ano atrás.

Moradores do bairro Albatroz de Marituba que fica a menos de 1 km da CPTR Marituba declaram que muitas pessoas venderam suas casas porque o cheiro era insuportável. Eles também declaram que a única ação ou orientação do governo que eles receberam foi uma cesta básica e água potável porque eles reclamaram que a água dos seus poços foi contaminada. Nesse bairro são poucos os moradores, mas eles protestaram bastante devido a que eles recebiam diretamente os maus odores devido à cercania do bairro com o aterro.

Finalmente, destaca-se que os arredores da CPTR apresentam problemas ambientais adicionais, relacionados, à presença de um canal de esgoto, à existência de pequenos lixões e a água estancada, o que os moradores consideram afeta também o ambiente físico e a saúde (Tabela 21).

Tabela 21 - Resumo da percepção do impacto do aterro na qualidade do ar

O aterro piorou a qualidade do ar?	Sim 99%	Não 1%				
De que forma?	Mal Cheiro 83%	Poeira 9%	Fumaça 8%	Outros 1%		
O problema incomoda?	Não 0%	Pouco 4%	Mais ou menos 6%	Muito 90%		
Pior Horário	Madrugada 36%	Manhã 19%	Tarde 18%	Noite 28%		
É pior em situação de	Sol 4%	Depois da chuva 77%	Calor 1%	Vento 16%	Calmo 0%	Outros 1%
Piora em alguma época	Sim 73%	Verão 15%	Inverno 85%			
Afetou o dia-a-dia?	Sim 73%	Não 27%				
Como?	Sono 35%	Refeição 39%	Lazer 11%	Estudo 6%	Trabalho 8%	Outros 1%
Tomou alguma medida para solucionar o problema?	Sim 45%	Não 55%				
Há vantagens em morar perto do aterro?	Sim 1%	Não 99%				
Melhorou a coleta do lixo?	Sim 28%	Não 64%	Piorou 14%			
Melhorou de um ano para cá?	Sim 28%	Não 64%	Piorou 14%			

Fonte: Elaboração própria.

6.4.3 Percepção sobre a influência do Governo e da Sociedade e Impacto na Saúde.

Para a maioria dos entrevistados (91%) não houve nenhuma ação do governo para lidar com o problema do mau cheiro. Isso evidencia a total falta de diálogo entre o governo e a população, tanto para orientar quanto para agir. Dos poucos que sabiam de alguma ação do governo (9%), a absoluta maioria (93%) não viu nenhum resultado positivo. Continuando nesta direção, a grande maioria das pessoas (92%) não viu nenhuma melhora na atuação do governo no último ano (2017).

No entanto, a maioria da população (78%) lembra de ações da comunidade para lidar com o problema da CPTR Marituba, porém a grande maioria (76%) não acreditou que houve algum efeito positivo duradouro dessas ações populares.

Sobre a provável causa do problema, as opiniões dividem-se igualmente entre atribuir o maior problema ao tratamento do resíduo, a localização do aterro e a falta de fiscalização (38%, 31% e 30% respectivamente). A questão dos resíduos sólidos é complexa e não se espera que o cidadão médio tenha opiniões pré-formuladas sobre o assunto, explicando a distribuição uniforme entre as três opções (Tabela 22).

Tabela 22 - Resumo da percepção da influência do governo e a sociedade no problema, e a percepção do impacto na saúde

Houve alguma ação do governo?	Sim 9%	Não 91%		
Ação do governo surtiu algum efeito?	Sim 7%	Não 93%		
Atuação do governo no último ano	Melhor 8%	Mesmo 70%	Pior 22%	
Houve alguma ação da comunidade?	Sim 78%	Não 22%		
Ação da comunidade surtiu algum efeito?	Sim 24%	Não 76%		
Atribui o problema do aterro á	Local 31%	Tratamento 38%	Fiscalização 30%	Outros 1%
Causou algum problema de saúde	Sim 52%	Não 48%		
Foi ao posto de saúde	Sim 45%	Não 55%		
Resolveu o problema	Sim 24%	Não 76%		

Fonte: Elaboração própria.

Os moradores da área adjacente a CPTR Marituba percebem que os odores provenientes do aterro atribuem doenças respiratórias, principalmente para crianças e idosos. Os entrevistados consideram que a inalação dos maus odores da CPTR Marituba gera doenças do tipo respiratório como garganta irritada, falta de ar, tosse; sendo estes os principais problemas de saúde que os afligem.

No entanto, os entrevistados relatam que os maus odores não são permanentes, mas que a sua presença está associada às condições meteorológicas e à direção dos ventos, com horas noturnas e depois da chuva quando o cheiro é mais intenso. Além disso, os moradores distinguem claramente os odores provenientes da CPTR Marituba daqueles oriundos de outras fontes, como o canal de esgoto ou lagoas de águas pluviais estagnadas, também localizadas em seus setores residenciais.

Com o exposto, mostra-se que os odores não afetam apenas a saúde, mas o bem-estar, devido ao desconforto que geram, tanto no interior das casas como no exterior. Portanto, os moradores evitam passear nas áreas verdes do bairro por causa do aborrecimento causado pelos maus cheiros.

Ao investigar os moradores sobre outros efeitos à saúde causados pelo aterro, eles comentam doenças como vômitos, náuseas, problemas da pele, dores de cabeça assim também comentam doenças transmitidas por vetores em específico por mosquitos como são Zika, Dengue e Chikungunya.

Finalmente, os moradores consideram que a presença de muitas moscas, não só gera desconforto, mas também aumenta a possibilidade de transmissão de doenças do tipo gastrointestinal (vômitos, náuseas, diarreia).

Independentemente se os gases do aterro realmente causaram algum problema de saúde (algo que apenas uma investigação detalhada na área da saúde pode avaliar) pode-se constatar que houve incomodo suficiente atribuído ao aterro para que as pessoas fossem ao posto de saúde, e mesmo que tais gases possivelmente não causassem algum problema sério, este aparentemente afeita a qualidade dor ar que é respirado pela população circundante.

7 CONCLUSÕES

A modelagem se mostra uma importante ferramenta para elaborar cenários de emissão de gases de efeito estufa a partir de aterros, e a partir disso, avaliar os impactos e tomar medidas de controle e aproveitamento das emissões apesar de não ser confirmadas a validade das estimativas de metano e dos outros gases da CPTR Marituba neste estudo.

Os valores dos parâmetros utilizados no modelo (especialmente a taxa de geração de metano (k), DOC e a fração de RSU) devem ser escolhidos cuidadosamente para que a modelagem mostre cenários de emissão mais realistas possíveis, caso contrário a simulação pode superestimar ou subestimar as emissões do aterro. Neste sentido é recomendado utilizar dados fornecidos por estudos locais, desde que sejam confiáveis, pois fornecem resultados mais realistas das emissões e em caso contrário utilizar os valores padrão.

Para a RMB, os valores de constante de geração de metano k são elevados devido à alta temperatura e umidade, o que faz que o resíduo seja degradado rapidamente. Portanto é necessário se tomar decisões com mais rapidez no sentido de aplicar métodos de controle de emissões de aterros na região amazônica e evitar que os gases escapem para a atmosfera.

A maior parte das emissões do biogás da CPTR Marituba ainda não ocorrem. Neste sentido, o aterro deverá gerar durante sua operação (de 2015 a 2030, considerando a data mínima de operação de 15 anos de acordo com a RIMA) e clausura (de 2030 até aproximadamente o ano de 2095) aproximadamente 610 mil toneladas de CH₄, das quais aproximadamente 5% já foi emitido (2018) e 95% restante ainda será emitido.

Como o potencial de aquecimento global do metano é 28 vezes maior do que o dióxido de carbono, quer dizer que a CPTR Marituba, ao longo dos anos, emitirá uma quantidade equivalente a 17 milhões de toneladas de dióxido de carbono que se não são aproveitadas ou controladas irão para atmosfera diretamente aumentando a concentração de gases de efeito estufa.

A realização de medidas de emissões no local é uma forma de aferir resultados dos modelos e ajustar os parâmetros. Portanto, recomenda-se realizar medições diretas no aterro, para quantificar o biogás que sai da superfície do aterro para a atmosfera.

A dispersão do gás metano como traçador dos outros gases e odores gerados na CPTR Marituba mostra que em qualquer período do dia os gases se espalham sobre o aterro, sendo maior a acumulação no período noturno (noite e madrugada) das duas estações do ano (Inverno e Verão) na área circundante ao aterro e atingindo parte dos municípios de Ananindeua e Marituba.

As concentrações de metano simuladas avaliadas na Região Metropolitana de Belém e mesmo em áreas muito próximas ao aterro não é superior aos níveis permitidos. Este estudo pode fornecer informações fundamentais para o projeto e operação de um sistema de extração de biogás do aterro. A instalação de tal sistema não só pode ajudar a reduzir a emissão de metano como um gás de efeito estufa e outros compostos orgânicos, mas também pode fornecer uma renda para a empresa gerenciadora do aterro e/ou para a Prefeitura de Marituba.

A realização de medidas de gases de efeito estufa neste caso do metano, seria uma forma de validar as concentrações do metano apresentadas neste estudo.

Os resultados dos questionários mostram que os riscos que a população percebe de viver próximo a CPTR Marituba estão relacionados à sua saúde física e aos efeitos no ambiente físico e social.

Encontrou-se que a inalação dos maus odores causa desconforto na população assim como também é uma possível causa de doenças respiratórias. Além disso, a população atribui a presença de moscas como uma maior possibilidade de contrair uma doença gastrointestinal assim também como doenças transmitidas por vetores como Zika, dengue e Chikungunya.

Embora a intensidade dos odores e sua capacidade de causar desconforto correspondam a avaliações subjetivas e, portanto, podem variar de pessoa para pessoa, neste caso, o estudo encontrou consenso de que o cheiro intenso da CPTR Marituba causa desconforto aos moradores. Por outro lado, os resultados das entrevistas mostram que há uma variação temporária na qualidade do ar, sendo o cheiro pior no período noturno e na estação mais chuvosa do ano (nos meses de dezembro a abril) coincidente com os resultados das plumas de dispersão do metano sendo nestes mesmos períodos a maior abrangência da pluma de dispersão do metano e por conseguinte dos outros gases presentes no biogás.

Os moradores estão insatisfeitos com a qualidade do ar devido a maus odores que causa a CPTR Marituba na área. No contexto da discussão sobre a autopercepção do impacto da CPTR

Marituba, isso mostra que os odores e proximidade com o aterro, produz uma emoção negativa e de descontento na população.

Por último, destaca-se que os supostos achados nesta pesquisa podem ter implicações para a saúde pública, uma vez que evidenciam o impacto negativo no bem-estar devido à proximidade da CPTR Marituba, além dos efeitos na saúde física que eles poderiam ocasionar e que só uma pesquisa na área da saúde poderia confirmar.

Os resultados desta pesquisa devem ser levados em conta na definição de políticas públicas para a localização de novos aterros sanitários e na implementação de ações para mitigar o impacto negativo dos aterros existentes.

Embora da relevância da temática abordada nesse trabalho, estudos sobre emissão de gases de aterros e sua dispersão na Região Amazônica são escassos na literatura. Portanto este trabalho ajudaria a acrescentar as pesquisas respeito as emissões de gases de efeito estufa na região metropolitana de Belém e da Amazônia.

REFERÊNCIAS

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). **Chapter 3: landfill gas safety and health issues**. Disponível em:

<https://www.atsdr.cdc.gov/HAC/landfill/html/ch3.html>. Acesso em: 20 nov 2018.

ALMEIDA, J.P.; RODRIGUES, J. **Um modelo gaussiano incorporado em SIG para estudo de impactos ambientais** – aplicação a um caso na zona de Coimbra. [Coimbra]: Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores de Coimbra, 2003.

AMINI, S.; MOWLA, D.; GOLKAR, M.; ESMAEILZADEH, F. **Mathematical modelling of a hydrocyclone for the down-hole oil-water separation (DOWS)**. Chemical Engineering Research and Design, v. 90, p. 2186-2195, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2014**. São Paulo: ABRELPE, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2016**. São Paulo: ABRELPE, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10.004: Resíduos sólidos** – classificação. Rio de Janeiro, 2004a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10.007: Amostragem de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, 2004b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10.006: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro, 2004c.

BANCO MUNDIAL (BM). **Crecimiento de la población (% anual)**. 2017. Disponível em: <https://datos.bancomundial.org/indicador/SP.POP.GROW?view=map> . Acesso em: 10 março 2018.

BÖRJESSON, G.; SVENSSON, B.H. **Measurements of landfills gaseous emissions and investigations on methane oxidation in the cover soils**. In: SARDINIA 97. 1997, Caligliary, Italy, **Proceedings of Sardinia 97**. Caligliary, Italy, 1997. v.4. f. 45-52.

BRASIL. Congresso. Câmara dos Deputados. **Lei nº 11.445** de 05 de janeiro de 2017. Diretrizes nacionais para o saneamento básico. Brasília, DF: Edições Câmara, 2017.

BRASIL. Congresso. Câmara dos Deputados. **Lei nº 12.305** de 02 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos. 2 ed. Brasília, DF: Edições Câmara. 2012.

BRASIL. Senado Federal. **Banco de Imagens Externas (BIE)**. Lixão da estrutural. Brasília, DF: Edilson Rodrigues/Agência Senado. 2014. Disponível em: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/bd/Lix%C3%A3o_da_Estrutural_%2815672548605%29.jpg. Acesso em: abril de 2018.

BRIGGS, G.A. **Diffusion estimation for small emissions**. Preliminary report. United States. doi:10.2172/5118833, 1973. Disponível em: <https://www.osti.gov/biblio/5118833-diffusion-estimation-small-emissions-preliminary-report> . Acesso em: maio de 2018.

BRITO FILHO, L.F. **Estudo de gases em aterros**. Casos: Nova Iguaçu e Terra Brava. 2005. 00f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Engenharia Civil /COPPE/ UFRJ, Rio de Janeiro, 2005.

CALVO F.; MORENO B.; RAMOS, Á.; ZAMORANO, M. Implementation of a new environmental impact assessment for municipal waste landfills as tool for planning and decision-making process. **Renew Sust Energ Rev**. v.11, n.1, p. 98-115. DOI: 10.1016/j.rser.2004.12.003. 2012.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Segunda comunicação nacional do Brasil a convenção-quadro das Nações Unidas sobre mudança do clima de 1990-2005**. 2010. São Paulo: CETESB. No prelo.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Terceira comunicação nacional do Brasil a convenção-quadro das Nações Unidas sobre mudança do clima**. 2016. São Paulo: CETESB. No prelo.

DALTON, P. Upper airway irritation, odor perception and health risk due to airborne chemicals. **Toxic Lett**, v. 140-141, p. 239-48, 2003.

DALTON, P.; WYSOCKI C.; BRODY M.; LAWLEY H. The influence of cognitive bias on the perceived odor, irritation and health symptoms from chemical exposure. **Int Arch Occup Environ Health**, v. 69, n.6, p. 407-17, 1997.

DAVIES, M. E.; SINGH, S. Thorney Island: its geography and meteorology. **Journal of Hazardous Materials**, v. 11, pp. 91—124, 1985.

EL-FADEL, M., FINDIKAKIS, A., LECKIE, J. Environmental impacts of solid waste landfilling. **Journal of Environmental Management**, v. 50, n. 1, f. 1-25, Maio, 1997.

GIFFORD JR, F. A. Use of routine meteorological observations for estimating atmospheric dispersion. **Nuclear Safety** v. 2, n. 4, p. 47-51. 1961.

GIFFORD JR, F. A. An outline of theories of diffusion in the lower layers of the atmosphere. In: SLADE, D. (ed.). **Meteorology and atomic energy**. USAEC, TID-24190, 1968. Chapter 3. Disponível em: <https://www.osti.gov/servlets/purl/4501607-8515s9/>. Acesso em: 15 de maio de 2018.

GLOBAL CARBON PROJECT (GCP). **Global methane budget**. 2016. Disponível em: <https://www.globalcarbonproject.org/methanebudget/> . Acesso em 23 de abril, 2018.

GUAMÁ VALORIZAÇÃO ENERGETICA. **Análise gravimétrica – Belém**. Belém do Pará: Guamá Valorização Energética. 2015.

HOLLAND, J. Z. **A meteorological survey of the oak ridge area**. Oak Ridge National

Laboratory, UASEAC Report ORO-99, pp. 554-559, 1953.

HOORNWEG D., BHADA-TATA P. **What a waste. A global review of solid waste management.** Urban development series knowledge papers. The World Bank. Urban Development Series, March 2012, No. 15. Disponível em:

https://siteresources.worldbank.org/INTURBANDEVELOPMENT/Resources/336387-1334852610766/What_a_Waste2012_Final.pdf. Acesso em 23 abril, 2018.

HOORNWEG D., GIANNELLI N. **Managing municipal solid waste in latin america and the caribbean.** Integrating the private sector, harnessing incentives. Gridlines, 28, 1-4.

Washington, DC: World Bank. (2009). Disponível em:

<https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/10639/417030LAC0MuniIridlines02801PUBLIC1.pdf;sequence=1> 9/08/2014. Acesso em: 23 de outubro de 2018.

HEALTH PROTECTION AGENCY (HPA). **Carbon dioxide. Incident management.**

Disponível em: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/566568/carbon_dioxide_incident_management.pdf . 2015. Acesso em: 21 abril, 2018.

HEALTH PROTECTION AGENCY (HPA). **Compendium of chemical hazards.** Methane. 2009. Disponível em: . Acesso em: 21 abril, 2018.

HEALTH PROTECTION AGENCY (HPA). **Impact on health of emissions from landfill sites.** Advice from Health Protection Agency. London. ISBN 978-0-85951-704-1. 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Brasil em síntese.** 2017. Disponível em: . Acesso em: 21 abril, 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo demográfico 2010:** Características da população e dos domicílios. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A. (IPT). **Lixo municipal:** manual de Gerenciamento Integrado. 4ª ed., São Paulo: Publicação IPT, 20018. 316 p.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Climatologia da cidade de Belém.** Belém, 2017. Disponível em: . Acesso em 15 de maio de 2018.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **2006 Guidelines for national greenhouse gas inventories.** Hayama, Kanagawa, Japan: IPCC Vol. 5 Waste, 2006.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **IPCC, 2001: Cambio climático 2014: Informe de síntesis.** Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al tercer Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra, Suiza: IPCC, 2001.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **IPCC, 2007: Cambio climático 2007: Informe de síntesis.** Contribución de los Grupos de trabajo I, II y

III al Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra, Suiza: IPCC, 2008.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **IPCC, 2014: Cambio climático 2014: Informe de síntesis**. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra, Suiza: IPCC, 2015.

KAMALAN, H.; SABOUR, M.; SHARIATMADARI, N. A review on available landfill gas models. **Journal of Environmental Science and Technology**, v. 4, n. 2, p. 79-92, 2011. 10.3923/jest.2011.79.92. 2011.

LAMBORN, J. Observations from using models to fit the gas production of varying volume test cells and landfills. **Waste Management**, v.32, p. 2353-2363, 2012.

LISBOA, H. **Controle da poluição atmosférica: meteorologia e dispersão**. Universidade Federal de Santa Catarina: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2005.

LOBO, A. **Desarrollo de MODUELO 2: herramienta para la evaluación de la contaminación producida en vertederos de residuos sólidos urbanos**. Tesis (Doctoral) - Universidad de Cantabria, Santander, España, 2003.

LONGHETTO, A. **Atmospheric planetary boundary layer physics**. New York: Elsevier, 1980.

MARQUES, L. **Visita de trabalho ao aterro controlado de lixo**. 2013. Disponível em: <http://leodatamarques.blogspot.com/2013/01/visita-ao-aterro-controlado-de-lixo.html>. Acesso em: 14 de abril de 2018.

MARTINS, E.M.; FORTES J. D. N.; LESSA R. DE A. Modelagem de dispersão de poluentes atmosféricos: Avaliação de modelos de dispersão de poluentes emitidos por veículos. **Revista Internacional de Ciências**. v.5, n. ,1 p. 2-19, jan/jun. 2015.

MIRANDA, A. **Efeitos da poluição atmosférica – exposição e saúde**. Aveiro: Universidade de Aveiro: Departamento de Ambiente e Ordenamento, 2007.

MORAES, M. **Implementação de um sistema de modelos para a qualidade do ar**. 2001. 109f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica, 2001.

MOREIRA, D.; TIRABASSI, T. Modelo matemático de dispersão de poluentes na atmosfera: um instrumento técnico para a gestão ambiental. **Ambiente & Sociedade**, v. 7, n. 2 jul./dez. 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/asoc/v7n2/24693.pdf>. Acesso em: abril de 2018.

NATIONAL INSTITUTE OF WATER AND ATMOSPHERIC RESEARCH, AURORA PACIFIC LIMITED E EARTH TECH INCORPORATED (NIWAR), MINISTRY FOR THE ENVIRONMENTAL, NEW ZEALAND. **Good practice guide for atmospheric dispersion modelling**. 2004. Disponível em:

http://itepsrv1.itep.nau.edu/itep_course_downloads/DispModelingResources/NewZealand_Go odPracticesGuideADM.pdf . Acesso em abril de 2018.

ORGANIZACIÓN DE NACIONES UNIDAS (ONU). **Estado de las ciudades de américa latina y el caribe 2012**. Rumbo a una nueva transición urbana. Brasil, 196 pp. ISBN: 978-92-1-132469-3. 2012.

ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL (OMM). **Boletín de la OMM sobre los gases de efecto invernadero**. 2016. Disponível em: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4024. Acesso em: 23 abril, 2018.

ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD (OPS), ASOCIACIÓN INTERAMERICANA DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL (AIDIS), BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO (BID). **Informe de la evaluación regional del manejo de residuos sólidos urbanos en américa latina y el caribe**. 2010. 23 p.

ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). **Country reviews, 2015**. Disponível em: <http://www.oecd.org/environment/country-reviews/find-a-review.htm>. Acesso em: março de 2018.

PASQUILL F. **Atmospheric diffusion**. 2nd edn. England: Ellis Horwood. 1974.

PASQUILL F. The estimation of the dispersion of windborne material. **Meteorological Magazine**, 90, 33-49. 1961.

PEREIRA, M. Avaliação da gestão de resíduos sólidos na cidade de Belém no estado do Pará. In: 26º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2011. Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, Rio Grande do Sul: ABES, 2011. p. 1-8.

PONTES, A. K. S.; SOARES, I. R. C.; SILVA, P. V. C.; MORAES, E. T. I.; SANTOS, J. T. S. **Análise da paisagem e formas de uso do solo, no aterro sanitário de Marituba/PA, através da ferramenta SIG**. Disponível em: <file:///home/biblioteca-03/Downloads/329-Texto%20do%20artigo-1700-1-10-20170618.pdf>. Acesso em: 23 de outubro de 2018.

REAL, J.L.G. **Riscos ambientais em aterros de resíduos sólidos com ênfase na emissão de gases**. 2005. x, 173f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Engenharia Civil/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2005.

REVITA. **Relatório de impacto ambiental**: resumo das informações sobre a central de processamento e tratamento de resíduos classe II. 2011. Disponível em: <https://www.semas.pa.gov.br/documentos/relatorio-de-impacto-ambiental/> . Acesso em: 20 abril, 2018.

RODRIGUES, T.S.N. **Estudo da viabilidade do aproveitamento energético do biogás gerado em célula experimental no aterro controlado de Muribeca-Pernambuco (PE)**. 2009. 149f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009.

SANTO, S.L.; FONTEL, Q.J.; PEREIRA, S.V.C. O tratamento de resíduos sólidos na região metropolitana de Belém. *In*: CONGRESSO SUL-AMERICANO DE RESÍDUOS SÓLIDOS E SUSTENTABILIDADE, 1., 2018, Gramado, RS. **Anais...** Gramado, RS: CONRESOL, 2018. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/conresol/conresol2018/IV-001.pdf>. Acesso em: 23 de outubro de 2018.

SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (SEMARNAT). **SEMARNAT. Informe de la situación del medio ambiente em México.** Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde. Edición 2015. SEMARNAT, México. 2016.

SECRETARIA MUNICIPAL DE SANEAMENTO (SESAN). **Serviços.** Belém, 2018. Disponível em: <http://www.belem.pa.gov.br/sesan/>. Acesso em 22 de abril de 2018.

SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA (SEEG). **Emissões totais.** 2016a. Disponível em: http://plataforma.seeg.eco.br/total_emission. Acesso em: abril de 2018.

SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA (SEEG). **Estimativa de emissões e remoções de gases de efeito estufa (CO₂ e GWP) no Brasil em 2016.** 2016b. Disponível em: <http://seeg.eco.br/tabela-geral-de-emissoes/>. Acesso em: abril de 2018.

STEINHEIDER B. Environmental outdoors and somatic complaints. *Zentralblatt für Hygiene und Umweltmedizin. International Journal of Hygiene and Environmental Medicine*, 202, p.101-19, 1999.

SUBSECRETARÍA DE DESARROLLO REGIONAL Y ADMINISTRATIVO (SUBDERE). **Programa nacional de residuos sólidos.** SUBDERE, Gobierno de Chile. Chile. 2018.

SUTTON O. G. **A theory of eddy diffusion in the atmosphere.** *Proc. R. Soc. Lond. A* 1932 135 143-165; DOI: 10.1098/rspa.1932.0025. 1 February 1932.

TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL, S. **Gestión integral de residuos sólidos.** 1 ed. España: McGraw-Hill, 1994.

THEMELIS, N.J.; ULLOA, P. A. **Methane generation in landfills.** *USA: Renewable Energy*, V. 32, f. 1243-1257, 2007.

TURNER, B. **Workbook of atmospheric dispersion estimates.** Boca Ratón, Florida, USA: CRC Press Inc., 1994.

TURNER, B. **Workbook of atmospheric dispersion estimates.** USA: U.S. Environmental Protection Agency. 1970.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Air emissions from municipal solid waste landfills:** background information for proposed standards and guidelines. USA: U.S. Environmental Protection Agency, Emission Standards Division, 1991.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Guidance for evaluating landfill gas emissions from closed or abandoned facilities.** Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency, 2005.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **SCREEN3 model user's guide.** EPA-454/B95-004. Research Triangle Park, NC: U.S. Environmental Protection Agency, 1995.

VIEIRA, S.M.M.; ALVES, J.W.S. **Primeiro inventario brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa.** Relatório de referência. Emissão de metano no tratamento e na disposição de resíduos. São Paulo. CETESB, 2003. 86pp.

ZANETTI, P. **Air pollution modeling:** theories, computational methods and available software. Monrovia, California: Aero Vironment, Inc. 1990.

APÊNDICE A – PROGRAMA DA PLUMA GAUSSIANA

```

%% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %%
%% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %%
% Programa de simulação da PLUMA GAUSSIANA.
% Laboratório de Física Atmosférica - FAMET - UFPA
%
% Baseado em:
%% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %%
%% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %%
% GAUSSIAN PLUME MODEL FOR TEACHING PURPOSES %
% PAUL CONNOLLY (UNIVERSITY OF MANCHESTER, 2014) %
% THIS CODE IS PROVIDED `AS IS' WITH NO GUARANTEE OF ACCURACY %
% IT IS USED TO DEMONSTRATE THE EFFECTS OF ATMOSPHERIC STABILITY, %
% WINDSPEED AND DIRECTION AND MULTIPLE STACKS ON THE DISPERSION OF %
% POLLUTANTS FROM POINT SOURCES %
%% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %%
%% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %%
%
%
%
%
%% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %%
%% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %%
% Do not change these variables %
%% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %%
%% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %%

% SECTION 0: Definitions (normally don't modify this section)
% view
PLAN_VIEW=1;
HEIGHT_SLICE=2;
SURFACE_TIME=3;
NO_PLOT=4;

% wind field
CONSTANT_WIND=1;
FLUCTUATING_WIND=2;
PREVAILING_WIND=3;
WIND_DATA=4;

% number of stacks
ONE_STACK=1;
TWO_STACKS=2;
THREE_STACKS=3;

% stability of the atmosphere
CONSTANT_STABILITY=1;
ANNUAL_CYCLE=2;
STATION_DATA = 3;

stability_str={'Very unstable','Moderately unstable','Slightly unstable',...
'Neutral','Moderately stable','Very stable'};
% Aerosol properties
HUMIDIFY=2;
DRY_AEROSOL=1;

SODIUM_CHLORIDE=1;

```

```

SULPHURIC_ACID=2;
ORGANIC_ACID=3;
AMMONIUM_NITRATE=4;
METHANE=5;
nu=[2 2.5 1 2 0];
rho_s=[2160 1840 1500 1725 1];
Ms=[58.44e-3 98e-3 200e-3 80e-3 16e-3];
Mw=18e-3;

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
```

```

% GRADE COMPUTACIONAL

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
```

```

dxy=10; % 10;          % resolution of the model in both x and y directions

```

```

dz=5;

```

```

x=-5000:dxy:5000; % solve on a 5 km domain

```

```

y=x;          % x-grid is same as y-grid

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

RH=0.5;

```

```

%tipo de gás

```

```

aerosol_type=METHANE;

```

```

dry_size=60e-9;

```

```

% se é seco ou úmido

```

```

%humidify=HUMIDIFY;

```

```

humidify=DRY_AEROSOL;

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
```

```

% CLASSES DE ESTABILIDADE

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
```

```

% Tipo de Classe de Estabilidade

```

```

%stability_used=CONSTANT_STABILITY; % Classe constante

```

```

%stability_used=ANNUAL_CYCLE;      % Ciclo anual (nao usar!)

```

```

stability_used = STATION_DATA;     % Estacao de dados

```

```

%pode ser de 1 a 6 variando de intensidade comandos abaixo (só tirar o %)

```

```

%stab1=1;

```

```

%stab1=2; % set from 1-6%

```

```

%stab1=3;

```

```

%stab1=4;

```

```

%stab1=5;

```

```

%stab1=6;

```

```

% Nome do arquivo com direção(1), velocidade(2), e insolação(3)

```

```

%station_data_file = 'stationdados2017_dvrp_inver_1.txt';

```

```

%rotulo = '2017_dvrp_inver_1';

```

```

%station_data_file = 'stationdados2017_dvrp_inver_2.txt';

```

```

%rotulo = '2017_dvrp_inver_2';
%station_data_file = 'stationdados2017_dvrp_inver_3.txt';
%rotulo = '2017_dvrp_inver_3';
%station_data_file = 'stationdados2017_dvrp_inver_4.txt';
%rotulo = '2017_dvrp_inver_4';
station_data_file = 'stationdados2017_dvrp_verao_1.txt';
rotulo = '2017_dvrp_verao_1';
%station_data_file = 'stationdados2017_dvrp_verao_2.txt';
%rotulo = '2017_dvrp_verao_2';
%station_data_file = 'stationdados2017_dvrp_verao_3.txt';
%rotulo = '2017_dvrp_verao_3';
%station_data_file = 'stationdados2017_dvrp_verao_4.txt';
%rotulo = '2017_dvrp_verao_4';

% Nebulosidade (fração do ceu encoberto) a ser usado - útil para a noite
% 0 - limpo
% 1 - 100% nublado
% Usado na rotina stab_function (interna);
cloudy = 0;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%

output=PLAN_VIEW;
%output=HEIGHT_SLICE;
%output=SURFACE_TIME;
%output=NO_PLOT;

% Local X da fatia vertical.
x_loc = -2000;
x_slice = floor( (x_loc-min(x))/dxy);
y_slice=1; % position (1-50) to plot concentrations vs time

wind=WIND_DATA;
% wind=PREVAILING_WIND;
% wind=PREVAILING_WIND_GUI;
% wind=CONSTANT_WIND;
% wind=FLUCTUATING_WIND;
% wind=FLUCTUATING_WIND_GUI;

% numero de fontes
%stacks=TWO_STACKS;
stacks=ONE_STACK;
%stacks=ONE_STACK;
% Localizacao do STACK (tamanho da extensão em x e y em km)
stack_x=[0 1000 -200];
stack_y=[0 250 -500];

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% MASSA
% Emissao de Marituba = 11.73/ano = 372g/s
Q=[372 0 0]; % mass emitted per unit time (g/s)

% altura da fonte
H=[0 0 0]; % stack height, m

% dia

```

```

days=30;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%-----
times=[1:days.*24]./24;

Dy=10;
Dz=10;

% Set the wind based on input flags+++++

switch wind
case WIND_DATA
    wind_data=load(station_data_file);
    nhoras=size(wind_data,1);
    days = nhoras/24;
    wind_vel=wind_data(:,2);
    wind_dir=wind_data(:,1);
    wind_speed=wind_vel;
    days = nhoras;
    wind_dir_str='Real';

case CONSTANT_WIND
    wind_dir=0.*ones(nhoras,1);
    wind_dir_str='Constant wind';
    wind_speed=wind_vel.*ones(nhoras,1); % m/s
case FLUCTUATING_WIND
    wind_dir=360.*rand(nhoras,1);
    wind_dir_str='Random wind';
    wind_speed=wind_vel.*ones(nhoras,1); % m/s

case PREVAILING_WIND
    wind_dir=-sqrt(2).*erfcinv(2.*rand(days.*24,1)).*40; % norminv(rand(days.*24,1),0,40);
    % note at this point you can add on the prevailing wind direction, i.e.
    % wind_dir=wind_dir+200;
    wind_dir(find(wind_dir>=360))=...
        mod(wind_dir(find(wind_dir>=360)),360);
    wind_dir_str='Prevailing wind';
    wind_speed=wind_vel.*ones(nhoras,1); % m/s

otherwise
    return;
end
%-----

% SECTION 2: Act on the configuration information

% Decide which stability profile to use
switch stability_used
case CONSTANT_STABILITY
    stability=stab1.*ones(nhoras,1);
    stability_str=stability_str{stab1};
case ANNUAL_CYCLE
    stability=round(2.5.*cos(times.*2.*pi/(365))+3.5);
    stability_str='Annual cycle';
case STATION_DATA
    wind_data=load(station_data_file);
    nhoras=size(wind_data,1);

```

```

%days = nhoras/24;
wind_dir=wind_data(:,1);
wind_vel=wind_data(:,2);
    insol =wind_data(:,3);
wind_speed=wind_vel;
    cloudy = wind_data(:,5);
    sunset = wind_data(:,6);
days = nhoras;
    stability = stab_function(wind_vel,insol,cloudy,sunset);

[nn] = icount(stability,[1:6]);
stability_str = ['Stability: ' num2str(nn)];
otherwise
    return
end

% decide what kind of run to do, plan view or y-z slice, or time series
switch output
case {PLAN_VIEW,SURFACE_TIME,NO_PLOT}
    C1=zeros(length(x),length(y),nhoras); % array to store data, initialised to be zero

    [x,y]=meshgrid(x,y); % x and y defined at all positions on the grid
    z=zeros(size(x)); % z is defined to be at ground level.

case HEIGHT_SLICE
    z=0:dz:100; % z-grid

    C1=zeros(length(y),length(z),nhoras); % array to store data, initialised to be zero

    [y,z]=meshgrid(y,z); % y and z defined at all positions on the grid
    y=y';
    z=z';
    x=x(x_slice).*ones(size(y)); % x is defined

otherwise
    return;
end

% SECTION 3: Main loop
% For all times...
h = waitbar(0,'Please wait...');
warning off
for i=1:length(wind_dir)
    for j=1:stacks
        C=gauss_func(Q(j),wind_speed(i),wind_dir(i),x,y,z,...
            stack_x(j),stack_y(j),H(j),Dy,Dz,stability(i));
        C1(:,i)=C1(:,i)+C;
    end
    waitbar(i/length(wind_dir),h);
end
warning on;
close(h);

```

```

% SECTION 4: Post process / output

% decide whether to humidify the aerosol and hence increase the mass
switch humidify
case DRY_AEROSOL
    disp('do nothing');
case HUMIDIFY
    mass=pi./6.*rho_s(aerosol_type).*dry_size.^3;
    moles=mass./Ms(aerosol_type);

    nw=RH.*nu(aerosol_type)*moles./(1-RH);
    mass2=nw.*Mw+moles.*Ms(aerosol_type);
    C1=C1.*mass2./mass;

otherwise
    return
end

% output the plots
switch output
case PLAN_VIEW
    figure;
    ndiv=32;
    cmap = parula(ndiv);
    dcol = (1-cmap(5,:))/4;
    cmap(4,:) = cmap(5,.)+dcol*1;
    cmap(3,:) = cmap(5,.)+dcol*2;
    cmap(2,:) = cmap(5,.)+dcol*3;
    cmap(1,:) = cmap(5,.)+dcol*4;

    pcolor(x,y,mean(C1,3).*1e6);shading flat
    %caxis([0 10000]);
    caxis([0 14000]);
    colormap(cmap);
    %title({stability_str,wind_dir_str});
    xlabel('x (metros)');
    ylabel('y (metros)');
    set(gca,'XTick',[-5000:2500:5000]);
    set(gca,'YTick',[-5000:2500:5000]);
    h=colorbar;
    ylabel(h,'\mu g m^{-3}');
    axis([x(1) x(end) y(1) y(end)]);
    set(gca,'DataAspectRatio',[1 1 1]);
    hgsave(gcf,[rotulo '_ug.fig']);
    print(gcf,[rotulo '_ug.png'],'-dpng','-r300');

    %%%%%%%%%%%%%%%
    % Preparativo para salvar esta imagem para uso com googleearth
    % 1. Definir a matrix ALPHA para deixar pixels sem gas transparentes.
    dados = mean(C1,3).*1e6;
    [nx ny] = size(dados);
    dados = reshape(dados,[nx*ny 1]);

    ALPHA = ~(dados<=500);
    cdata = zeros(nx*ny, 3);

    % escala começa (c0) termina (c1) com divisoes (ndiv)
    c0 = 0.0;

```

```

c1 = 10000;
ndiv = 32;
dc = (c1-c0)/ndiv;

cmap = parula(ndiv);
dcol = (1-cmap(5,:))/4;
cmap(4,:) = cmap(5,:)+dcol*1;
cmap(3,:) = cmap(5,:)+dcol*2;
cmap(2,:) = cmap(5,:)+dcol*3;
cmap(1,:) = cmap(5,:)+dcol*4;

for ic=1:ndiv
i0 = c0+dc*(ic-1);
i1 = c0+dc*ic;
iok = dados>i0; % & dados<i1;
for iii=1:3
cdata(iok,iii) = cmap(ic,iii);
end
end

cdata = reshape(cdata, [nx ny 3]);
ALPHA = reshape(ALPHA, [nx, ny]);

cdata = cdata(end:-1:1,:);
ALPHA = ALPHA(end:-1:1,:);
imwrite(cdata, [rotulo 'plan_view_ug.png'],'Alpha',double(ALPHA));
writekml([rotulo 'plan_view_ug.kml'],[ rotulo 'plan_view_ug.png'],x);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

figure; % Em PPM
pcolor(x,y,mean(C1,3).*1400);shading flat
caxis([0 20]);
colormap(cmap)
%title({ stability_str,wind_dir_str});
xlabel('x (metros)');
ylabel('y (metros)');
h=colorbar;
ylabel(h,'PPM CH4');
%set(gca,'XTick',[x(1):1000:x(end)]);
%set(gca,'YTick',[x(1):1000:x(end)]);
axis([x(1) x(end) y(1) y(end)]);
set(gca,'XTick',[-5000:2500:5000]);
set(gca,'YTick',[-5000:2500:5000]);
set(gca,'DataAspectRatio',[1 1 1])
hgsave(gcf,[rotulo '_ppm.fig']);
print(gcf,[rotulo '_ppm.png'],'-dpng','-r300');

% figure; % Em PPM
% pcolor(x,y,log10(mean(C1,3).*1400));shading flat
% caxis([0 20]);
% title({ stability_str,wind_dir_str});
% xlabel('x (metres)');
% ylabel('y (metres)');
% h=colorbar;
% ylabel(h,'log_{10} PPM CH4');

```

```

figure; % Em PPM
[cc hh] = contour(x,y,mean(C1,3).*1400,[1:2:21]);
clabel(cc,hh);
    colormap(cmap)
caxis([0 20]);
%title({stability_str,wind_dir_str});
xlabel('x (metres)');
ylabel('y (metres)');
h=colorbar;
grid
ylabel(h,'PPM CH4');
axis([x(1) x(end) y(1) y(end)]);
    set(gca,'XTick',[-5000:2500:5000]);
    set(gca,'YTick',[-5000:2500:5000]);
    set(gca,'DataAspectRatio',[1 1 1])
hgsave(gcf,[rotulo '_cont.fig']);
print(gcf,[rotulo '_cont.png'],'-dpng','-r300');

%    set(gca,'XTick',[-4000:1000:4000]);
%    set(gca,'YTick',[-4000:1000:4000]);
%    set(gca,'DataAspectRatio',[1 1 1])

case HEIGHT_SLICE
    figure;
    pcolor(y,z,mean(C1,3).*1e6);shading flat
    caxis auto
    xlabel('y (metres)');
    ylabel('z (metres)');
    title({stability_str,wind_dir_str});
    h=colorbar;
    ylabel(h,'\mu g m^{-3}');

    figure; % Em PPM
    pcolor(y,z,mean(C1,3).*1400);shading flat
    caxis auto
    title({stability_str,wind_dir_str});
    xlabel('y (metres)');
    ylabel('z (metres)');
    h=colorbar;
    ylabel(h,'PPM CH4');

case SURFACE_TIME
    figure;
    subplot(211);
    plot(times,1e6.*squeeze(C1(y_slice,x_slice,:)));hold on;
    try
        plot(times,smooth(1e6.*squeeze(C1(y_slice,x_slice,:)),24),'r');
        legend('Hourly mean','Daily mean')
    catch
    end
    xlabel('time (days)');
    ylabel('Mass loading (\mu g m^{-3})');
    title({stability_str,wind_dir_str});

    subplot(212)
    plot(times,stability);
    xlabel('time (days)');

```

```

        ylabel('Stability parameter');

    case NO_PLOT
        disp('don't plot');
    otherwise
        return;
end

%% Rotina para calcular Classe de Estabilidade
function stability = stab_function(wind_vel, insol, cloudy, sunset)

% Implementa a tabela de Turner 1970, porém sem informação de nebulosidade.
% wind_vel - velocidade do vento (m/s)
% insol    - insolação (W/m²)
% cloudy   - fração do céu nublado
% sunset   - flag lógica para a situação de uma hora antes do pôr do sol ou uma hora depois do nascer do sol.
%

A=1;
B=2;
C=3;
D=4;
E=5;
F=6;

npoints = numel(wind_vel);
stability = -9999*ones(size(1,npoints));

for ipt=1:npoints
    ins = insol(ipt);
    sst = sunset(ipt);
    wve = wind_vel(ipt);
    cld = cloudy(ipt); % Apenas usada a noite

    %% DIA
    if(ins>600 & ~sst )
        if(wve<=2.0)
            stab = A;
        elseif(wve<=3.0 & wve>2.0)
            stab = B;
        elseif(wve<=5.0 & wve>3.0);
            stab = B;
        elseif(wve<=6.0 & wve>5.0)
            stab = C;
        else
            stab = C;
        end
    elseif(ins>300 & ins<=600 & ~sst )
        if(wve<=2.0)
            stab = B;
        elseif(wve<=3.0 & wve>2.0)
            stab = B;
        elseif(wve<=5.0 & wve>3.0);
            stab = C;
        elseif(wve<=6.0 & wve>5.0)
            stab = D;
        end
    end
end

```

```

else
    stab = D;
end
elseif(ins>100 & ins<=300 & ~sst )
    if(wve<=2.0)
        stab = B;
    elseif(wve<=3.0 & wve>2.0)
        stab = C;
    elseif(wve<=5.0 & wve>3.0);
        stab = C;
    elseif(wve<=6.0 & wve>5.0)
        stab = D;
    else
        stab = D;
    end
elseif(ins>0 & ins<=100 & ~sst )
    if(wve<=2.0)
        stab = C;
    elseif(wve<=3.0 & wve>2.0)
        stab = C;
    elseif(wve<=5.0 & wve>3.0);
        stab = C;
    elseif(wve<=6.0 & wve>5.0)
        stab = D;
    else
        stab = D;
    end
elseif(ins>0 & sst)
    stab = D;

%%% NOITE
elseif(ins <= 0 & cld <= 3.0/8.0 )
    if(wve<=2.0)
        stab = F;
    elseif(wve<=3.0 & wve>2.0)
        stab = F;
    elseif(wve<=5.0 & wve>3.0);
        stab = E;
    elseif(wve<=6.0 & wve>5.0)
        stab = D;
    else
        stab = D;
    end
elseif(ins <= 0 & cld > 3.0/8.0 & cld <=7.0/8.0 )
    if(wve<=2.0)
        stab = F;
    elseif(wve<=3.0 & wve>2.0)
        stab = E;
    elseif(wve<=5.0 & wve>3.0);
        stab = D;
    elseif(wve<=6.0 & wve>5.0)
        stab = D;
    else
        stab = D;
    end
elseif(ins <= 0 & cld > 7.0/8.0)
    stab = D;
else
    disp('ERROR: Não deveria estar aqui!')

```

```

    wve
    ins
    cld
    sst
    error('Tabela de Gilford estah errada!');
end

    stability(ipt) = stab;
end

end

function [nn] = icount(data,list)

    for ii=1:numel(list)
        nn(ii) = numel(find(data==list(ii)));
    end

end

function writekml(fn,ffig,x)

    lat0 = -1.3974490000000000;
    lon0 = -48.3380340000000000;
    x0=min(x(:));
    x1=max(x(:));
    north = num2str(lat0+32.34/60/60*x0/1000);
    south = num2str(lat0-32.34/60/60*x0/1000);
    east = num2str(lon0+32.34/60/60*x0/1000);
    west = num2str(lon0-32.34/60/60*x0/1000);

    hh=fopen(fn,'w');

    fprintf(hh,['<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>\n']);
    fprintf(hh,['<kml xmlns="http://www.opengis.net/kml/2.2">\n']);
    fprintf(hh,[' <Folder>\n']);
    fprintf(hh,[' <name>Pluma Gaussiana Overlay</name>\n']);
    fprintf(hh,[' <description>Overlay da Pluma para Google Earth</description>\n']);
    fprintf(hh,[' <GroundOverlay>\n']);
    fprintf(hh,[' <name>Pluma de Metano</name>\n']);
    fprintf(hh,[' <description>Pluma média de Metano emitida\n']);
    fprintf(hh,[' pelo Aterro Sanitario de Marituba em 2017.</description>\n']);
    fprintf(hh,[' <Icon>\n']);
    fprintf(hh,[' <href>', ffig '</href>\n']);
    fprintf(hh,[' </Icon>\n']);
    fprintf(hh,[' <LatLonBox>\n']);
    fprintf(hh,[' <north>' north '</north>\n']);
    fprintf(hh,[' <south>' south '</south>\n']);
    fprintf(hh,[' <east>' east '</east>\n']);
    fprintf(hh,[' <west>' west '</west>\n']);
    fprintf(hh,[' <rotation>0.0</rotation>\n']);
    fprintf(hh,[' </LatLonBox>\n']);
    fprintf(hh,[' </GroundOverlay>\n']);
    fprintf(hh,[' </Folder>\n']);
    fprintf(hh,['</kml>\n']);
    fclose(hh);

end

```

APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO APLICADO

DAT A	ENTREVISTAD OR	SET OR
____/____/2018		
<p>1. Rua: _____ Nº: _____</p> <p>2. Nome: _____</p> <p>3. Sexo: Masculino () Feminino ()</p>		
<p>4. Idade: _____ 5. Ocupação: _____ 6. Mora a quantos anos na Região? _____</p> <p>7. Cor: Preto () Pardo () Branco () Amarelo () Outros: _____</p>		
<p>8. Estado civil: Solteiro () Casado () Divorciado () Viúvo () Outros:</p> <p>9. Possui Filhos? Sim () Não () 10. Quantos: _____</p> <p>11. Está Grávida? Sim () Não () 12. Quantos meses: _____</p> <p>13. Grau de instrução: S.I. () Primário () Fundamental () Médio () Técnico () Grad () Pós-Grad. ()</p>		
<p>14. Com relação ao ar que você respira, você acha que o ASM deixou o ar PIOR? () Sim () Não</p> <p>15. De que forma? Mau cheiro () Poeira () Fumaça () Outros:</p> <p>16. Esse problema incomoda? Nada () Pouco () Mais ou Menos () Muito ()</p>		
<p>17. A que horas você sente que é pior?</p> <p>Horário Aleatório (imprevisível/várias horas) () - Pouco () Médio () Muito ()</p> <p>Ou</p> <p>Madrugada (00:00-06:00) () - Pouco () Médio () Muito ()</p> <p>Manhã (06:00-12:00) () - Pouco () Médio () Muito ()</p> <p>Tarde (12:00-18:00) () - Pouco () Médio () Muito ()</p> <p>Noite (18:00-00:00) () - Pouco () Médio () Muito ()</p> <p>18. Alguma hora específica: Sim () Não () Horário: _____</p>		
<p>19. É pior quando faz: Sol () Chuva () Calor () Vento () Sem vento () Outros</p> <p>20. Tem alguma época que isso muda? (época de chuva/calor)? Sim () Não ()</p> <p>21. Qual época? _____</p>		
<p>22. A situação mudou de um ANO para cá? Não () Melhor () Pior () Outros:</p>		

<p>23. Esse problema mudou algo no seu día-a-día (ou de outro morador)? Sim () Não ()</p> <p>24. O que? Sono () Refeição () Lazer () Estudo () Trabalho () Outros</p> <p>25. Como afetou? _____</p> <p>26. Você toma alguma medida para evitar esse problema? Sim () Não ()</p> <p>27. Qual? _____</p> <p>28. Tem alguma vantagem em morar perto do ASM? Sim () Não ()</p> <p>29. Qual? _____</p> <p>30. Com a presença do ASM a coleta do lixo na sua casa? Não mudou () Melhorou () Piorou ()</p>
<p>31. Houve alguma ação ou orientação do Governo sobre o problema? Sim () Não ()</p> <p>32. Qual? _____</p> <p>33. Se SIM você acha que essa ação melhorou o problema? Sim () Não ()</p> <p>34. Nos último ANO, você percebeu alguma Melhora na ação do governo com relação ao problema do ASM? Melhorou () Mesmo () Piorou ()</p> <p>35. Você sabe se teve alguma ação da Comunidade para lidar com o problema? Sim () Não ()</p> <p>36. Você acha que essa ação melhorou o problema? Sim () Não ()</p> <p>37. Você acha que o problema do aterro é devido à: Localização () Tratamento inadequado do lixo () Fiscalização do Governo () Outros _____</p>
<p>38. Você acha que o ASM causou algum problema de saúde em você ou em alguém da sua família? Sim () Não ()</p> <p>39. Qual? _____</p> <p>40. Você foi ao posto de saúde por causa disso? Sim () Não ()</p> <p>41. Seu problema foi resolvido? Sim () Não ()</p>
<p>Observações:</p>
<p>Comentários:</p>


```
iDAT{1,1} = find(hour>=0&hour<6 & ismember(month,inverno));
iDAT{1,2} = find(hour>=6&hour<12 & ismember(month,inverno));
iDAT{1,3} = find(hour>=12&hour<18 & ismember(month,inverno));
iDAT{1,4} = find(hour>=18&hour<24 & ismember(month,inverno));
```

```
iDAT{2,1} = find(hour>=0&hour<6 & ismember(month,verao));
iDAT{2,2} = find(hour>=6&hour<12 & ismember(month,verao));
iDAT{2,3} = find(hour>=12&hour<18 & ismember(month,verao));
iDAT{2,4} = find(hour>=18&hour<24 & ismember(month,verao));
```

% Cria oito arquivos de dados, um para cada um desses acima:

```
sest={'inver','verao'};
sdia={'1','2','3','4'};
```

```
%%%%%%%%%%
%% Salvar Dados
```

```
for ist=1:2
```

```
  for idi=1:4
```

```
    isel = iDAT{ist,idi};
```

```
    fn=[rootname sest{ist} '_' sdia{idi} '.txt'];
```

```
    disp(['Salvando arquivo ' fn]);
```

```
    %%%%%%%%%%
```

```
    % Estimar cobertura (nebulosidade) a partir da precipitação:
```

```
    % Metodo 1
```

```
    % Se houver precipitação: 1 (100%)
```

```
    % Se não houver precipit: 0 (0%)
```

```
    % cloudy = dc(isel,21)>0;
```

```
    % Metodo 2
```

```
    % Se prec=>15mm -> 100%
```

```
    % Se 2<=prec<15mm -> 50%
```

```
    % Se prec<2 -> 0%
```

```
    cloudy = zeros(numel(isel),1);
```

```
  for ii=1:numel(isel)
```

```
    prec = dc(isel(ii),21);
```

```
    if(prec>=15)
```

```
      cloudy(ii) = 1.0;
```

```
    elseif(prec>=2 & prec<15)
```

```
      cloudy(ii) = 0.5;
```

```
    else
```

```
      cloudy(ii) = 0.0;
```

```
    end
```

```
  end
```

```
% Notacao vetorial
```

```
%is15 = dc(isel,21)>=15;
```

```
%is2 = dc(isel,21)>=2;
```

```
%cloudy(is15) = 1.0;
```

```
%cloudy(is2 & ~is15) = 0.5;
```

```
%cloudy(~is2) = 0.0;
```

```

%%%%%%%%%%
% Verificar horário:
% Um hora depois do nascer do sol: Sol nasce por volta de 6:30 -> na casa das 6hrs. Marca essa casa como
sunset.
% Uma hora antes do por do sol: o Sol se poe por volta de 6:30 -> na casa das 18hrs.
sunset = hour(isel)==6 | hour(isel)==18;

% Checar se está certo:
sdata = [dc(isel,18) ... % Direcao
         dc(isel,17) ... % Velocidade
         dc(isel,20)/3.6 ...% Radiacao
         dc(isel,21) ... % Precipitacao
         cloudy ... % Cobertura de Nuvens
         sunset ... % Por/Nascer do Sol
         md(isel) ... % mdate do instante da medida

];

save(fn,'sdata','-ascii');
end
end

%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%

%% FIM
disp('FIM');
return

```