



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ – UFPA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

**Layse Teixeira Pinheiro**

**FLUXOS DE DIÓXIDO DE CARBONO E METANO DE UM LIXÃO NA  
AMAZÔNIA**

Belém - PA

2018

**LAYSE TEIXEIRA PINHEIRO**

**FLUXOS DE DIÓXIDO DE CARBONO E METANO DE UM LIXÃO NA AMAZÔNIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em convênio com EMBRAPA – Amazônia Oriental e Museu Paraense Emílio Goeldi à banca examinadora, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Área de Concentração: Interação Clima, Sociedade e Ambiente.

Linha de Pesquisa: Ecossistemas Amazônicos e Dinâmicas Socioambientais.

Orientador: Dr. José Henrique Cattanio

Belém - PA

2018

**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)**

---

T266f      Teixeira, Layse.  
Fluxos de dióxido de carbono e metano de um lixão na Amazônia / LayseTeixeira. —  
2018. 111 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. José Henrique Cattanio Cattanio  
Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais,  
Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2018.

1. Fluxo. 2. Gases de Efeito Estufa. 3. Metano. 4. Dióxido de Carbono. I. Título.

CDD 628.53

---


LAYSE TEIXEIRA PINHEIRO

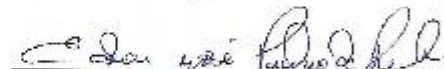
FLUXOS DE DIÓXIDO DE CARBONO E METANO DE UMLIXÃO NA  
AMAZÔNIA

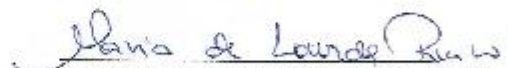
Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais, Instituto de Genéncias da Universidade Federal do Pará em parceria com o Museu Paraense Emílio Goeldi e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária da Amazônia Oriental, como requisito para obtenção do título de Mestre em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

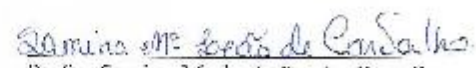
Data de aprovação: 03/ 08 / 2018

Banca Examinadora:

  
Prof. José Henrique Castanho - Orientador  
Doutor em Agronomia  
Universidade Federal do Pará

  
Prof. Edson José Paulino da Rocha - Avaliador Interno  
Doutor em Meteorologia  
Universidade Federal do Pará

  
Prof. Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo - Avaliador  
Interno  
Doutora em Agronomia  
Museu Paraense Emílio Goeldi

  
Prof. Samira Maria Leão de Carvalho - Avaliador  
Interno  
Doutora em Engenharia Química  
Universidade Federal do Pará

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pela força concedida diante de todas as dificuldades e pela capacidade de tornar possível o que antes parecia impossível.

Ao meu irmão Leonardo por compartilhar comigo momentos de resistência física durante a realização da pesquisa, sem me deixar cair ou desanimar.

A Secretaria de Saneamento de Belém – SESAN, pela autorização da pesquisa no Aurá e disponibilização de informações.

Um grande obrigado aos funcionários do Aterro Aurá, pela atenção e cooperação durante as visitas ao local.

A FAPESPA, pelo incentivo a pesquisa realizada.

A todas as pessoas que contribuíram para este trabalho de alguma forma.

Dedico a minha mãe Raimunda e as minhas Marias pelo exemplo de luta e vida que sempre me inspiraram a ser a melhor versão de mim.

## RESUMO

Este trabalho teve como objetivo a quantificação da emissão dos gases de efeito estufa, dióxido de carbono e metano, existentes no aterro não controlado Aurá, conhecido como “Lixão do Aurá”, além da coleta de informações após o seu encerramento parcial no ano de 2015. A pesquisa contou com uma análise qualitativa de aspectos ambientais do local e uma parte experimental, com o desenvolvimento de câmaras de fluxo, para captura dos gases através da cobertura de células distintas do aterro. As medidas foram realizadas de duas formas, sendo a primeira com 24 câmaras distribuídas em três pontos distintos de duas células com idades relativamente diferentes e 90 câmaras, distribuídas em grade, em uma célula encerrada. Estas medidas ocorreram em período menos chuvoso e tiveram seus pontos localizados através de coordenadas geográficas. Foi utilizado um analisador de gases portátil que permitiu a obtenção simultânea da concentração dos gases em ppm. Os cálculos de fluxo, envolveram a seleção dos intervalos de cada câmara, determinação da reta de regressão das concentrações dos gases pelo tempo, equação barométrica e inserção dos dados obtidos na equação principal de fluxo. Os valores encontrados das emissões de metano nas células intituladas A, B e C foi de 191,226 g m<sup>2</sup> d<sup>-1</sup>, 397,7 g m<sup>2</sup> d<sup>-1</sup> e 36,30 g m<sup>2</sup> d<sup>-1</sup>, respectivamente. Já os fluxos de dióxido de carbono alcançaram valores de 10.554,1 g m<sup>2</sup> d<sup>-1</sup>, 11.786,65 g m<sup>2</sup> d<sup>-1</sup> e 7.529,77 g m<sup>2</sup> d<sup>-1</sup>.

Palavras-chave: Fluxo. Gases de Efeito Estufa. Metano. Dióxido de Carbono. Aurá-Belém/Pará.

## ABSTRACT

This work had as aim the quantification of greenhouse gases, carbon dioxide and methane from the uncontrolled Aurá landfill, known as the "Auré Lode", in addition to collecting information from the place after its partial closure in 2015. The research had a qualitative analysis of environmental aspects of the site and an experimental part, with the development of flow chambers, to capture the gases through the covering of cells other than the landfill. The measurements were performed in two ways, the first with 24 chambers distributed in three distinct points of two cells with relatively different ages and 90 chambers, distributed in grid, in a closed cell. These measurements occurred in a less rainy period and had their points located through geographic coordinates. A portable gas analyzer was used to simultaneously obtain the gas concentration in ppm. The flow calculations involved the selection of the intervals of each chamber, determination of the regression line of the gas concentrations by time, barometric equation and insertion of the data obtained in the main flow equation. The values of methane emissions in the cells titled A, B and C were 191,226 g m<sup>2</sup> d<sup>-1</sup>, 397.7 g m<sup>2</sup> d<sup>-1</sup> and 36.30 g m<sup>2</sup> d<sup>-1</sup>, respectively. The carbon dioxide fluxes reached 10,554.1 g m<sup>2</sup> d<sup>-1</sup>, 11,786.65 g m<sup>2</sup> d<sup>-1</sup> and 7,529.77 g m<sup>2</sup> d<sup>-1</sup>.

Key-words: Flux. Greenhouse gas. Methane. Carbon dioxide. Aurá-Belém/Pará.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1- Classificação dos resíduos sólidos (PNRS) .....	16
Quadro 2 - Classificação dos resíduos sólidos de acordo com a ABNT .....	17
Figura 1- Fases de biodegradação em aterros sanitários com o passar do tempo.....	25
Figura 2- Escala de Impactos dos Gases de Aterro no seu entorno .....	29
Quadro 3 - Contaminantes comumente encontrados em gases de aterro .....	29
Figura 3 - Emissões de Metano na superfície do Aterro de Kuchino .....	30
Figura 4 - Localização da Área de Estudo - Aurá .....	38
Figura 5 - Circulação de veículos pesados .....	43
Figura 6 - Despejo irregular de lixo doméstico.....	43
Figura 7- Sistema hídrico do Utinga.....	45
Figura 8 - Abertura artificial.....	45
Figura 9 - Sistema de queima do biogás.....	46
Figura 10 - A) combustão em célula B) Poeira .....	48
Figura 11 - A) Paisagem em 2015 B) Paisagem em 2017 .....	49
Figura 12 - Vegetação em células encerradas.....	50
Figura 13 - Animais invasores na área do lixão Aurá: A) Cavalo ( <i>Equus caballus</i> ); B) Cachorro ( <i>Canis lupus familiaris</i> ).....	50
Figura 14 - Aspectos sociais no lixão: A) catadores remanescentes no lixão B) Galpão de triagem.....	52
Quadro 4- Classificação dos impactos observados .....	53
Figura 15 - Disposição dos locais analisados .....	59
Figura 16 - Organização aproximada das células no aterro Aurá .....	60
Figura 17 - Precipitação Mensal e Anual (mm) de Belém (1961-1990).....	62
Figura 18 - Precipitação Mensal Acumulada Ano de 2017x Normal Climatológica (1961-1990).....	62
Figura 19 - A) Célula A B) Resíduos presentes na célula .....	63
Figura 20 - A) Célula B B) resíduos domésticos C) Combustão de resíduos..	64
Figura 21 - Local C.....	65
Figura 22 - Termo-higroanemômetro modelo AK821 .....	67
Figura 23 - US - TDR modelo Hydrosense .....	68
Figura 24 - Histograma dos fluxos de CO <sub>2</sub> e CH <sub>4</sub> da célula A .....	74

Figura 25 - Histograma dos fluxos de CO <sub>2</sub> e CH <sub>4</sub> da célula B .....	74
Figura 26 - Histograma dos fluxos de CO <sub>2</sub> e CH <sub>4</sub> da célula C .....	75
Gráfico 1 — Variação horária dos fluxos de CH <sub>4</sub> - Célula A.....	77
Gráfico 2 — Variação horária dos fluxos de CO <sub>2</sub> – Célula A.....	77
Gráfico 3 — Variação horária dos fluxos de CH <sub>4</sub> - Célula B.....	79
Gráfico 4 — Variação horária dos fluxos de CO <sub>2</sub> – Célula B.....	79
Gráfico 5 — Variação horária dos fluxos de CH <sub>4</sub> – Célula C.....	80
Gráfico 6 — Variação horária dos fluxos de CO <sub>2</sub> – Célula C.....	80

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estimativas anuais de reduções de emissões em toneladas de CO <sub>2</sub> e	47
Tabela 2 - Resumo de redução de emissões certificadas (RCEs) por período..	47
Tabela 3 - Características gerais das células. ....	61
Tabela 4 - Precipitação acumulada para os períodos de medição .....	62
Tabela 5 - Resumo análise descritiva dos fluxos .....	73
Tabela 6 - Média e valores mínimos e máximos dos parâmetros em cada célula.	81
Tabela 7- Matriz de correlação entre fluxos e parâmetros ambientais - Célula A.	82
Tabela 8 - Matriz de correlação entre fluxos e parâmetros ambientais - Célula B	83
Tabela 9 - Matriz de correlação entre fluxos e parâmetros ambientais - Célula C.	84

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	14
<b>1.1 Resíduos Sólidos</b> .....	15
1.1.1 Classificações dos resíduos sólidos.....	15
1.1.2 Caracterização dos resíduos sólidos .....	16
1.1.3 Caracterização dos resíduos sólidos .....	17
1.1.4 Problemática dos Resíduos Sólidos.....	18
1.1.5 Impactos da disposição incorreta de resíduos urbanos .....	19
<b>1.2 Aterros Sanitários</b> .....	21
1.2.1 Tipos de Aterramento.....	23
1.2.2 Desativação de Aterros .....	24
<b>1.3 Geração de Gases em Aterros Sanitários</b> .....	24
1.3.1 Etapas de Biodegradação em Aterros Sanitários.....	25
1.3.2 Fatores que influenciam a composição e geração dos gases.....	26
1.3.4 Rotas de exposição e Danos à Saúde .....	28
1.3.5 Variabilidade das Emissões de Gases de Aterro .....	30
<b>1.4 Medição de Gases de Aterro com o uso de Câmaras</b> .....	31
1.4.1 Princípio de Funcionamento.....	32
<b>1.5 Objetivos da Pesquisa</b> .....	33
1.5.1 Geral .....	33
1.5.2 Específicos.....	33
<b>1.6 Estrutura da Dissertação</b> .....	34
<b>CAPITULO 2 DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DO ANTIGO “LIXÃO DO AURÁ”</b> .....	35
<b>2.1 Introdução</b> .....	37
<b>2.2 Material e Métodos</b> .....	38
2.2.1 Localização da área de estudo .....	38
2.2.2 Diagnóstico ambiental da área do lixão .....	38
2.2.3 Caracterização e análise dos impactos.....	39
2.2.5 Causas e consequências da degradação na área .....	40

2.3 Resultados e Discussões.....	40
2.3.3 Meio Físico.....	42
2.3.4 Meio Biótico.....	49
2.3.5 Meio Antrópico .....	51
2.3.6 Classificação de impactos identificados.....	53
<b>2.4 Conclusão.....</b>	<b>54</b>
<b>CAPÍTULO 3 ESTIMATIVA DE FLUXOS DE METANO E CO2 EM ATERRO SANITÁRIO .....</b>	<b>55</b>
<b>3.1 Introdução .....</b>	<b>57</b>
<b>3.2 Materiais e Métodos .....</b>	<b>58</b>
3.2.1 Caracterização da Área de estudo.....	59
3.2.2 Critérios de escolha dos Locais .....	60
3.2.3 Período das Medições .....	61
3.2.4 Descrição dos Locais Escolhidos.....	63
3.2.5 Emissões de Dióxido de Carbono e Metano .....	66
3.2.6 Outros Equipamentos Utilizados .....	67
3.2.7 Cálculo das emissões de metano e dióxido de carbono .....	68
3.2.8 Análise Descritiva de Dados .....	70
3.2.9 Variação Horária .....	71
3.2.10 Correlação.....	71
<b>3.3 Resultados e Discussões .....</b>	<b>72</b>
3.3.1 Análise descritiva dos dados.....	72
3.3.3 Variação horária dos Fluxos de Metano e Dióxido de Carbono .....	76
3.3.2 Correlação de Fluxos e Aspectos Ambientais.....	81
<b>3.4 Conclusão.....</b>	<b>85</b>
<b>4 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>86</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>87</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>96</b>

<b>APÊNDICE A - COORDENADAS GEOGRÁFICAS DOS PONTOS (CÉLULAS A E B)</b> .....	96
<b>APÊNDICE B - COORDENADAS GEOGRÁFICAS DOS PONTOS (CÉLULA C)</b> .....	97
<b>APÊNDICE C - FLUXOS INDIVIDUAIS DE CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> E COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO R<sup>2</sup> (CÉLULA A)</b> .....	98
<b>APÊNDICE D - FLUXOS INDIVIDUAIS DE CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> E COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO R<sup>2</sup> (CÉLULA B)</b> .....	100
<b>APÊNDICE E - FLUXOS INDIVIDUAIS DE CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> E COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO R<sup>2</sup> (CÉLULA C)</b> .....	102
<b>APÊNDICE F - PARÂMETROS AMBIENTAIS (CÉLULA A)</b> .....	104
<b>APÊNDICE G - PARÂMETROS AMBIENTAIS (CÉLULA B)</b> .....	106
<b>APÊNDICE H - PARÂMETROS AMBIENTAIS (CÉLULA C)</b> .....	108

## CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL

Por décadas utilizado como disposição final dos resíduos sólidos urbanos (RSU) gerados pela Região Metropolitana de Belém (RMB), o local conhecido como “Lixão do Aurá”, considerado como um dos maiores existentes no Brasil, contrasta com a realidade do país onde 58,4 % dos municípios utilizam como disposição final aterros sanitários segundo dados do Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, divulgado no ano de 2017 pela ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais.

Essas mudanças na gestão e gerenciamento dos resíduos brasileiros continuam em processo de transformação estimulado pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), através da Lei Nº 12.305/2010, que trouxe diretrizes e metas aos municípios, com destaque a disposição ambientalmente adequada dos resíduos proibindo o lançamento destes a céu aberto e a extinção dos lixões num prazo de quatro anos após a publicação da Lei.

No entanto a PNRS continua sendo um desafio pois o não cumprimento dos prazos, permite que locais inadequados como lixões e aterros controlados, utilizados por 17,4% e 24,2% dos municípios respectivamente (ABRELPE, 2017), continuem funcionando e ampliando as proporções dos impactos ambientais advindos destas formas de irregulares de disposição.

Uma exemplificação deste cenário negativo é o antigo Lixão do Aurá, foco de estudos com ênfases nos impactos que incluem aspectos ambientais como a contaminação por matéria orgânica e metais pesados do Rio Aurá afluente do Rio Guamá (MORALES, 2002; SIQUEIRA, 2013). Como também aspectos sociais envolvendo os catadores de resíduos, os quais se encontram em situações extremas de insalubridade e acabam por não serem incluídos pelo Poder Público Municipal ao sistema formal de trabalho (DANTAS, 2015), apesar das exigências da PNRS de inclusão e incentivo às cooperativas ou catadores autônomos e comprometimento dos municípios quanto a implementação de tais medidas.

Dentre os estudos realizados no local, não existem atualmente algum relacionado a produção de gases de aterro, como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e metano (CH<sub>4</sub>), produzidos durante o processo de estabilização da matéria orgânica presente no volume de resíduos. A produção desses gases ganha grande importância por conta

das características destes em reter a radiação infravermelha na atmosfera terrestre sendo dois dos principais gases de efeito estufa, sendo necessária a investigação da atual produção de gases no lixão do Aurá, desativado para o depósito de resíduos urbanos no ano de 2015.

Inúmeros estudos realizados em aterros criaram modelos para as emissões de gases, no entanto dada as incertezas destes é necessário o uso de métodos diretos de análise. Essa ideia tornou-se a motivação do estudo aqui proposto com o intuito de trazer dados sobre os aspectos referentes as emissões de gases no antigo lixão do Aurá. O estudo apresentado encontra-se dividido em tópicos gerais sobre os resíduos sólidos, características dos gases de aterro e aterros sanitários.

## **1.1 Resíduos Sólidos**

### **1.1 .1 Classificações dos resíduos sólidos**

Diversas definições de resíduos sólidos foram elaboradas na tentativa de diferenciá-los do conceito antigo de lixo. Entre os conceitos aceitáveis tem o estabelecido pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) em sua Norma Brasileira - NBR N° 10.004/04, que o define como todo material no estado sólido ou semissólido, que resultam da atividade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviço e de varrição.

Em uma abordagem mais atual a Política Nacional de Resíduos Sólidos define como:

“[...] material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviável em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010).”

Percebe-se que este conceito traz como diferencial a inclusão do grupo de gases e líquidos especificados, o que distância este da sua simples terminologia. Além do conceito estabelecido sobre os resíduos sólidos, a PNRS em seu Art. 3º, inciso XV apresenta uma nova terminologia para o gerenciamento de resíduos sólidos, o conceito de rejeito, adotada para todo resíduo sólido cujas possibilidades de



tratamento e recuperação por meios tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis estivessem esgotadas.

### 1.1.2 Caracterização dos resíduos sólidos

A Normativa Técnica NBR 10.004 informa que para a classificação dos resíduos sólidos devem ser estabelecidos critérios como identificação do processo ou atividade de origem, constituintes e características, e a comparação destes constituintes com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente sejam conhecidas.

A PNRS, quanto à origem dos resíduos, classifica os resíduos sólidos em dez categorias: resíduos domiciliares, resíduos de limpeza urbana, resíduos sólidos urbanos, resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviço, resíduos do serviço público de saneamento básico, resíduos industriais, resíduos de serviço de saúde, resíduos de construção civil, resíduos agrossilvopastoris, resíduos de serviço de transporte e os resíduos de mineração, conceituados no quadro 1.

Quadro 1 — Classificação dos resíduos sólidos segundo a política nacional de resíduos sólidos (PNRS)

(continua)

CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DE ACORDO COM A SUA ORIGEM PELA PNRS	
Resíduos Domiciliares	Originários de atividades domésticas em residências urbanas.
Resíduos de Limpeza Urbana	Originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana.
Resíduos Sólidos Urbanos	Resíduos domiciliares e de limpeza urbana.
Resíduos de Estabelecimentos Comerciais e Prestadores de Serviços	Resíduos de limpeza urbana; resíduos dos serviços públicos de saneamento básico; resíduos de serviços de saúde; resíduos da construção civil; resíduos de serviços de transportes.
Resíduos dos Serviços Públicos de Saneamento Básico	Gerados nessas atividades, excetuados os referidos (resíduos sólidos urbanos).
Resíduos Industriais	Gerados nos processos produtivos e instalações industriais.
Resíduos de Serviços de Saúde	Gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do SISNAMA (Sistema Nacional do Meio Ambiente) e SNVS (Sistema Nacional de Vigilância Sanitária).

(conclusão)

CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DE ACORDO COM A SUA ORIGEM PELA PNRS	
Resíduos Agrossilvopastoris	Os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades.
Resíduos de Serviços de Transportes	Os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira.
Resíduos de Mineração	Os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios.

Fonte: (BRASIL, 2010).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT 10004/04) descreve a classificação dos resíduos sólidos conforme apresentado no quadro 2. Em relação ao tipo podem ser classificados em resíduos recicláveis e os não recicláveis e quanto à composição química podem ser orgânicos e inorgânicos.

Quadro 2 — Classificação dos resíduos sólidos de acordo com a ABNT

CLASSE	DEFINIÇÃO
Resíduos Classe I – Perigosos	Apresentam risco à saúde pública e ao meio ambiente, caracterizando-se por possuir uma ou mais das seguintes propriedades: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade.
Resíduos Classe II – Não perigosos	São subdivididos em IIA e IIB
Resíduos Classe II A – Não inertes.	Podem ter propriedades como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água, porém, não se enquadram como resíduo classe I ou IIB.
Resíduos Classe II B – Inertes.	São quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor, conforme anexo G da NBR 10.004/04.

Fonte: ABNT (2004).

### 1.1.3 Caracterização dos resíduos sólidos

A análise dos resíduos sólidos pode ser feita a partir caracterização de suas propriedades físicas, químicas e biológicas. A NBR 10.004 da ABNT (2004) descreve as principais características a serem consideradas:

- **Características Físicas**

Compressividade: é a redução do volume dos resíduos sólidos quando submetidos a uma pressão (compactação);

Composição Gravimétrica: determina a percentual de cada constituinte do peso total de uma amostra de resíduos analisada.

Geração Per Capita: relação entre a quantidade de resíduos urbanos gerados e o número de habitantes de uma região.

Peso Específico Aparente: é o peso dos resíduos sólidos sem qualquer compactação, expresso em kg/m<sup>3</sup>.

Teor de Umidade: compreende a quantidade de água existente na massa dos resíduos sólidos;

- **Características Químicas**

Poder Calorífico: indica a capacidade potencial de um determinado material desprender calor quando submetido à queima;

Composição Química: determina o percentual de cada constituinte da matéria orgânica. (cinzas, gorduras, macronutrientes, micronutrientes, resíduos minerais, etc.);

Relação Carbono/Nitrogênio (C/N): indica a proporção de carbono em relação à quantidade de nitrogênio encontrada nos resíduos sólidos. Esta relação é uma das formas de se determinar a facilidade com que o material será decomposto pela ação de microrganismos;

Potencial de Hidrogênio (pH): é o teor de alcalinidade ou acidez da massa de resíduos.

- **Características Biológicas**

Segundo a NBR 10.004 (ABNT, 2004) as características biológicas estão ligadas a população microbiana e de agentes patogênicos presentes nos resíduos. Quando relacionada às suas características químicas permitem o dimensionamento de métodos de tratamento e disposição finais mais adequados.

#### 1.1.4 Problemática dos Resíduos Sólidos

De acordo com Lima (1995) a destinação de resíduos sólidos se torna complexa, pois engloba aspectos que vão desde a sua origem e produção, até o

comprometimento do meio ambiente, relacionado principalmente a poluição do solo, do ar e dos recursos hídricos. Dentro deste contexto o referido autor destaca como fatores principais na produção de resíduos, o aumento populacional e a industrialização. Este aumento acelerado da população e expansão da industrialização geram demandas por alimentos e bens de consumo que resultam em um acréscimo significativo das taxas de geração de resíduos.

Em dados fornecidos por Abrelpe (2014), a geração total de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) no ano de 2014 no Brasil foi de aproximadamente 78 milhões de toneladas, o que representou um aumento de 2,9% quando comparado ao ano de 2013. Naturalmente as taxas per capita anuais também sofreram acréscimo, passando de 380,0 kg hab<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para 387,6 kg hab<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

Outro fator importante para ampliação dos problemas ambientais relacionados aos resíduos é a destinação inadequada destes em locais que não oferecem tratamento dos efluentes gerados no processo de degradação da matéria sendo muitas vezes apenas depositado em áreas afastadas, as quais são denominadas de lixões. A disposição de resíduos em lixões também envolve questões sociais importantes, pois dentro destes locais insalubres temos a presença de pessoas que trabalham na coleta e separação de resíduos sólidos recicláveis de forma autônoma ou conjunta (associações ou cooperativas) estando estes expostos a diversos riscos ambientais (OLIVEIRA, 2011).

#### 1.1.5 Impactos da disposição incorreta de resíduos urbanos

O uso de aterros controlados e/ou lixões como principal forma de destinação final dos resíduos urbanos torna-se uma fonte potencial de impactos ambientais e prejuízos à saúde pública, uma vez que não dispõem de impermeabilização de base e sistemas de tratamento de percolados (termo empregado para caracterizar a mistura entre o lixiviados e a água de chuva que percola no aterro) e do biogás gerado (FUNASA, 2007).

O lixiviado pode ser definido como o líquido formado pela passagem da água pela massa de resíduos, retirando materiais dissolvidos e em suspensão destes (RAGHAB *et al.*, 2013). A produção de lixiviados é relacionada a diversos fatores, sendo que Johansen e Carlson (1976) citam entre os principais, a composição do

resíduo sólido, modo de operação do aterro sanitário, clima e condições hidrogeológicas dentro do aterro (atividade bioquímica, umidade, temperatura, pH e idade do aterro sanitário), e dessa forma as condições variam em cada local ou período do ano, bem como em relação a idade do aterro/lixão.

Quando em contato com a água, os lixiviados tem a capacidade acelerar a redução de oxigênio dissolvido no meio em virtude de sua elevada concentração demanda bioquímica de oxigênio (DBO). Segundo Ducan (1972), as concentrações de DBO são em média na ordem de 10.000 mg/L, enquanto que a DBO média do lodo de esgotos é de 300 mg/L. Devido a sua alta DBO o lixiviados ao atingir cursos d'água podem resultar na morte de seres aquáticos e inviabilizar o uso e consumo deste recurso pelas populações.

O lixiviados também pode resultar na alteração das características físicas, químicas e biológicas do solo. Os casos registrados de poluição do solo advinda da má disposição dos resíduos são comuns em países como Índia (PILLAI *et al.*, 2014) e Brasil (SISINNO; MOREIRA, 1996). No entanto devido à variedade na composição dos lixiviados existem dificuldades para o tratamento adequado do mesmo (BACELAR, 2010).

Outro impacto relacionado às atividades de lixões e aterros diz respeito emissão de gases tóxicos provocando à poluição do ar (USEPA, 1991). Isso se deve ao processo de decomposição da matéria orgânica que envolve de forma geral, a decomposição bacteriana, volatilização e reações químicas, sendo que cada processo envolve a produção de gases característicos (TCHOBANOGLIOUS; VIGIL, 1993).

A atenção dada às emissões está ligada a geração de hidrocarbonetos como CH<sub>4</sub>, em condições anaeróbias, sem a presença de oxigênio, criadas dentro das massas de resíduos são fontes deste gás, que de um ponto de vista atmosférico possui um potencial de aquecimento global (*Global Warming Potencial – GWP*), em uma projeção de 100 anos, 25 vezes maior quando comparado GWP do CO<sub>2</sub> (DALAL, 2008), gás também produzido na degradação da matéria orgânica, só que de uma forma oxidativa, ou seja, com a presença de oxigênio. Desta forma, a emissão descontrolada de gases como o CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> pode contribuir para a intensificação de fenômenos naturais como o efeito estufa, provocando o aquecimento excessivo das temperaturas globais.

## 1.2 Aterros Sanitários

O aterramento de resíduos é uma prática de destinação final de resíduos comumente utilizado no Brasil sendo conceitualmente descrita na NBR 13896/97 (ABNT,1997) como uma técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo baseada em princípios de engenharia para o confinamento dos resíduos sólidos com áreas e volumes reduzidos, sem causar danos á saúde e meio ambiente.

Um aterro sanitário deve conter exigências mínimas descritas na Norma Técnica 13896/97 – Aterros de resíduos não perigosos- critérios para projeto, implantação e operação. Essas condições básicas dizem respeito a localização, segregação e análise de resíduos, monitoramento, inspeção, fechamento e treinamento de pessoal.

A escolha deste método de destinação implica no projeto e aplicação de elementos de proteção ambiental como:

- Sistema de Impermeabilização de base e laterais;
- Sistema de recobrimento diário e cobertura final;
- Sistema de coleta e drenagem de líquidos percolados<sup>1</sup>;
- Sistema de coleta e tratamento dos gases;
- Sistema de drenagem superficial;
- Sistema de tratamento de líquidos percolados;
- Sistema de monitoramento.

Este conjunto de sistemas visa o controle e minimização de impactos ambientais passíveis da atividade de disposição de resíduos sólidos no solo, sendo um diferencial do método que se opõem a técnica de aterro controlado onde apesar da utilização de técnicas para o confinamento, é considerada a poluição localizada e não sendo tomada qualquer medida de controle como, por exemplo, a impermeabilização de base. O método de aterro controlado é considerado uma técnica intermediária entre o aterro sanitário e o lixão em que não há o emprego de técnicas apenas o despejo de resíduos no solo.

O aspecto operacional dos aterros conforme Albuquerque (2011), compreende as etapas de espalhamento, compactação, cobertura e a drenagem dos resíduos tendo em vista o monitoramento dos sistemas, manutenção dos acessos e

instalações. Em manual desenvolvido pela FEAM, no ano de 2006 (Fundação Estadual de Meio Ambiente) são descritas orientações da rotina operacional em aterros sanitários onde podemos destacar:

- **Disposição dos resíduos:** que necessita da delimitação prévia das áreas por equipe de topografia assim como a demarcação dos limites laterais e altura projetada facilmente visualizadas pelo operador de trator ou equipamento similar. A demarcação diária das frentes de operação permite uma melhor manipulação dos resíduos, tornando o processo mais prático e eficiente. Em locais onde existe a possibilidade de carreamento de materiais pelo vento recomendava-se a utilização de telas de proteção na frente de operação.
- **Deposição dos resíduos:** o caminhão deve depositar o lixo em “pilhas” imediatamente a jusante da frente de operação demarcada. O desmonte das pilhas de resíduos deve ter o auxílio da lâmina do trator de esteira que para seguir o procedimento de espalhamento e compactação.
- **Espalhamento dos resíduos:** os resíduos devem ser espalhados e compactados por um equipamento apropriado (preferencialmente um trator de esteira com peso operacional mínimo de quinze toneladas) em rampas com inclinação aproximada de 1 na vertical para 3 na horizontal (1:3).
- **Compactação:** deve ser realizada com movimentos repetitivos do equipamento de baixo para cima, com passadas sucessivas em camadas sobrepostas, até que o material esteja adequadamente adensado.
- **Recobrimento:** ao fim de cada jornada de trabalho, os resíduos devem receber uma camada de terra, que deve ser espalhada em movimentos de baixo para cima. A cobertura diária deve ser constituída de terra ou material inerte com espessura de 15 a 20 cm de modo a impedir o arraste de materiais pela ação do vento e evitar a disseminação de odores desagradáveis e a proliferação de vetores como moscas, ratos, baratas e aves.

Quando esgotada a capacidade de deposição do aterro uma cobertura final com uma camada de argila compactada com cerca de 60 cm de espessura sobre as superfícies que ficarão expostas permanentemente, como taludes e platôs definitivos. Também é previsto o plantio de vegetação como medida de proteção contra erosão.

### 1.2.1 Tipos de Aterramento

Os aterros sanitários, podem ser classificados quanto ao tipo de técnica de operação. São os aterros de superfície e os aterros de depressões. Nos aterros de superfície, os resíduos sólidos são dispostos em uma área plana, sendo que são dispostos em trincheiras ou rampas. Já nos aterros de depressões, os resíduos são dispostos aproveitando as irregularidades geológicas da região, tais como depressões, lagoas, mangues ou pedreiras extintas.

A seleção do método de aterramento a ser adotado depende de fatores como as características do terreno, quantidade de lixo a ser disposta e da disponibilidade de equipamentos e recursos. Quanto aos métodos disponíveis temos (CETESB,1995):

- **Método de Trincheira ou Vala:** consiste no preenchimento de valas com dimensões apropriadas, onde os resíduos são depositados sem compactação e sua cobertura com terra é realizada manualmente. Os equipamentos neste caso são essenciais apenas para abertura das valas. Por não oferecer compactação dos resíduos esta técnica não oferece um aproveitamento integral da área explorada e por isso não é recomendada para comunidades com produção de resíduos maior do que dez toneladas por dia.
- **Método de Rampa:** os resíduos de acordo com esta técnica são depositados seguindo a declividade existente e prossegue até a célula em construção ficar no mesmo plano do topo da encosta na parte superior e lateralmente mantendo o formato de rampa. A continuação deste método resulta numa área plana ao final.
- **Método de Área:** trata da formação de camadas (tronco piramidal) de resíduos compactados que são sobrepostos acima do nível original do terreno geralmente empregado em locais de topografia plana e lençol freático raso.



### 1.2.2 Desativação de Aterros

Quando encerradas as atividades de operação do aterro a NBR 13896/97 (ABNT,2007) estabelece medidas a serem tomadas neste processo de desativação que visão diminuir a necessidade de manutenção futura no aterro e a liberação de percolados e ou gases para o meio ambiente. Tais medidas devem estar inseridas no Plano de Encerramento conforme item 5.8.1 da referida norma.

Após o encerramento do aterro é recomendado o monitoramento das águas subterrâneas por um período de 20 anos, ou até que seja constatado o final da geração de lixiviados.

### 1.3 Geração de Gases em Aterros Sanitários

Aterros sanitários constituem ecossistemas únicos, onde grupos de bactérias são responsáveis pela decomposição das parcelas orgânicas presentes na massa de resíduos. Esses grupos de bactérias denominadas, fermentativas produtoras de  $H_2$ , acetogênicas consumidoras de  $H_2$  e metanogênicas, tem sua produção intensificada em virtude de condições aeróbias e anaeróbias, respectivamente, criadas durante a decomposição da matéria orgânica (FERNANDES, 2009).

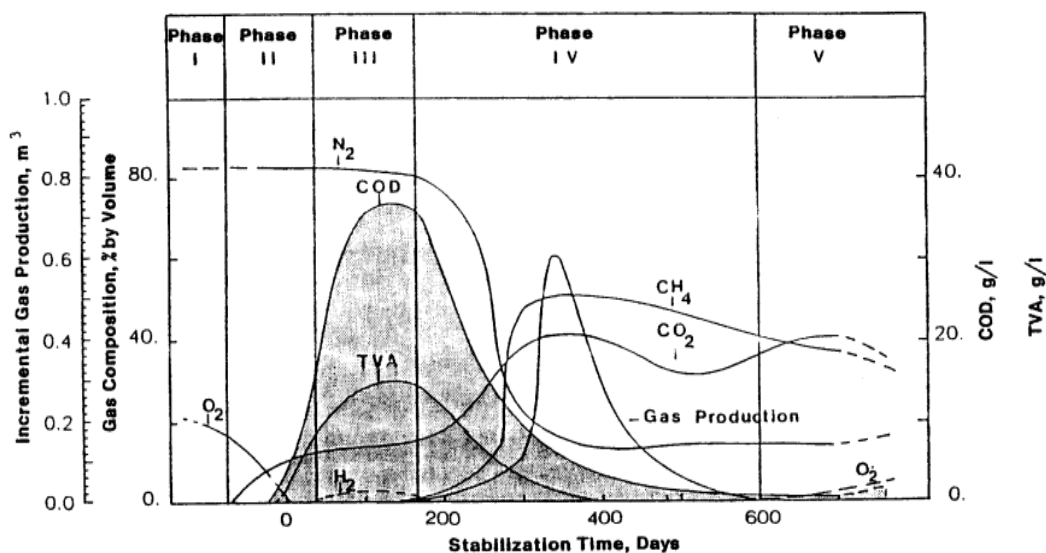
De acordo com Castilhos *et al.* (2003) a degradação dos resíduos sólidos é movida pela superposição de mecanismos biológicos e físico-químicos, catalisados pelo fator água, presente nos resíduos pela umidade inicial e precipitações locais. A produção de biogás segundo a Usepa (1991) pode ocorrer a partir dos mecanismos de vaporização, decomposição biológica e reações químicas. Onde a vaporização seria a mudança do estado líquido para vapor, provocada pelo equilíbrio da fase química do aterro, desta forma os compostos orgânicos irão evaporar até que um equilíbrio na concentração de vapor seja alcançado.

Para a compreensão das interações químicas, físicas e biológicas que acontecem em aterros sanitários e o seu comportamento ao longo do tempo, deve-se considerar, e de acordo com Monteiro (2003), os fatores que podem causar interferências no processo de degradação biológica, principalmente pelo fato de que em países subdesenvolvidos, grande parte dos resíduos depositados é constituído por material orgânico.

### 1.3.1 Etapas de Biodegradação em Aterros Sanitários

Diversos estudos mostram que o processo de estabilização de resíduos sólidos em aterros sanitários segue cinco fases distintas. A composição de lixiviados e gases variam de uma fase para a outra, conforme a ocorrência de mudanças químicas e biológicas. A Figura 1 mostra a representação gráfica dessas fases apresentados por Reinhart e Townsend (1998).

Figura 1— Fases de biodegradação em aterros sanitários com o passar do tempo



Fonte: Reinhart e Townsend (1998).

A Fase I, também denominada de fase de ajuste inicial, inclui o depósito inicial dos resíduos e a coleta de umidade. Existe um período de aclimação até que haja umidade suficiente para o desenvolvimento de atividade microbiana. A presença de oxigênio no meio permite a decomposição aeróbia da matéria orgânica, produzindo  $CO_2$ .

Na Fase II, chamada de fase de transição, a capacidade de campo é alcançada e ocorre a mudança de condições aeróbias para anaeróbias. Condições de redução começam a ser estabelecidas e pode ser observada a mudança do oxigênio como receptor de elétrons para nitratos e sulfatos. Quantidades mensuráveis de Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Ácidos Orgânicos Voláteis (AOV's) podem ser encontradas no lixiviado.

No decorrer da Fase III, conhecida como ácida, grandes quantidades de ácidos orgânicos voláteis, a exemplo dos ácidos acético, propiônico e butírico, são formadas a partir do processo de hidrólise dos resíduos e em seguida da conversão destes em ácidos. Esta condição causa a diminuição do pH, tipicamente para valores entre 5 ou 6, o que favorece a solubilidade de metais presentes no meio.

Durante a Fase IV, fase de fermentação, os ácidos intermediários são convertidos pela ação de bactérias metanogênicas em CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>. Também acontece a redução de sulfato a sulfeto por intermédio das bactérias. O consumo dos ácidos orgânicos aumenta o pH e a quantidade de bactérias metanogênicas. Os metais tornam-se insolúveis devido ao aumento do pH e precipitam na fase sólida. A duração desta fase em aterros é longa podendo perdurar por décadas.

A Fase V, fase de maturação, é caracterizada pela baixa quantidade de substrato para atividade microbiana o que provoca o decaimento significativo da produção de gases. Os gases atmosféricos começam a permear os resíduos restantes e materiais recalcitrantes são lentamente degradados. Esta fase também possui longa duração, de anos ou décadas.

### 1.3.2 Fatores que influenciam a composição e geração dos gases

A composição do biogás produzido em aterros sanitários depende de condições específicas de cada aterro ou zona dentro de um mesmo aterro. Entre os fatores que podem influenciar a composição dos gases, a Agência Ambiental da Inglaterra (2004) destaca: diferenças na composição dos resíduos, pré-tratamento e armazenamento; mudança na forma predominante da atividade microbiológica (anaeróbia e/ou aeróbia); idade dos resíduos; características hidráulicas do local; propriedades físico-químicas dos componentes dos resíduos.

A heterogeneidade da distribuição e constituição das parcelas orgânicas na massa de resíduos constituem fatores importantes para geração de biogás, no entanto, existem diversos fatores que podem influenciar na geração de gases em aterros, entre estes podem destacar os principais aspectos apresentados por BRITO e FILHO (2005) como:

- **Composição do Resíduo:** resíduos passíveis de decomposição, não inertes, como restos de alimentos são facilmente decompostos, desta forma, um alto percentual de resíduos de alimentos conduzirá uma acelerada geração de

gases, com exceção de grandes pedaços de madeira, que apesar de não inertes se decompõem lentamente, não contribuindo significativamente na geração de gás.

- **Umidade dos Resíduos:** após a composição gravimétrica dos resíduos, o teor de umidade é um dos fatores mais importantes. Alterações no teor de umidade do aterro podem resultar em mudanças na infiltração de águas superficiais, liberação de água como resultado da decomposição dos resíduos e variações sazonais do teor de umidade dos resíduos.
- **Tamanho das Partículas:** a geração de CH<sub>4</sub> num aterro possui duas variáveis dependentes do tempo: tempo de atraso e tempo de conversão. O tempo de atraso (retardo) é o período que vai da disposição dos resíduos até o início da geração do CH<sub>4</sub> (início da Fase III do processo de biodegradação). Já o tempo de conversão é o período que vai da disposição dos resíduos até o final da geração de metano (final da Fase V). Resíduos de jardinagem possuem tempos de atraso e conversão menores, enquanto pedaços de couro e plástico têm tempos de atraso e conversão maiores.
- **pH:** a faixa de pH ótimo para a maioria das bactérias anaeróbias é 6,7 a 7,5 ou próximo do neutro [pH = 7,0] (MCBEAN *et al.*, 1995). Dentro da faixa ótima de pH, a metanogênese aumenta para uma taxa elevada de tal modo que a produção de metano é maximizada. Fora da faixa ótima – um pH abaixo de 6 ou acima de 8 – a produção de CH<sub>4</sub> fica estritamente limitada. A maioria dos aterros tende ter ambientes levemente ácidos.
- **Temperatura:** as condições de temperatura de um aterro influenciam os tipos de bactérias predominantes e o nível de produção de gás. A faixa ótima de temperatura para bactérias mesofílicas é de 30 a 35 °C, enquanto que para as bactérias termofílicas é de 45 a 65 °C. As termófilas geralmente produzem altas taxas de geração de gás, contudo, a maior parte dos aterros ocorre na faixa das mesófilas. As máximas temperaturas do aterro frequentemente são alcançadas dentro de 45 dias após a disposição dos resíduos como um resultado da atividade microbiológica aeróbia. Uma vez desenvolvida as condições anaeróbias, a temperatura do aterro diminui.
- **Outros Fatores:** Outros fatores que podem influenciar a taxa de geração de gás são a presença de nutrientes, bactérias, potencial de oxidação-redução,

compactação dos resíduos, dimensões do aterro (área e profundidade), operação do aterro e processamento de resíduos variáveis.

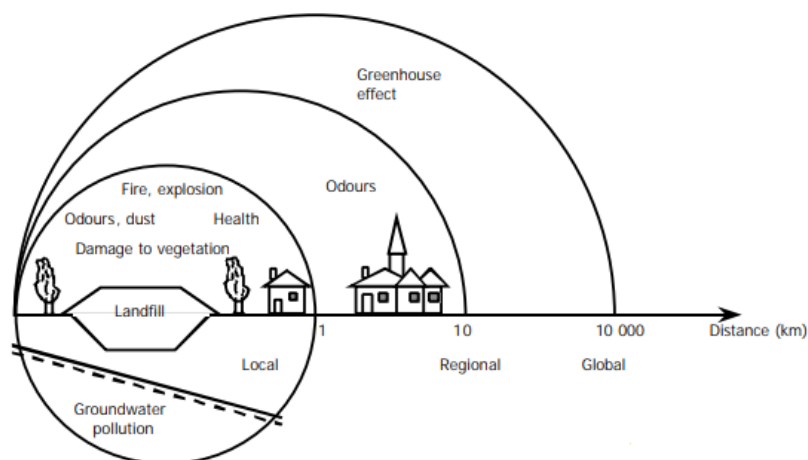
#### 1.3.4 Rotas de exposição e Danos à Saúde

Um aspecto importante a ser discutido quando a emissão de gases de aterro envolve os riscos à saúde pública em virtude da exposição de pessoas à gases tóxicos, podendo ocorrer no local ou fora deste em função da dispersão destes no ar. Fatores como a toxicidade do gás, concentração química, duração e frequência acabam por determinar a significância de contato.

Segundo EPA (2005), existem 3 caminhos primários para exposição à gases de aterro 1) liberação de gases de aterro para o ar ambiente, 2) migração de vapor subsuperficial por convecção e subsequente infiltração de vapor interior, 3) infiltração de gases proveniente de águas subterrâneas contaminadas por matéria orgânica. Sendo a forma mais prevalente quando em aterros sanitários são usadas coberturas permeáveis entre as camadas de resíduos ou quando esta cobertura é intencionalmente ou involuntariamente.

A liberação de componentes gasosos de aterros é capaz de atingir as áreas vizinhas em diferentes escalas espaciais como ilustrado na Figura 2, podendo também agir em diferentes escalas de tempo (KJELDSEN,1996). Segundo este mesmo autor odores e poieras são fenômenos transitórios, enquanto traços antropogênicos constituintes dos gases de aterro podem persistir e se acumular em organismos ou ecossistemas naturais durante longos períodos de tempo.

Figura 2 — Escala de Impactos dos Gases de Aterro no seu entorno



Fonte: ( Kjeldsen, 1996).

Preocupações quanto a saúde pública acaba surgindo neste contexto, em virtude da presença de constituintes tóxicos presentes nos gases de aterro, possuem características cancerígenas e/ou crônicas, o quadro 3 mostra uma relação de substâncias tóxicas frequentemente encontradas em aterros sanitários localizados nos Estados Unidos.

Quadro 3 — Contaminantes comumente encontrados em gases de aterro

1,1,1-Tricloroetano (Clorofórmio Metílico)	1,1,2,2- Tetracloroetano
1,1-Dicloroetano (dicloreto de etilideno)	1,1-Dicloroetano (cloreto de vinilideno)
1,2-Dicloroetano (dicloreto de etileno)	1,2 -Dicloropropano (dicloreto de propileno)
Acetona	Acrlonitrila
Benzeno	Bromodiclorometano
Dissulfeto de carbono	Tetracloroeto de carbono
Clorobenzeno	Cloroetano
Diclorobenzeno	Diclorometano (Cloreto de Metileno)
Hexano	Sulfeto de hidrogênio
Metil-etil-cetona	Metil isobutil cetona
Metil mercaptanos	Tetracloroetileno (percloroetileno)
Tolueno	Tricloroetileno
Cloreto de vinila	Xilenos

Fonte:(USEPA,2005).

Estudo relacionando riscos de doenças em áreas próximas a aterros sanitários em São Paulo foram realizados por GOUVEIA E PRADO (2003), através da

geocodificação de óbitos ocorridos nestas regiões onde verificou-se um risco aumentado para câncer bexiga, fígado e para mortes por malformações congênitas, porém sem significância estatística para as doenças avaliadas.

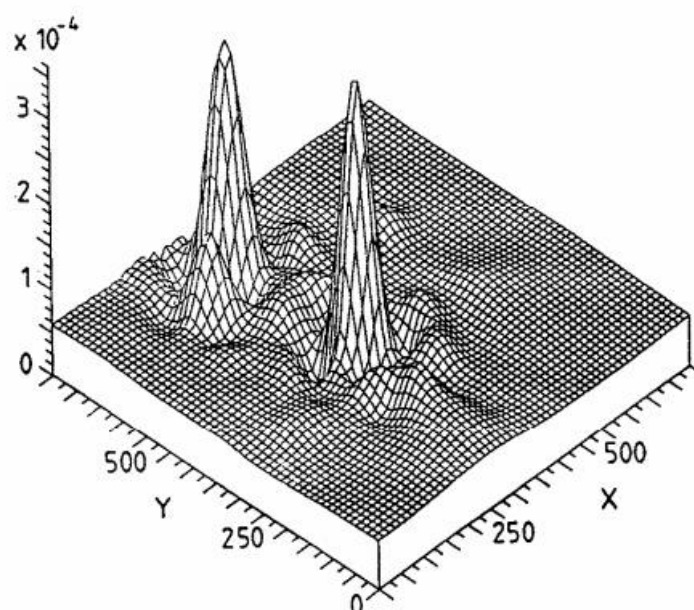
### 1.3.5 Variabilidade das Emissões de Gases de Aterro

Os aterros podem ser denominados como fonte difusas de  $\text{CH}_4$  que possuem alta variabilidade temporal e espacial (SCHARFF *et al.*, 2000) o que dificulta a exatidão nas medições dos gases. Variabilidade das emissões dos LFG (*Landfill Gas*) acaba causando restrições às metodologias criadas ao longo dos anos.

#### 1.3.5.1 Variabilidade Espacial

A variabilidade espacial das emissões de metano em aterros foi constatada por diversos autores. Czepiel *et al.* (1996a) ao realizar pesquisa em aterro na Nova Inglaterra não encontrou correlação em dois pontos quando a distância entre estes foi maior de seis metros. Distribuições das emissões em aterros (Figura 3) foram publicadas por Nozhevnikova (1993) e comportamentos similares foram encontrados por Oonk *et al.* (2004).

Figura 3 — Emissões de Metano na superfície do Aterro de Kuchino



Fonte: Adaptado de Nozhevnikova *et al.* (1993).

### 1.3.5.2 Variabilidade Diária ou Horária

Fatores climatológicos como precipitação, podem provocar variações temporais na emissão de gases, pois, reduzem a permeabilidade das camadas de cobertura das células (Oonk, 2010). Aspectos como a pressão atmosférica são correlacionados com as emissões de aterros, Verschut *et al.* (1991) indica que o aumento da pressão atmosférica leva a uma redução do fluxo de CH<sub>4</sub> que sai da superfície, fazendo com que o CH<sub>4</sub> seja acumulado, já o decaimento da pressão ambiente favorece o aumento significativo nas taxas de emissão.

### 1.3.5.3 Variabilidade Sazonal das Emissões de LFG

Estudos realizados em aterros dispostos em condições diferenciadas de clima registraram variações sazonais de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>. Maurice e Lagerkivist (2003) apresentaram variações sazonais em três aterros sanitários localizados no Norte da Suécia e Finlândia, em clima ártico, durante o inverno e verão. Czepiel *et al.* (1996b) reportou mudanças nas taxas de oxidação do CH<sub>4</sub> em aterro localizado nos Estados Unidos.

Mudanças em fatores como temperatura e umidade exerceriam grande influência nas taxas de oxidação de CH<sub>4</sub> provocando as variações. Pesquisas mais recentes como as realizadas por Abushammala *et al.* (2016), realizada em aterro sanitário localizado Malásia, sob condições tropicais de clima, destacam que o tipo de cobertura usado nas células também pode influenciar as emissões de gases como o CH<sub>4</sub>.

## 1.4 Medição de Gases de Aterro com o uso de Câmaras

A utilização e criação de metodologias para a medição de fluxos de gases foram incentivadas por um contexto de crise ambiental onde fenômenos naturais como o efeito estufa se intensificaram devido à contribuição de atividades humanas. Segundo Deanmead (2008), grande parte dos esforços mundiais se concentrou nas concentrações de CO<sub>2</sub> na atmosfera em virtude da necessidade de entender o papel



das emissões de CO<sub>2</sub> emitido pela Terra, no balanço de carbono da atmosférico e estabelecer os valores do sequestro de carbono por solos e vegetações.

Emissões de outros gases de efeito estufa, como CH<sub>4</sub> e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), também foram estudadas por representar grandes impactos no processo de aquecimento global. Denman *et al.* (2007) estimou a contribuição de CH<sub>4</sub> e N O no processo de efeito estufa na ordem de 18% e 6%, respectivamente. As fontes de emissão de CH<sub>4</sub> para autor representariam 86% das emissões totais de CH<sub>4</sub>, sendo 58% de origens antropogênicas como aterros sanitários e resíduos, ruminantes, plantações de arroz e queima de biomassa (Denman *et al.* ,2007)

Entre os diversos métodos existentes para a quantificação dos fluxos de gases de efeito estufa (GEE), Deanmead (2008) destaca o uso de câmaras de fluxo e técnicas de balanço de massa por dependerem apenas da conservação da massa tendo uma possibilidade de erro menor quando comparados a outros métodos baseados nas teorias de transporte atmosférico turbulento que tem seu uso limitado a condições meteorológicas favoráveis.

As câmaras são classificadas em abertas ou fechadas (ROCHETTE e ERIKSEN-HAMEL, 2008) onde o princípio de funcionamento básico é restringir o volume de ar com que ocorre as trocas de gás de determinada superfície de modo a ampliar as mudanças de concentrações no interior da câmara. O uso deste tipo de metodologia se tornou comumente utilizado por pesquisadores por apresentar pontos positivos, como simplicidade conceitual e operacional, custos de implantação baixos e portabilidade para a realização de estudos em diferentes situações (DEANMEAD, 2008).

#### 1.4.1 Princípio de Funcionamento

O funcionamento dos principais tipos de câmaras encontra-se descritos nos seguintes itens:

- **Câmaras Abertas:** em câmaras abertas existe um fluxo constante de ar externo mantido no interior da câmara e a diferença de concentração entre o ar entrando e saindo do interior da câmara é medida.

- **Câmaras Fechadas:** câmaras classificadas como fechadas ganham destaque pelo amplo uso em pesquisas voltadas para o fluxo de gases de efeito estufa do solo (LEVI *et al.*, 2011). Ao contrário das câmaras abertas, a substituição de ar no interior das câmaras fechadas, também denominadas câmaras estáticas, é nula ou pequena de modo que a concentração de gás aumenta com o tempo, sendo considerado este o fluxo real do solo (DEANMEAD, 2008). As câmaras são posicionadas de modo hermético numa pequena área do solo que variam até 1 m<sup>2</sup> e amostras de ar são retiradas da câmara durante um determinado período de tempo. As amostras são posteriormente analisadas a partir de cromatografia ou outra técnica analítica para que o fluxo seja calculado a partir da mudança das concentrações com o tempo (LEVI *et al.*, 2011).
- **Câmaras Dinâmicas:** nestas o ar externo é circulado em um circuito fechado entre o interior da câmara e o analisador de gás, o loop permite que a taxa de aumento da concentração no interior da câmara seja monitorada, tornando possível a detecção de qualquer fator inibidor de fluxo (DEANMEAD, 2008). Ainda segundo este autor o objetivo da recirculação de ar no interior da câmara é obter um aumento de concentração linear indicando um fluxo constante vindo da superfície analisada. Os principais fatores que influenciam o desempenho da câmara incluem temperatura do solo e do ar, gradientes de concentração do gás, flutuações de pressão, umidade do solo e do ar, perturbação do local, vazamento e regime de mistura do ar (ROCHETTE e HUTCHINSON, 2005).

## 1.5 Objetivos da Pesquisa

### 1.5.1 Geral

Estimar as emissões dos gases metano (CH<sub>4</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) em células de um lixão urbano.

### 1.5.2 Específicos

- a. Fazer um diagnóstico ambiental qualitativo das condições atuais do Aterro Aurá;
- b. Determinar fluxos de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> em áreas do lixão;
- c. Correlacionar fluxos com aspectos ambientais monitorados;

- d. Medir a variação horária de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>.

## 1.6 Estrutura da Dissertação

De forma atender os objetivos traçados nesta pesquisa, os capítulos foram estruturados da seguinte forma:

- Capítulo 1: fornece base teórica acerca dos resíduos sólidos, classificação e problemáticas existentes, aspectos operacionais dos aterros sanitários, gases produzidos em aterros e questões relacionadas a saúde pública quanto a exposição a tais gases. Também são descritos conceitos do método direto de medição de gases, aplicado por décadas em estudos relacionados a aterros sanitários e suas emissões.
- Capítulo 2: faz um diagnóstico ambiental qualitativo do Aterro Aurá, descrevendo brevemente o histórico do local, estrutura física do aterro, situação atual e problemáticas ainda existentes após a desativação destes.
- Capítulo 3: expõe a pesquisa experimental realizada no aterro para medição das concentrações de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> em células com diferentes fases de degradação e a partir dessas estimar os fluxos de cada local ao longo do tempo de medição.

## CAPITULO 2 DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DO ANTIGO “LIXÃO DO AURÁ”

### RESUMO

Por décadas a Região Metropolitana de Belém contou com local denominado como “Lixão do Aurá” que com o passar dos anos assumiu propriedades de um aterro controlado. No ano de 2015 o aterro foi encerrado para o recebimento de resíduos domésticos dos municípios como uma forma de minimizar os impactos ambientais gerados. Problemas envolvendo o novo local de disposição final acabaram por tirar de foco as condições atuais do aterro Aurá. Dessa forma realizou-se um diagnóstico ambiental qualitativo do Aterro Aurá baseado em levantamento bibliográfico, visitas técnicas ao local e acompanhamento de reuniões realizadas pelos órgãos de saneamento do município de Belém. A pesquisa mostrou a prevalência de diversas fontes de impactos ambientais em detrimento da busca por medidas mitigadoras apesar da desativação parcial do local.

**Palavras-chave:** Resíduos sólidos. Impactos ambientais. Diagnóstico qualitativo.

## ABSTRACT

For decades the Metropolitan Region of Belém counted on a place denominated like "Aurá's Dumpster" that over the years assumed the properties of a controlled landfill. In the year 2015 the landfill was closed for the reception of municipal waste from municipalities as a way to minimize the environmental impacts generated. Problems surrounding the new final disposal site eventually led to a lack of focus on the current conditions of the Aurá landfill. In this way a qualitative environmental diagnosis of the Aurá Landfill was carried out based on a bibliographical survey, technical visits to the place and follow-up of meetings carried out by the sanitation organs of the municipality of Belém. The old landfill area and the current controlled landfill still represents a source of impacts environmental and social issues, as there is still the daily work of self-employed cooperatives and scavengers exposed to unhealthy working conditions.

**Keywords:** Solid waste. Environmental impact. Qualitative diagnosis.

## 2.1 Introdução

Os lixões e aterros controlados representam uma fonte de impactos ambientais dada as suas características e a falta do controle dos efluentes gerados no processo de degradação ou estabilização da matéria orgânica. A cidade de Belém e sua Região Metropolitana, por muitas décadas utilizou-se desta forma irregular de disposição dos resíduos, porém, no ano de 2015, atendendo exigências da Lei Nacional de Resíduos Sólidos(PNRS), Lei N° 12.305 de 2010, encerrou a disposição de resíduos sólidos provenientes das moradias (lixo doméstico), fundando uma nova fase para o local.

Em 1991, um projeto básico para o tratamento e disposição dos resíduos sólidos da Região Metropolitana de Belém foi traçado, incluindo três unidades básicas, sendo uma usina de incineração para Resíduos Sólidos de Serviços de Saúde (RSSH), uma usina de reciclagem e compostagem, bem como um aterro sanitário que receberia as cinzas e resíduos da usina de incineração e compostagem (IPEA, 1997).Entretanto, apenas a usina de incineração de fato operou no aterro até o ano de 1994, após esse período o local passou a receber todo tipo de resíduos doméstico, de construção civil e de serviços de saúde sem qualquer tipo de tratamento, dando início a denominação de lixão ao local.

A partir do ano de 1997, ocorreu a tentativa de implementação do projeto “Saneamento Ambiental do Complexo de Destino Final dos Resíduos Sólidos do Aurá”, elaborado pela prefeitura municipal e distribuído em quatro fases processuais que abrangeriam estudos preliminares, tratamento primário, secundário e terciário. Além dessas quatro fases a metodologia propunha a implantação de um ciclo temporal, de recirculação com inoculação em reatores anaeróbios de fluxo ascendente (UASB) visando o ciclo da bioremediação in situ que permitiria o tratamento adequado de líquidos, gases e sólidos (PMB,1997).

Este projeto que propunha a tecnologia da bioremediação com aterramento celular não foi concluída e acabou sendo finalizada no ano de 2001, devido ao rompimento de contrato entre a prefeitura e a contratada para implantação do mesmo, de acordo com informações do atual engenheiro sanitário do local. No entanto, foram todas medidas para transformar o lixão em aterro controlado, com a instalação de drenos parte das células para coleta de lixiviados assim como o aterramento e compactação dos resíduos.

No ano de 2014 a empresa responsável pela administração do aterro não controlado teve seu contrato encerrado por ocasião de irregularidades no processo de licitação, onde a SESAN assumiu o operacional do aterro até o presente momento.

O foco da pesquisa nesta ocasião visou a identificação de impactos remanescentes na área do Aterro não controlado Aurá buscando como resultado da pesquisa um diagnóstico qualitativo dos impactos ambientais encontrados no local.

## 2.2 Material e Métodos

### 2.2.1 Localização da área de estudo

O Lixão do Aurá está localizado entre os municípios de Belém e Ananindeua, na área de proteção ambiental do Utinga e foi arrendada pela Prefeitura de Belém e teve início a disposição de resíduos sólidos o ano de 1987, com o encerramento do “Lixão de Águas Lindas” que se localizava atrás do Horto Municipal e permanece até os dias atuais, totalizando 30 anos.

Figura 4 — Localização da Área de Estudo - Aurá



Fonte: Google Earth,(2017).

### 2.2.2 Diagnóstico ambiental da área do lixão

De forma prévia foram levantadas informações acerca da gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos na Região Metropolitana de Belém, assim como,

os impactos socioambientais passíveis da disposição irregular de resíduos no solo. O reconhecimento e análise dos aspectos ambientais da área foram realizadas a partir de visitas *in loco* após o seu encerramento nos meses de abril, junho e novembro de 2017, complementadas por registro fotográfico.

Durante as visitas em campo foram observados os seguintes itens: as características, distribuição e acomodação dos resíduos sólidos das células e os fatores ambientais dos meios abiótico, biótico e antrópico. Também sendo incluído no processo de confecção do diagnóstico conversas informais com funcionários do Departamento de Resíduos Sólidos – DRES, pertencente a Prefeitura Municipal de Belém.

### 2.2.3 Caracterização e análise dos impactos

A partir dos dados obtidos foi realizada a identificação dos fatores ambientais na área de estudo através da metodologia de “*Check List*” (listagem de controle), descrevendo as ações degradantes e os impactos gerados por essas ações encontrados nos meios abiótico, biótico e antrópico. O objetivo do método de listagem de controle é apresentar uma relação existente entre os impactos mais relevantes de um empreendimento e/ou área, podendo ser associados às características ambientais atingidas e as ações que os provocaram.

A identificação dos impactos seguiu o método descrito por Sanchez (2006) que se baseia na identificação e listagem de consequências (impactos ambientais) que um empreendimento ou atividade desencadeia. Cada impacto descrito foi classificado com base nos parâmetros qualitativos abordados por (MATOS *et al*, 2011; SOBRAL *et al*, 2007):

- **Natureza:** refere-se à caracterização do impacto como positivo (P), quando proporciona melhoria na qualidade de um parâmetro ambiental e/ou negativo (N), quando uma causa um dano à qualidade ambiental;
- **Magnitude:** diz respeito à gravidade do impacto e pode ser considerado Fraca (Fr), quando a alteração do componente ambiental é reversível, Médio (M), quando a alteração do componente ambiente e da comunidade é reversível, porém com ações imediatas e Forte (F) quando o impacto é significativo e provoca a escassez de recursos naturais, a degradação do meio natural e causa danos a sociedade, sendo muitas vezes irreversíveis;



- **Abrangência:** reflete o alcance do impacto, que pode ser caracterizado como Local (L) quando o efeito ocorre no próprio local da ação e Regional (R), quando o efeito se propaga por uma área além das imediações da localidade onde se dá a ação.
- **Frequência:** refere-se ao padrão de ocorrência do impacto, que pode ser temporário (T) quando o impacto ocorre por um determinado tempo após a realização da ação, Contínuo (C) quando os efeitos continuam a manifestar-se num horizonte temporal e Intermitente (I) quando o efeito acontece em determinados períodos.

### 2.2.5 Causas e consequências da degradação na área

A identificação das possíveis causas e consequências da degradação na área estudada foi realizada a partir dos impactos ambientais observados, sendo selecionados os mais significativos, com base em pesquisas em estudos ambientais acadêmicos e técnicos em locais semelhantes.

## 2.3 Resultados e Discussões

### 2.3.1 Diagnóstico ambiental da área de estudo

O diagnóstico qualitativo apresenta característica dos meios físicos (recursos hídricos, ar e paisagem), biótico (flora e fauna) e antrópico (problemas sociais e saúde pública) na área de estudo. De forma a obter uma melhor descrição da área sobre os efeitos da disposição inadequada dos resíduos sólidos no local se faz necessária análises laboratoriais.

### 2.3.2 Caracterização da área de estudo

O local escolhido para estudo corresponde a uma área de depósito inadequado de resíduos conhecido como lixão do Aurá, encontra-se situado na Área de Preservação Ambiental (APA) do Complexo Utinga, entre os municípios de Belém e Ananindeua atendendo por décadas (cerca de 30 anos) as populações dos municípios de Belém, Ananindeua e Marituba.

No início este local foi designado para a construção de um aterro sanitário, que incluiria o tratamento de efluentes líquidos e gasosos, no entanto, este nunca funcionou e a área se transformou em um lixão com o passar do tempo.

Segundo entrevista informal com o engenheiro sanitarista intervenções foram feitas no local de modo a tornar o conhecido lixão do Aurá em aterro controlado, como a formação de células, instalação de drenos em células, compactação dos resíduos, controle das alturas células e posteriormente a instalação de um sistema de queima de biogás, atualmente desativado.

As tentativas de minimizar impactos ambientais também incluíram no ano de 2015, a proibição da entrada de resíduos domésticos no local, que a partir daquele momento passou a receber apenas resíduos de entulho, construção civil e limpeza urbana. Apesar das medidas tomadas, não foram executadas alternativas abrangentes e duradouras para controle de todas as toneladas de resíduos diversos, perigosos e não perigosos, já depositados na área.

A disposição das células no local é feita da seguinte forma:

- Células de 1 a 4: constituídas por uma única célula, com um único acesso;
- Células 5 a 8: células individuais separadas pelo sistema viário;
- Células 9 e 10: unificadas com o passar dos anos.
- Célula 11: próxima a entrada do aterro.

As células possuem áreas de aproximadamente dois a três hectares cada, já a extensão das células 9 e 10 eram de aproximadamente 200x 400 metros e receberam quantidades equivalente de resíduos domésticos e de construção civil. Cada célula foi enumerada de forma decrescente, onde as células mais antigas estão dispostas em áreas próximas a entrada do aterro.

Atualmente as frentes de trabalho ocorrem nas células unificadas 1-4 e célula 5. Segundo informações cedidas por funcionários da SESAN que trabalham no Aurá

o material terroso utilizado para cobertura do aterro foi escavado nas áreas contíguas as do aterro que deram origem as lagoas do seu entorno.

### 2.3.3 Meio Físico

#### 2.3.3.1 Solo

A partir das visitas de campo foram observadas alterações do solo em virtude do depósito inadequado dos durante décadas. Resíduos recicláveis como madeira, plástico e vidro fazem parte dos entulhos que chegam no lixão. Grandes quantidades de pneus foram encontradas em diversos pontos, chegando no lixão como um componente dos entulhos (Figura 5). Este tipo de resíduos segundo estudos realizados por Bertollo, Junior e Schalch (2002) podem ser classificados como Classe II A – não inertes, por apresentarem teores de metais (zinco e manganês) no extrato solubilizado, superiores aos padrões estabelecidos pela NBR 10.004/2004.

A composição básica dos pneus é uma mistura de borracha sintética, borracha natural, óleos, enxofre, negro de fumo, óxido de zinco entre outros (MATTIOLI *et. al*, 2009), portanto a queima deste representa a geração de gases poluentes para atmosfera e a poluição de solo pela liberação de óleos e outras substâncias prejudiciais ao meio ambiente.

Figura 5 — Acumulo de pneus entre os resíduos



Fonte: Autora.

Outro aspecto a ser considerado diz respeito a compactação do solo em virtude do tráfego de veículos e máquinas pesados responsáveis pelo descarregamento,

movimentação e compactação das camadas de resíduos diariamente (Figura 6), além da compactação exercida por animais e pessoas.

Figura 6 — Circulação de veículos pesados



Fonte: Autora.

Durante as visitas foi identificado o depósito ilegal, em menor escala, de resíduos domésticos (Figura 7), que acabam se somando a carga de matéria orgânica dos resíduos depositados anteriormente quando o lixão ainda recebia resíduos urbanos, prolongando a emissão de poluentes ao solo. Segundo funcionários do setor operacional esse tipo depósito ocorre durante o período da madrugada quando a movimentação de pessoas é menor, sendo muitas vezes despejados nas vias de acesso do aterro.

Figura 7: Despejo irregular de lixo doméstico.



Fonte: Autora.

### 2.3.3.2 Recursos Hídricos

Os impactos em relacionados a poluição de corpos hídricos na região do aterro não controlado não foi constatada de quantidade durante as visitas técnicas realizadas, sendo recorrida as referências quanto as problemáticas neste sentido.

A falta de impermeabilização do solo, é um grande problema encontrado pois permite que a infiltração dos lixiviados formados pela decomposição da matéria orgânica presente no volume de resíduos, que se somam a substâncias tóxicas e metais pesados (encontrados em baterias, pneus, pilhas, lâmpadas e outros resíduos) atingindo o lençol freático ou reservatórios de águas superficiais próximos do lixão, que podem ser contaminados pelo escoamento superficial das águas.

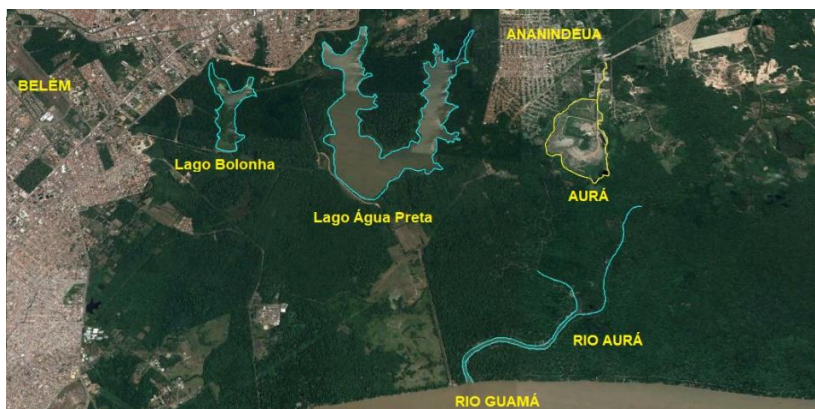
A bacia hidrográfica do rio Aurá é responsável pela drenagem do local estudado, que se junta à diversos igarapés em direção sul, com drenagem final no rio Guamá, que deságua na Baía do Marajó, parte sul do estuário rio Amazonas. Esta bacia encontra-se inserida no sistema hídrico do Utinga (Figura 8), que é definido pelas bacias hidrológicas e hidrogeológicas situadas na região dos lagos Água Preta e Bolonha (MORALES, 2002).

Os lagos constituem os principais mananciais de águas superficiais voltadas ao abastecimento público da Região Metropolitana de Belém, atendendo cerca de 70% da população. Ambos os lagos foram construídos por meio de barragens na década de 30 e são alimentados por pequenas drenagens e pelo bombeamento do rio Guamá (CESAN/COSANPA, 1983; MORALES, 2002).

A proximidade do lixão as lagoas de abastecimento levantam questionamentos quanto a contaminação destes por lixiviados advindo do Aurá através de fluxos superficiais ou subterrâneos. MORALES, (2002), ressalva que apesar da existência de fluxos subterrâneos na direção dos lagos Água Preta e Bolonha, existem barreiras naturais, como o caso do igarapé Santo Antônio que drena as águas superficiais e subterrâneas, minimizando os riscos de contaminação.



Figura 8: Sistema hídrico do Utinga.



Fonte: Google Earth, (2017).

Porém aberturas artificiais no setor sudeste do local, registradas em visita técnica (Figura 9) foram formadas pela retirada de solo para utilização como cobertura das camadas das células, constituindo uma fonte de contaminação, em decorrência das deficiências no sistema de drenagem das áreas de depósito de resíduos que acaba por se confundir com a drenagem do terreno fazendo com que ocorra a passagem livre de líquidos que passem pela massa de resíduos até essas aberturas ou lagoas, permitindo o escoamento destes possíveis contaminantes para igarapés e rios próximos ao local.

Figura 9 — Abertura artificial



Fonte: Autora.

### 2.3.3.3 Ar

Os lixões podem ser caracterizados como fontes de emissões de gases prejudiciais ao meio ambiente, entre estes os gases  $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$ , que juntos contribuem para o fenômeno climático conhecido como efeito estufa, devido as suas propriedades em reter. A produção destes ocorre a partir do processo de degradação da matéria orgânica presente no volume de lixo. Os gases apresentam inflamabilidade o que cria riscos de que explosões e queimadas.

O biogás gerado no lixão Aurá por décadas foi emitido diretamente para atmosfera, contudo, nos anos 2000 um projeto de queima de gás desenvolvidos pelas empresas Conestoga - Rovers e Associados Engenharia S/A (CRA), foi instalado parcialmente no lixão, tendo seu período de instalação no final de 2005 a meados de 2006. O ano de 2007 foi marcado com o início do projeto, que visava a exploração do biogás por um período de dez anos.

A tecnologia empregada para a captura dos gases de aterro se deu por meio de uma rede de dutos e poços conectados a um sistema de ventilação centralizado, utilizado para indução de vácuo. A medida em que o ventilador é operado, um vácuo é aplicado através da rede de tubulação e cada poço, extraindo os gases para fora do lixo. Ao reunir o biogás, o componente de metano é queimado por um queimador fechado “flare”, que reduz o potencial de aquecimento global (GWP) do biogás pela destruição da porção de metano. A Figura 9 mostra a estação de queima do biogás constituída por geradores e o queimador “flare”.

Figura 10 — Sistema de queima do biogás



Fonte: Autora.

Para um período de dez anos de funcionamento do projeto de queima do biogás foram estimadas reduções totais em toneladas de carbono equivalente <sup>1</sup> (CO<sub>2</sub>e) de 3,201,518.5 t CO<sub>2</sub>e, conforme Tabela 1.

Tabela 1 — Estimativas anuais de reduções de emissões em toneladas de CO<sub>2</sub>e

<b>Ano</b>	<b>(t CO<sub>2</sub>e)</b>
1 Jan 2007	291,983.5
2008	309,518.4
2009	327,151.6
2010	344,905.7
2011	362,807.3
2012	345,104.4
2013	328,266.6
2014	321,248.5
2015	297,012.9
31 Dez 2016	282,519.3
<b>Total</b>	<b>3,201,518.5</b>

Fonte: adaptado de UNFCC, (2017).

No entanto, 13 monitoramentos realizados pela empresa responsável pelo funcionamento do sistema para Certificação de Redução de Emissões (*Certified Emission Reductions* – CERs) mostrou que até o encerramento das atividades em fevereiro de 2017 foi registrada uma redução de emissões iguais a 2.608,429.121 tCO<sub>2</sub> e, conforme observado na Tabela 2, montada a partir dos relatórios de monitoramento disponibilizados pela empresa Conestoga-Rovers & Associados Engenharia S/A, no site da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (*United Nations Framework Convention on Climate Change* - UNFCC).

Tabela 2 — Resumo de redução de emissões certificadas (RCEs) por período

<b>Período de medição</b>	<b>RCEs (t CO<sub>2</sub>e)</b>
---------------------------	---------------------------------

<sup>1</sup> Medida internacionalmente aceita para expressar a quantidade de gases de efeito estufa em termos equivalentes a quantidade de CO<sub>2</sub>.

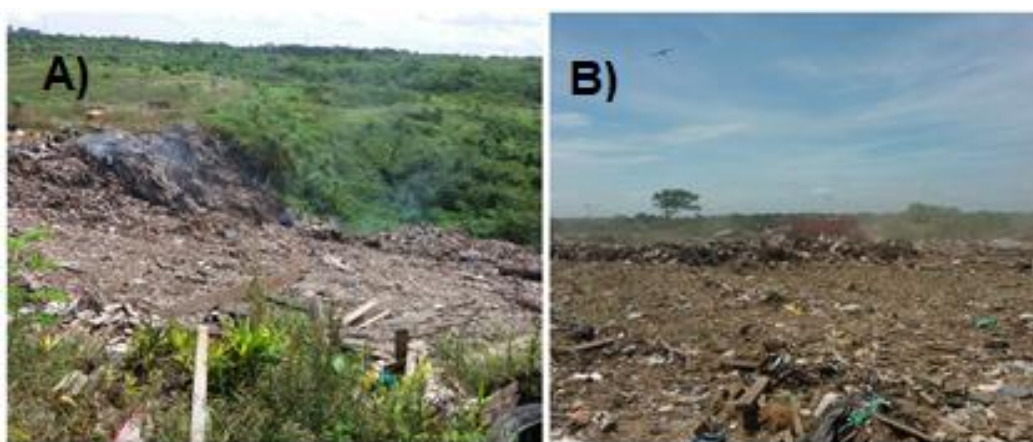


30/04/2007 a 30/09/2008	32.265
01/10/2008 a 31/01/2009	51.524
01/02/2009 a 31/08/2009	83.077
01/09/2009 a 28/02/2010	87.595
01/03/2010 a 31/12/2010	234.835
01/01/2011 a 31/10/2011	286.399
01/11/2011 a 31/12/2012	482.110
01/01/2013 a 31/12/2013	429.046
01/01/2014 a 31/12/2014	470.186
01/01/2015 a 30/06/2015	176.619
01/07/2015 a 31/12/2015	135.653
01/01/2016 a 30/06/2016	139.092
01/01/2017 a 24/02/2017	28,121
<b>Total</b>	<b>2.608,429.121</b>

Fonte: Adaptado de UNFCC, (2017).

Todavia, visitas realizadas ao local ainda indicam a produção de gases no local, em virtude da combustão espontânea de resíduos em pontos da principal célula ativa do lixão (Figura 11 A). Além da emissão de gases também foi observada grandes quantidades de poeiras, durante período menos chuvoso (Figura 11B). Estas observações mostram alterações na composição do ar no lixão Aurá. Durante as visitas foi observada a prática de queima de determinados resíduos pelos catadores para retirada de metais com valor comercial.

Figura 11 — A) combustão em célula B) Poeira



Fonte: Autora, (2017).

#### 2.3.3.4 Paisagem

A área de estudo era composta anteriormente por vegetações do Bioma Amazônia, que foram retirados para depósito de resíduos gerados pelos municípios de Belém, Ananindeua e Marituba, provocando alterações na paisagem do local e criando um impacto visual. Na Figura 12 (A) é possível observar a paisagem do lixão no ano de 2015 (ARAÚJO,2015), marcado pelo encerramento do depósito de resíduos domésticos, já a Figura 12 (B) mostra o lixão no ano de 2017.

Figura 12 — A) Paisagem em 2015 B) Paisagem em 2017



Fonte: A) Autora; B) ARAÚJO, (2015).

## 2.3.4 Meio Biótico

### 2.3.4.1 Flora

A vegetação característica da área de estudo originalmente era composta por uma Floresta Tropical Úmida Perenefolia, com grande heterogeneidade na composição de espécies florestais, onde os principais tipos de vegetação incluídos eram a vegetação de floresta densa, associada aos terrenos mais elevados e vegetação de várzea em áreas baixas ou inundáveis (MORALES, 2002).

Foram introduzidas no local espécies de plantas de médio e pequeno porte mais resistentes nas áreas de cobertura das células como parte da tentativa de um projeto de bioremediação no lixão em 2001.

Figura 13 — Vegetação em células encerradas



Fonte: Autora.

#### 2.3.4.2 Fauna

Não foram encontrados nos locais visitados espécies nativas de animais do local, o que indica a redução, dispersão ou até mesmo extinção de espécies em virtude da destruição de todo ecossistema.

Um grande número da espécie da ave de rapina brasileira, urubu-de-cabeça-preta foram avistados no local, que se justifica pela presença de restos de alimentos ainda depositados em menor escala. Além da espécie citada, animais exóticos ao ambiente como cachorros, gatos, bovinos e equinos puderam ser observados na área do lixão. Estes podem acabar trabalhando como vetores de doenças tanto para outros animais quanto seres humanos. A Figura 14 (A) e (B) expõem espécies de animais vistas durante as visitas de campo.

Figura 14 — Animais invasores na área do lixão Aurá: A) Cavalo (*Equus caballus*); B) Cachorro (*Canis lupus familiaris*).



Fonte: Autora.

## 2.3.5 Meio Antrópico

### 2.3.5.1 Problemas Sociais

A degradação social, continua sendo uma característica da área de estudo mesmo com redução da entrada de resíduos no Aurá. Associações e/ou cooperativas passaram a trabalhar de forma itinerante para coleta de resíduos nos bairros, já que, todo resíduo doméstico no momento é encaminhado diretamente a aterro sanitário particular que não oferece triagem ou a inclusão dos catadores no processo de gerenciamento dos resíduos.

No entanto parte dos catadores permanecem no lixão durante as 24 horas de funcionamento, em busca de resíduos rentáveis entre os entulhos que ainda são depositados no local (Figura 15 A), convivendo em condições insalubres de trabalho. Foi observada também a presença de adolescentes trabalhando na separação dos resíduos.

Para os resíduos ainda coletados no Aurá, a Prefeitura de Belém construiu um galpão destinado a reciclagem de materiais (Figura 15 B). Reuniões entre a Secretaria de Saneamento de Belém e representantes de órgãos de assistência social, associações de catadores, da Universidade Federal do Pará discutiram detalhes quanto a entrega deste estabelecimento, visto que o local possui dimensões pequenas que não poderiam ser utilizadas por todas as cooperativas de catadores devido a limitação de pessoas no galpão.

Figura 15 — Aspectos sociais no lixão: A) catadores remanescentes no lixão B) Galpão de triagem



Fonte: Autora.

Até o momento da última consulta quanto a situação, o galpão ainda não havia sido entregue, por irregularidades construtivas no galpão e instalações anexas. Parte dos equipamentos comprados para reciclagem de resíduos estão sendo armazenados no pátio do DRES desde 2016. O impasse quanto as finalidades e administração desta usina de reciclagem, acaba por deixar o espaço e equipamentos expostos a intemperes e deterioração antes mesmo de entrar em funcionamento.

#### 2.3.5.2 Saúde Pública

O depósito irregular de resíduos, permite a criação de uma fonte impactos que podem afetar a saúde da pública, onde o lixo acumulado permite a proliferação de vetores de doenças. No caso do lixão Aurá a proximidade com a zona urbana expõe a população a alterações do estado de saúde.

As condições de trabalho desfavoráveis dos catadores possibilitam a ocorrência de acidentes de trabalho e doenças, que possivelmente resultarão em prejuízos à saúde física e mental. As condições ambientais relativas ao ambiente de trabalho, como por exemplo, a presença de gases, vapores, ruído, calor, etc., são chamados de riscos ambientais (ISEGNET, 2009). Catadores do lixão Aurá relataram pontos na célula principal ativa em que a emissão de gases causava sintomas como tontura.



Aspectos como a inspiração de poeiras geradas pelo lixão, segundo Reis (2012), podem provocar a longo prazo a irritação crônica das mucosas pela penetração destas nos pulmões.

### 2.3.6 Classificação de impactos identificados

O lixão Aurá, apesar do fechamento para entrada de resíduos domésticos continua sendo uma fonte de impactos ambientais, visto que não até o momento não foram tomadas medidas mitigadoras para os resíduos já depositados e o fato de resíduos de entulho ainda serem depositados no local. O quadro 4, apresenta a classificação qualitativa dos impactos ambientais observados no lixão Aurá, levando em consideração a natureza, magnitude, abrangência e frequência.

**Quadro 4** — Classificação dos impactos observados

<b>Critérios de Classificação</b>
-----------------------------------

Impacto ambiental	Natureza	Magnitude	Abrangência	Frequência
Contaminação e/ou poluição do solo	N	F	L	C
Compactação do solo	N	F	L	C
alteração da paisagem	N	F	L	C
Poluição e/ou contaminação de recursos hídricos	N	F	R	C
Proliferação de vetores	N	F	L	C
Poluição do ar atmosférico	N	F	R	C
Poeiras	N	M	L	I
Redução ou extinção da fauna nativa	N	F	L	C
Contaminação de animais	N	M	L	C
Risco de contaminação aos catadores	N	F	L	C
Riscos de acidentes do trabalho	N	F	L	C
Impactos a saúde pública	N	F	R	C
Redução da entrada de lixo doméstico	P	Fr	L	C
<b>Legenda:</b> Natureza: P - Positivo e N – Negativo Magnitude: F - Forte, M - Média e Fr - Fraca Abrangência: L - Local e R - Regional Durabilidade: T – Temporário, I – Intermitente e C – Contínuo				

Fonte: Autora.

## 2.4 Conclusão

A instalação de um aterro não controlado em área urbana do município de Ananindeua aumenta os riscos aos recursos naturais e a população da Região Metropolitana de forma direta ou indireta.

Grande parte impactos ambientais diagnosticados possuem natureza negativa, a redução dos resíduos domésticos, entretanto, foi classificada como positiva, porém o depósito ilegal acaba diminuindo a magnitude da desde impacto positivo.

A falta de um sistema de drenagem do aterro e impermeabilização, são aspectos facilitadores para geração de impactos nos meios físico, antrópico, além prejuízos a fauna e flora do local que se encontra inserido numa área de proteção ambiental.

O Aterro controlado Aurá passou por diversas tentativas de minimização de impactos ambientais ao longo dos anos, no entanto todas acabaram sendo interrompidas ou parciais. Apesar da medida de vetar a entrada de resíduos domésticos ter sido benéfica para redução de matéria orgânica no volume de resíduos depositados no local, somente esta solução não é suficiente minimizar os impactos ambientais que os resíduos dispostos ao longo de décadas ainda podem causar ao meio ambiente. Torna-se imperativo a tomada de medidas de controle e engenharia para a devida desativação do local e controle dos impactos, que podem perdurar por um longo período.

### **CAPÍTULO 3 ESTIMATIVA DE FLUXOS DE METANO E CO2 EM ATERRO SANITÁRIO**



## RESUMO

A medição dos gases de efeito estufa dióxido de carbono e metano ocorreu por meio do método de câmara fechada em três células do lixão Aurá, localizado na Região Metropolitana de Belém, e parcialmente desativado no ano de 2015. O foco da pesquisa se concentrou na utilização de método de quantificação dos fluxos de dióxido de carbono e metano e investigação quanto a possível relação dos fluxos com aspectos ambientais monitorados, mostrando a variação horária destes em células com idades diferenciadas. Os fluxos horários apresentaram alta variabilidade de dados, não foram encontradas correlações significativas entre os parâmetros, com exceção de um local, que apresentou correlação negativa moderada para os fluxos de CO<sub>2</sub> e a velocidade do vento, sendo necessário o estudo de novos parâmetros capazes de influenciar a geração de gases. A conclusão da pesquisa mostrou que o Aterro Aurá em comparação a outros estudos apresentou baixos fluxos de metano, com valores médios de 5,31 g m<sup>2</sup> d<sup>-1</sup>, 11,36 g m<sup>2</sup> d<sup>-1</sup>, 0,91 g m<sup>2</sup> d<sup>-1</sup>, para as células A, B e C. Apesar dos resultados obtidos, pesquisas abrangentes e aprofundadas devem ser realizadas de modo a caracterizar as emissões do aterro como um todo.

Palavras-chave: Resíduos sólidos. Fluxo. Dióxido de carbono. Metano. Aurá.

## ABSTRACT

The carbon dioxide and methane gases were measured using the closed chamber method in three cells of the Aurá dump, located in the Metropolitan Region of Belém, and partially deactivated in the year 2015. The focus of the research was focused on

the use of the method of quantification of carbon dioxide and methane fluxes and investigation of the possible relation of fluxes with monitored environmental aspects, showing the hourly variation of these flows in cells with different ages. The time fluxes presented high data variability, no significant correlations were found between the parameters, except for one location, which presented moderate negative correlation for CO<sub>2</sub> flows and wind speed, and it is necessary to study new parameters capable of influencing the generation of gases. The conclusion of the research showed that the Aurá Landfill compared to other studies had low methane fluxes, with mean values of 5.31 g m<sup>2</sup> d<sup>-1</sup>, 11.36 g m<sup>2</sup> d<sup>-1</sup> e 0.91 g m<sup>2</sup> d<sup>-1</sup>, for cells A, B and C. Despite the results obtained, comprehensive and in-depth research should be conducted to characterize emissions from the landfill as a whole.

**Keywords:** Solid waste. Flux. Carbon dioxide. Methane. Aura.

### 3.1 Introdução

Um aterro sanitário pode ou não representar uma ameaça ao seu entorno de forma imediata e/ou ao meio ambiente em geral. Uma das ameaças destes locais está associada à produção, migração e emissão de gases de aterro (BOGNER; SPOKAS, 1995; GREGORY *et al.*, 1999). Em casos específicos o CH<sub>4</sub> presente no gás de aterro

pode causar riscos à saúde e segurança (CHRISTOPHERSEN; KJELDSEN, 1999; JARRE *et al.*, 1997). No entanto a emissão de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> tem como maior impacto a contribuição para o efeito estufa.

A decomposição dos resíduos sólidos em aterros ou lixões não se inicia imediatamente após a disposição, normalmente esta ocorre com atraso portanto as emissões de gases provenientes da decomposição da parcela orgânica presente nos resíduos ira durar um certo período de tempo (aproximadamente de cinquenta anos) após o aterramentos dos resíduos sólidos urbanos (RSU), (IPCC, 2006). Por isso a importância do monitoramento e da instalação de sistemas de controle de emissões .

No entanto, no caso de aterros controlados e lixões não há o manejo de lixiviados<sup>2</sup>, que mesmo anos após ter-se exaurida a capacidade de recebimento de RSU de aterros, o mesmo continua a gerar o lixiviado (BOCCHIGLIERI, 2005).

Este cenário desfavorável para proteção do meio ambiente e saúde pública motivou a realização desta pesquisa que buscou trazer informações relativas a emissão dos gases de efeito estufa, CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> na maior área destinada a disposição de resíduos sólidos urbanos de municípios da Região Metropolitana de Belém, conhecido como lixão do Aurá, que por décadas operou como lixão passando por tentativas de adaptação a aterro controlado, que incluíram a instalação de um sistema de queima de biogás, desativado no início do ano de 2017.

No ano de 2015, este local foi encerrado para o recebimento de resíduos domésticos e atualmente recebe resíduos de limpeza urbana, construção civil e entulhos.

## 2.1.1. OBJETIVOS

A pesquisa experimental foi realizada em 2017, e envolveu a seleção dos locais de coleta por meio de visitas técnicas e eventos teste, onde foram selecionadas duas células que atualmente utilizadas para a disposição de resíduos urbanos não domésticos. Posteriormente foi adicionada a pesquisa um terceiro local de amostra,

---

<sup>2</sup> Líquido produzido durante a decomposição dos resíduos sólidos em aterros controlados e lixões.

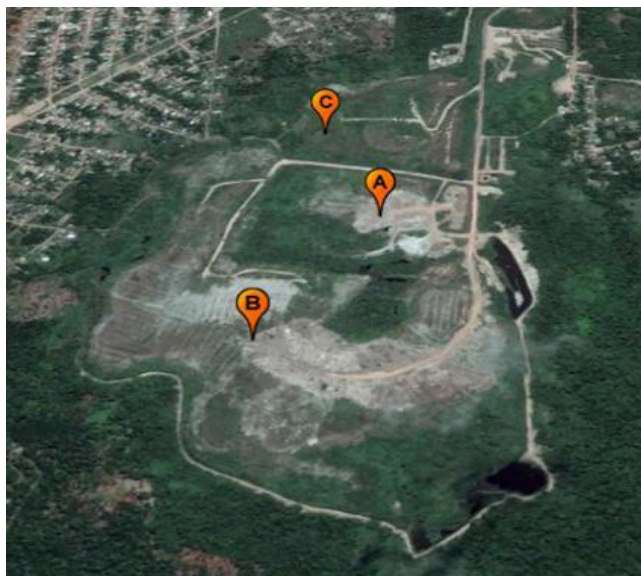
com disposição de câmaras em grade com um maior número de câmaras para uma visão mais ampla dos fluxos.

A concentração de gases foi medida nas coberturas nas áreas denominadas como célula A célula B e a célula C, nos meses de junho e novembro respectivamente em horário diurno e teve por objetivo detectar emissões de gases de efeito estufa de cada local. Cada ocasião levou um tempo de aproximadamente quatro horas.

### 3.2.1 Caracterização da Área de estudo

A área de estudo proposta trata-se do antigo lixão e atual aterro controlado do Aurá, no município de Ananindeua, integrante da Região Metropolitana de Belém. A localização está entre os paralelos  $1^{\circ}25'19,04''$  S e os meridianos  $48^{\circ}23'18,68''$  W (Figura 16). Atendia 2.042.530 habitantes da região metropolitana de Belém (área de  $1.819 \text{ km}^2$ ), segundo a estimativa populacional de 2005 (IBGE, 2005), coletando resíduos sólidos urbanos desde 1991.

Figura 16 — Disposição dos locais analisados



Fonte: Google Earth (2017).

### 3.2.2 Critérios de escolha dos Locais

O principal critério para escolha foi a idade dos resíduos, de modo a verificar o fluxo existente em células com diferentes etapas de degradação, no entanto, não existem informações precisas quanto a idade dos resíduos de cada célula dada a unificação e modificação dos locais assim como, extravio de documentos ou a falta de registro quanto a abertura e fechamento das células, onde a Figura 17 mostra uma identificação geral aproximada da distribuição das células no Aterro Aurá.

Figura 17 — Organização aproximada das células no aterro Aurá



Fonte: Google Earth (2017).

Para obter uma noção da idade das células abordadas neste estudo, foram consultadas imagens de satélite disponibilizadas pelo Google Earth, a partir do ano de 2004. Também foi levada em consideração a atividade de depósito de resíduos atual. A tabela 6 mostra as características quanto a idade aproximada das células e a denominação adotada para cada local.

Tabela 3 — Características gerais das células

<b>Célula</b>	<b>Denominação</b>	<b>Idade</b>	<b>Característica</b>	<b>Área (ha)</b>
5	A	Superior a 12 anos	• ainda recebe resíduos	10,54
1 a 4	B	4 anos	• principal local de disposição	33,8
9 e 10	C	Superior a 11 anos	• célula desativada	6,04

Fonte: Autora.

Dessa forma o critério foi baseado na atividade de depósito de resíduos atual das células, selecionando duas células. Uma célula unificada (células 1 a 4) onde atualmente ocorre o depósito de resíduos de varrição e comerciais. Segundo imagem de satélite essa área teve de depósito teve início em 2005, porém a sua expansão até os pontos de amostragem se deu aproximadamente no ano de 2013, o que daria um tempo de 4 anos de exploração dessa área.

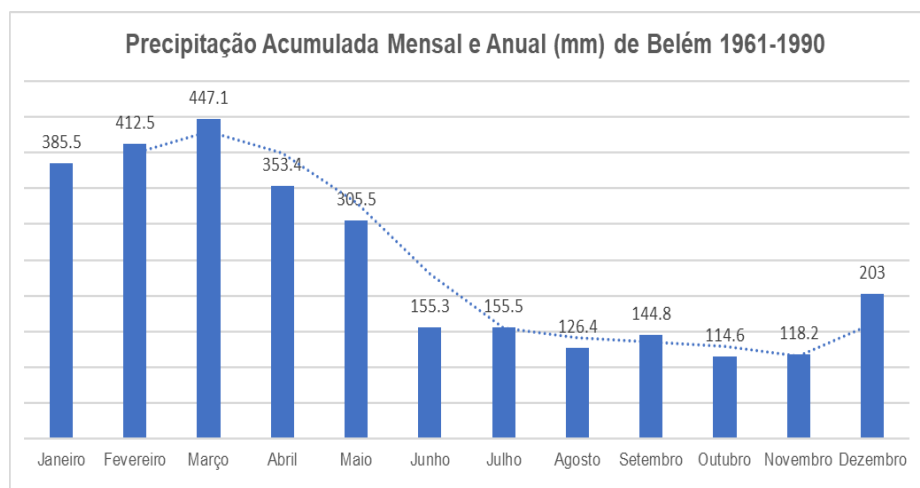
A segunda célula selecionada (célula 5), ainda em atividade e com idade aproximada de 12 anos. A terceira célula localizava-se numa área mais antiga e afastada das células atuais, a diferença de idade deste local não foi disponibilizada, mas, estimou-se algo superior a 12 anos.

### 3.2.3 Período das Medições

As medições ocorreram dentro do período menos chuvoso, mais precisamente no início e final, conforme dados de precipitação acumulada mensal e anual dos anos de 1961-1990 (Figura 18), disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), que possuem estação meteorológica relativamente próxima ao local do aterro. As precipitações do ano de 2017 (Figura 19) ainda seguem estes padrões de oscilação da quantidade de chuva, apesar das quantidades acumuladas serem maiores ou menores dos encontrados no acumulado de 1961-1990. O período

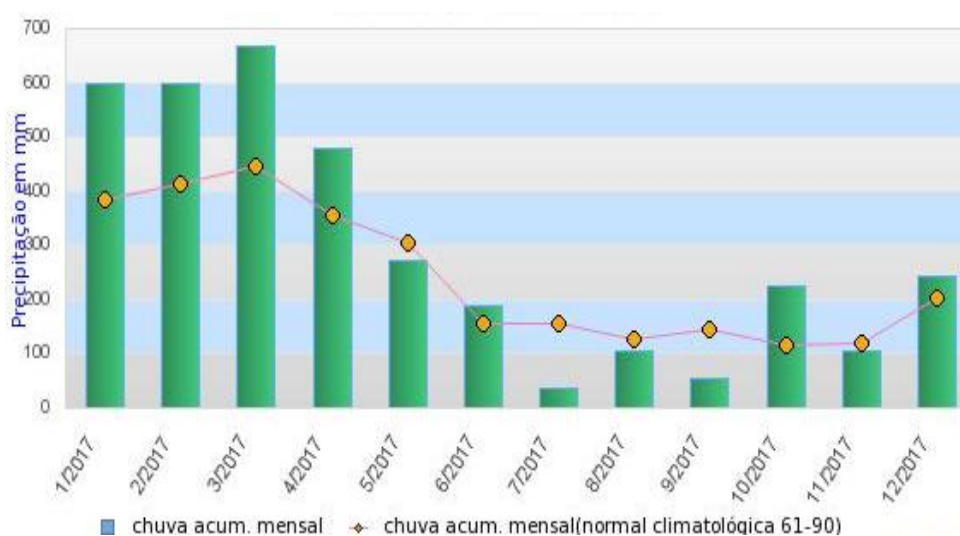
chuvoso tem seu início em dezembro estendendo-se ao mês de maio, onde a partir do mês de junho existe uma redução das precipitações até o mês de novembro.

Figura 18 - Precipitação Mensal e Anual (mm) de Belém (1961-1990)



Fonte: Adaptado de INMET (2017).

Figura 19 — Precipitação Mensal Acumulada Ano de 2017x Normal Climatológica (1961-1990)



Fonte: INMET (2017).

Para as datas em que ocorreram as medições foi verificada precipitação acumulada de quinze dias anteriores a cada medição realizada conforme Tabela 4.

Tabela 4 — Precipitação acumulada para os períodos de medição

Célula	Data	Precipitação Acumulada mm
--------	------	---------------------------

A	08/06/2017	61.4
B	29/06/2017	93.7
C	09/11/2017	109.9

Fonte: Autora.

### 3.2.4 Descrição dos Locais Escolhidos

#### 3.2.4.1 Célula A

As medições do Célula A (Figura 20 A) foram realizadas no dia 08 de junho de 2017. Muitos resíduos recicláveis foram encontrados neste local, assim como resíduos de madeira, poda e pneus, provavelmente presentes nos resíduos de entulho que ainda são depositados no local (Figura 20 B). A movimentação de pessoas (catadores e funcionários da Sesan) e veículos observada foi baixa. Nesta célula ainda estavam presentes os dutos de condução de gases do sistema de queima, desativado em abril de 2017.

Figura 20 — A) Célula A B) Resíduos presentes na célula



Fonte: Autora.

#### 3.2.4.2 Célula B



As medições da célula B (Figura 21 A), foram realizadas no dia 29 de junho de 2017. Este local representa a principal frente de trabalho do aterro atualmente em que as células enumeradas de 1 a 4 foram unificadas, a maior parte dos resíduos provenientes da dragagem de canais, varrição, entulhos com materiais recicláveis, empresas (com grandes quantidades de materiais recicláveis como vidro e plástico) e de construção civil.

Foi observado o depósito irregular de lixo doméstico no local (Figura 21 B) e presença de aves de rapina realçam a evidência de que material orgânico ainda continua sendo depositado no local, porém, em menor quantidade. No dia da referida medição também foi registrada a combustão espontânea dos resíduos evidenciando a produção de gases inflamáveis na célula (Figura 21 C), assim como uma grande movimentação de pessoas e veículos que limitou os locais de amostragem nesta célula.

Figura 21 — A) Célula B B) resíduos domésticos C) Combustão de resíduos



### 3.2.4.3 Célula C

As medições na Célula C (Figura 22) se deram no dia 09 de novembro de 2017. Esta célula afastada já se encontrava coberta por camada final de recobrimento e grandes quantidades de vegetação o que dificultou o acesso ao mesmo e a colocação das câmaras de amostragem, sendo necessária a abertura manual para retirada de vegetação dos pontos espaçados. Não foram registradas movimentações de pessoas ou veículos no local.

Figura 22 — Local C



Fonte: Autora, (2017).

Nas células A e B três pontos de amostragem (parcelas), por célula, foram colocados em regiões disponíveis nas células, estando muitas vezes limitados pelo tráfego de veículos e disposição contínua de resíduos. Em cada uma das parcelas foram distribuídas aleatoriamente oito câmaras de fluxo, confeccionadas a partir de tubulação de PVC (*Polyvinyl chloride*). Quarenta e oito pontos foram posicionados entre as células, contendo 8 câmaras em cada. As parcelas foram repetidamente

medidas para obter de forma mais evidências as mudanças de concentrações horárias.

Já na célula C, foram distribuídos 90 pontos de amostragem, com formato em grade e espaçamento de dois metros entre os pontos. Esta localidade foi adicionada posteriormente, sendo esta decisão tomada após avaliação dos primeiros dados obtidos e o interesse em determinar o fluxo de gases em mais pontos para obter uma visão mais ampla das emissões no local.

### 3.2.5 Emissões de Dióxido de Carbono e Metano

O termo "fluxo" descreve a emissão e/ou absorção do gás em estudo. As taxas de concentração de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> emitidos pela superfície do aterro foram determinados a partir do método de câmara dinâmica. Um analisador portátil de gases de efeito estufa (*LGR- Ultra-Portable Gas Analyser*, modelo 915–0011) foi utilizado para as medições simultâneas das concentrações de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>. Em cada ponto de amostragem, foram distribuídos anéis de PVC com espessura 3 mm de espessura com 20 cm de diâmetro e 12 cm de altura foram inseridos de 1-2 cm no solo.

Nas câmaras em que não foi possível penetrar os anéis, estes foram selados com uma mistura de solo argiloso e água. Cada anel foi sequencialmente fechado com uma tampa de PVC, formando uma câmara com volume aproximado de quatro litros. Desta forma, as câmaras foram conectadas com mangueiras de PTFE (Politetrafluoretileno) ao *Ultra-Portable GGA*, sendo que câmara foi ventilada para estabilização da pressão dentro da câmara. O ar circulou em circuito fechado entre um analisador *Ultra-Portable GGA* e a câmara através de tubulação de PTFE usando uma bomba de circulação a vácuo integrada ao aparelho, a uma taxa de 0,5 L min<sup>-1</sup>.

O aparelho *Ultra-Portable GGA* usa uma técnica patenteada baseada em espectroscopia de absorção com cavidade integrada, fornecendo simultaneamente, em ppm, de concentrações de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> e vapor de H<sub>2</sub>O.

A espectroscopia de absorção usa lasers para avaliar a concentração ou quantidade de espécies em fase gasosa por espectrometria. Como um tipo da técnica de espectroscopia de absorção existe a técnica utilizada pelo analisador portátil denominada espectroscopia de cavidade integrada, que usa uma fonte de laser

ajustável que produz luz em um comprimento de onda adequado ao gás de interesse, neste caso os gases de efeito estufa.

A luz laser entra em uma cavidade espelhada altamente reflexiva no interior do aparelho, refletindo milhares de vezes antes de seguir para um fotodetector que cria um longo caminho óptico (de muitos quilômetros), aumentando a sensibilidade e gerando absorção. A luz infravermelha interage com um gás presente dentro da cavidade, alterando o comprimento de onda sobre o qual o laser opera, dessa forma a concentração de diferentes isotopólogos do mesmo gás pode ser medida com precisão (LGR, 2014).

### 3.2.6 Outros Equipamentos Utilizados

De forma complementar as análises realizadas serão registradas condições meteorológicas relativas à temperatura, umidade e velocidade dos ventos. Um termo-higroanemômetro, de modelo AK821 (Figura 6), com dimensões de 62x165x37 mm, registrará a velocidade do ar (em  $\text{m s}^{-1}$ ), temperatura do ar (em  $^{\circ}\text{C}$ ) e a umidade relativa do ar nos locais de amostragem.

Figura 23 — Termo-higroanemômetro modelo AK821



Fonte: AKSO, (2017).

As medidas de umidade do solo foram realizadas com o *Hydrosense Soil Water Measurement System* da Campbell Scientific Inc, com uma unidade de display e sensor com duas sondas de 0,12 m cada e acurácia de  $\pm 3\%$  do teor de umidade em ambientes com condutividade elétrica menor que 0,02 S/m (CAMPBELL SCIENTIFIC, 2010).

Figura 24 — US - TDR modelo Hydrosense



Fonte: Campbell Scientific, (2010).

### 3.2.7 Cálculo das emissões de metano e dióxido de carbono

Os fluxos (F) de metano e dióxido de carbono foram calculados a partir do aumento da concentração (dC) durante o fecho da câmara (dt) e do volume da câmara (V) envolvendo a área de superfície (A), conforme Equação, (1) proposta por Abichou *et al.* (2006) onde se assume uma linearidade nos fluxos. A determinação do volume das câmaras considerou a altura média de quatro pontos de cada anel de PVC dada irregularidades do solo, registradas nos momentos das medições.

$$F = PVMU \left( \frac{dc/dt}{ATR} \right) \quad (1)$$

Onde:

F: representa as emissões de metano e dióxido de carbono ( $g\ m^{-2}d^{-1}$ )

P: pressão atmosférica (1 atm)

V: volume da câmara (L)



M: massa molecular do metano (16 g mol<sup>-1</sup>) e dióxido de carbono (44 g mol<sup>-1</sup>)

U: unidade de fator de conversão (0.0864 L/s - μL<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>)

A: área coberta pela câmara ou área de alcance (m<sup>2</sup>)

T: temperatura da câmara (K)

R: constante de gás (0.08205 L atm. (K mol)<sup>-1</sup>)

dc/dt: inclinação da regressão linear entre a concentração e o tempo transcorrido.

A taxa de variação da concentração de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> ( $dc/dt$ ) dentro da câmara foi calculado usando o ajuste linear para os primeiros 2 minutos de dados medidos pelo analisador de gases, após o fechamento da câmara. Já a pressão atmosférica do local foi determinada a partir da equação (2) que considera os efeitos da gravidade e temperatura do ar dada por:

$$P = P_0 e^{\frac{-g.z}{R_d.T}} \quad (2)$$

Onde:

P<sub>0</sub>: é a pressão inicial, considerada em milibar (1013,25 mbar);

g: aceleração da gravidade;

z: altura da camada de ar (espessura).;

R<sub>d</sub>: constante dos gases;

T: temperatura do ar em Kelvin.

Os dados coletados primeiramente retirados do banco de dados do analisador portátil, onde os intervalos de cada câmara foram separados e organizados para estimativa dos fluxos. Para cada câmara as amostras das concentrações de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> foram plotadas em função do tempo, onde realizou-se regressões, no Excel, para determinar a linearidade dos fluxos e obtenção do  $dc/dt$  utilizado na equação 1. Regressões com R<sup>2</sup>< 0,70, foram consideradas não lineares e descartadas. Apenas taxas de emissões lineares (positivas ou negativas) fizeram parte das análises posteriores.

Após a obtenção da estima dos fluxos de cada local a partir da Equação (1) foram realizadas as análises dos dados que focaram na (i) análise descritivas dos dados, (ii) avaliação da variação horária dos fluxos (iii) correlação entre os fluxos e os fatores ambientais monitorados.

### 3.2.8 Análise Descritiva de Dados

Usada com o objetivo sumarizar as informações contidas no conjunto de dados analisados. É uma análise baseada na construção e interpretação gráfica, cálculos e interpretação de estatísticas.

O cálculo de estatísticas como a média aritmética, variância, desvio padrão, coeficiente de variação, valor mínimo, valor máximo, coeficiente de assimetria e coeficiente de curtose, tornou possível a descrição da variável principal, no caso os fluxos de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> observados.

- **Média aritmética:** medida de posição dada pela equação 3

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (3)$$

Onde,  $x_i$  representa cada valor observado e  $n$  é o número total de valores.

- **Variância (S<sup>2</sup>) e desvio padrão (S):** fornecem uma ideia de variabilidade das observações em torno da  $\bar{X}$ . Dentro análises descritivas a média deve ser acompanhada do desvio padrão para a visualização da dispersão média dos valores. A definição destes é dada pelas equações 4 e 5:

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n-1} \quad (4)$$

$$S = \sqrt{S^2} \quad (5)$$

- **Coeficiente de variação (CV):** fornece a dispersão relativa dos dados facilitando a visualização da dimensão dos valores quando em relação à média. É dado pela relação expressa na equação 6.

$$CV = 100 \frac{S}{\bar{X}} \quad (6)$$

- **Valores mínimos e máximos:** permitem a visualização da menor e maior ocorrência.
- **Coeficiente de assimetria (Cs):** mostra o afastamento da variável em relação a um valor central, onde na distribuição simétrica 50% dos valores observados

estão acima do valor central e 50% estão abaixo. Através do  $C_s$  é possível caracterizar como e quanto a distribuição de frequências se afasta da simetria sendo que a interpretação deste coeficiente é dada pelos de que se  $C_s > 0$ , (distribuição assimétrica a direita);  $C_s < 0$  (distribuição assimétrica a esquerda) e  $C_s = 0$  (distribuição simétrica).

- **Coefficiente de curtose (Ck):** utilizado para caracterizar a forma de distribuição de frequências com relação ao seu “achatamento”. O termo médio de comparação é a distribuição normal que apresenta valor  $C_k = 3$ . O critério de classificação quanto a curtose diz que se  $C_k = 3$  (existe uma distribuição mesocúrtica ou normal);  $C_k < 3$  (distribuição platicúrtica);  $C_k > 3$  leptocúrtica.

### 3.2.9 Variação Horária

Com o objetivo de captar a variação horária dos fluxos nas coberturas de cada célula as medições aconteceram repetidamente de modo a captar a variação de fluxos em algumas horas. Para isso 24 câmaras foram distribuídas em três pontos de cada célula selecionada e medidas de forma consecutiva. Na célula A foram realizadas duas medições, já na célula B três medições foram registradas. Cada medição ocorreu num período de 2 a 3 minutos aproximadamente.

As análises estatísticas foram facilitadas pela utilização dos softwares SPSS *Statistics 25*, com versão de domínio público.

### 3.2.10 Correlação

Para investigação quanto a correlação entre os aspectos ambientais (velocidade do vento ( $V_v$ ), Umidade Relativa do Ar (URA%), Umidade do solo (%), Temperatura do Ar ( $T_{ar}$ )) e os de metano e dióxido de carbono das células foi escolhido o coeficiente de Pearson. No entanto, os dados de  $CH_4$  e  $CO_2$  não corresponderam aos critérios de normalidade constados pelos testes de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk ( $p < 0,001$  para ambos os testes). Dessa forma foi adotado o teste não paramétrico de Spearman para correlação.



O coeficiente de Spearman foi escolhido para as análises de correlação entre os fluxos e os aspectos ambientais, por não considerar a distribuição normal dos dados como pressuposto, sendo este dado pela expressão descrita na equação 7.

$$\hat{\rho}_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n(n^2-1)} \quad (7)$$

Onde:

$\hat{\rho}_s$  é o coeficiente de correlação de Spearman;

$d_i$  é a diferença entre as ordenações (postos);

$n$  é o número de pares de ordenação.

A interpretação dos resultados é feita através do valor do coeficiente obtido onde valores de  $\hat{\rho}_s$  iguais ou muito próximos a zero, significam que não existe relação entre as variáveis. Valores de  $\hat{\rho}_s$  próximos a +1 ou -1, resultam em correlação positiva ou negativa entre as variáveis.

A análise da significância ( $p$ ), realizada de forma conjunta, mostra se o resultado obtido do coeficiente de Spearman é dado pelo acaso (hipótese nula,  $H_0$ ) ou não (hipótese alternativa,  $H_A$ ). O limiar do valor de probabilidade abaixo do qual a hipótese nula é rejeitada é 5% ( $p = 0,05$ ).

Se a probabilidade do evento caso a hipótese nula esteja certa for menor que 5%, rejeita-se a hipótese nula. Porém, caso a probabilidade for maior que 5%, não se pode rejeitar a hipótese nula.

### 3.3 Resultados e Discussões

#### 3.3.1 Análise descritiva dos dados

A Tabela 5, mostra um resumo dos valores de fluxo encontrados de cada célula.

Tabela 5 — Resumo análise descritiva dos fluxos

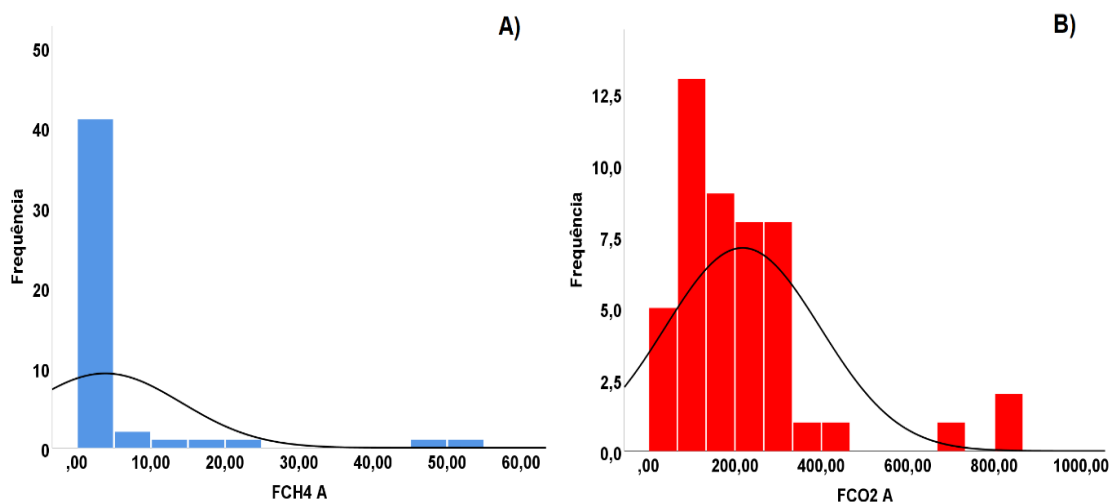
Estatísticas	Célula A		Célula B		Célula C	
	FCH4	FCO2A	FCH4B	FCO2B	FCH4C	FCO2C
N	36.00	48.00	35.00	69.00	40.00	87.00
Média	5.31	219.88	11.36	170.82	0.91	86.55
Mediana	0.90	165.81	0.98	131.18	0.07	68.96
Desvio Padrão	11.59	177.77	26.59	170.07	3.80	65.43
CV (%)	218.10	80.85	234.04	99.56	418.52	75.60
Mínimo	0.03	13.74	-1.65	15.36	-0.22	0.22
Máximo	50.82	853.45	144.18	969.53	24.02	364.21
Assimetria	3.16	2.14	4.04	2.70	6.08	2.06
Erro de assimetria padrão	0.39	0.34	0.40	0.29	0.37	0.26
Curtose	9.85	5.26	18.89	9.38	37.80	4.84
Erro de Curtose padrão	0.77	0.67	0.78	0.57	0.73	0.51

Fonte: Autora.

- Célula A

Os fluxos de CH<sub>4</sub>, tiveram valor médio 5,31 g m<sup>2</sup> d<sup>-1</sup>, com dispersão de 11,59 g m<sup>2</sup> d<sup>-1</sup> em torno da média, que resultou na variabilidade de 218,10%, que mostra a heterogeneidade dos dados. O menor e maior fluxo de CH<sub>4</sub> encontrado foi de 0,03 e 50,82 g m<sup>2</sup> d<sup>-1</sup>, respectivamente. Já os fluxos de CO<sub>2</sub> apresentaram uma média de 219,88 g m<sup>2</sup> d<sup>-1</sup>, com desvio padrão de 177,77 g m<sup>2</sup> d<sup>-1</sup>, que gera um coeficiente de variação (CV) de 80,85%. O alto valor de variância encontrado para os fluxos de dióxido de carbono nesta célula, mostram que os valores obtidos se encontram “espalhados”, distantes da média.

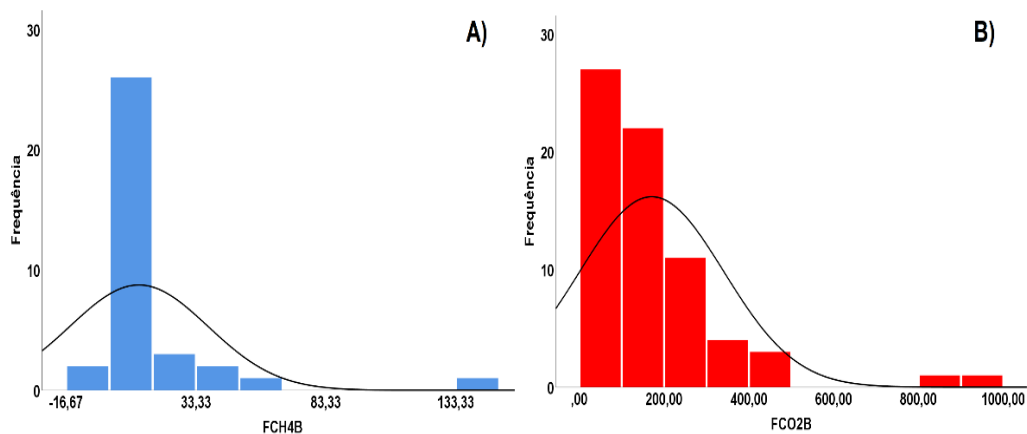
O histograma da Figura 24, mostra uma distribuição assimétrica dos dados, representada pelos coeficientes de assimetria e curtose, 3,16 ± 0,39 e 9,85 ± 0,77 respectivamente para os fluxos de CH<sub>4</sub>, enquanto para os fluxos de CO<sub>2</sub>, os coeficientes foram de 2,14 ± 0,34 e 5,26 ± 0,67.

Figura 25 — Histograma dos fluxos de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> da célula A

Fonte: Autora.

- Célula B

Os dados quanto aos fluxos de metano na célula B apresentaram distribuição assimétrica, com coeficientes de assimetria e curtose de  $4,04 \pm 0,40$  e  $18,89 \pm 0,78$ , nesta ordem. O comportamento assimétrico dos dados foi observado para dos fluxos de dióxido de carbono, com coeficientes de assimetria e curtose de  $2,70 \pm 0,29$  e  $9,38 \pm 0,57$ .

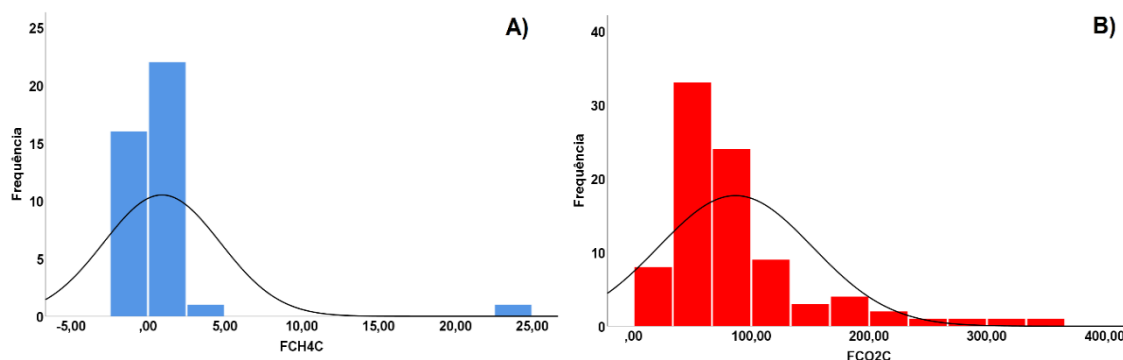
Figura 26 — Histograma dos fluxos de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> da célula B

Fonte: Autora.

- Célula C

Igualmente na célula C, a distribuição de frequências, ilustrada na figura 26, mostra a distribuição assimétrica dos fluxos de CH<sub>4</sub> (Figura 26 – A), indicada de forma complementar pelos coeficientes de assimetria e curtose iguais a  $6,08 \pm 0,37$  e  $37,80 \pm 0,73$ . Os fluxos de CO<sub>2</sub> apresentaram coeficientes de assimetria e curtose de  $2,06 \pm 0,26$  e  $4,84 \pm 0,51$ , respectivamente. A Figura 27-B mostra o histograma correspondente ao referido fluxo.

Figura 27 — Histograma dos fluxos de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> da célula C



Fonte: Autora.

Comparando os valores médios de emissão do gás metano encontrados com resultados de os estudos realizados em aterros temos a pesquisa realizada por Abichou et. al (2006), em aterro que não contava com um sistema de extração de gases, onde registrou uma média de  $53,6 \text{ g m}^2 \text{ d}^{-1}$ , valor 89,07% maior do que a média de emissão do aterro Aurá. Já a pesquisa de Asadi *et al.* (2013), em local com sistema de extração de gases obteve um valor médio de  $2,59 \text{ g m}^2 \text{ d}^{-1}$ , quase três vezes menor do que o valor médio do aterro Aurá.

Considerando o clima tropical em de aterro sanitário localizado em uma cidade da Malásia, Abushammala et.al (2016) registrou variações sazonais das emissões de CH<sub>4</sub> com valores médios de  $244 \text{ g m}^2 \text{ d}^{-1}$ , para estação chuvosa, e  $193 \text{ g m}^2 \text{ d}^{-1}$  para período de seca, próximos das emissões médias encontradas nas células A e B ( $219,88 \text{ g m}^2 \text{ d}^{-1}$  e  $170,82 \text{ g m}^2 \text{ d}^{-1}$ ).

No Brasil, Borba *et.al* (2018), obteve valor médio de emissão  $329 \text{ g m}^2 \text{ d}^{-1}$  de metano, em aterro no estado do Rio de Janeiro, um 98,2% maior do que a média de emissão entre as células do aterro Aurá. Este estudo, no entanto, considerou fissuras na camada de cobertura no aterro ainda ativo.

Já na cidade de São de Paulo, em artigo publicado por Silva, Freitas e Candiani (2013) em áreas com diferentes tempos de deposição obteve valores de metano iguais a  $21,31 \text{ g m}^2 \text{ d}^{-1}$  no aterro de Bandeirante, em área com período de deposição entre os anos de 2000-2007 e  $22,67 \text{ g m}^2 \text{ d}^{-1}$  em área com resíduos depositados entre 2002 e 2004. O aterro Caieras com áreas de depósito mais recente registrou  $310,60 \text{ g m}^2 \text{ d}^{-1}$  para área depositada entre 2008-2011, Em aterro com sistema de extração passivo por Maciel e Jucá (2011), mostrou uma média de média de  $161,5 \text{ g m}^2 \text{ d}^{-1}$ , cerca de 27 maior do que valor observado no aterro Aurá.

Quanto as emissões de  $\text{CO}_2$ , Borba *et al.* (2018) obteve um valor médio de  $191,5 \text{ g m}^2 \text{ d}^{-1}$ , valor um pouco maior do que a média entre as células do aterro Aurá. Valores médios de emissão para a estação seca e chuvosa iguais a  $193 \text{ g m}^2 \text{ d}^{-1}$  e  $244 \text{ g m}^2 \text{ d}^{-1}$  medidos em célula com idade avançada (de cerca de 10 anos) por Abushammala *et al.* (2016), situação similar ao Aurá neste aspecto.

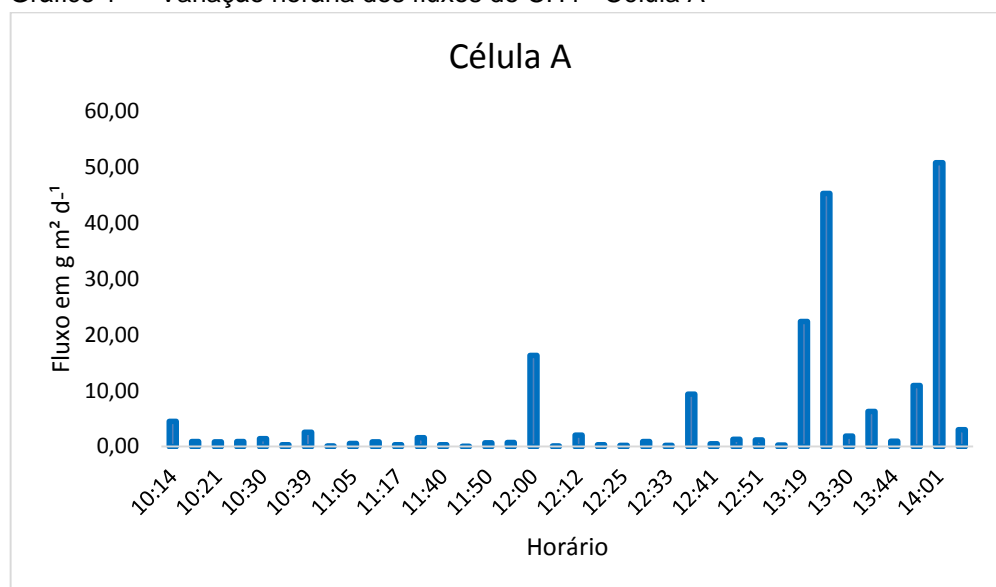
É possível notar que em comparação com resultados obtidos em demais estudos, a emissão de metano nos pontos medidos pode ser caracterizada como baixa e coerente com a diminuição esperada com o aumento da idade dos resíduos. As emissões de metano mantiveram-se próximas a resultados obtidos em situações similares de estudo.

### 3.3.3 Variação horária dos Fluxos de Metano e Dióxido de Carbono

Na célula A podemos perceber baixos fluxos de  $\text{CH}_4$  que ultrapassaram as camadas de cobertura, estes totalizaram  $191,226 \text{ g m}^2 \text{ d}^{-1}$ , com fluxos baixos próximos a zero durante os períodos de 10:00 às 11:00 e fluxos mais expressivos em alguns pontos a partir do meio dia. Fluxos consideráveis de  $\text{CO}_2$  foram detectados ao longo de todo o período de medição, que somados chegaram a  $10.554,1 \text{ g m}^2 \text{ d}^{-1}$ , com leve crescimento ao longo da manhã, decaimento após o horário 12:00 e maiores valores em alguns pontos entre os horários de 13:00 a 14:00 (conforme os gráficos 1 e 2).

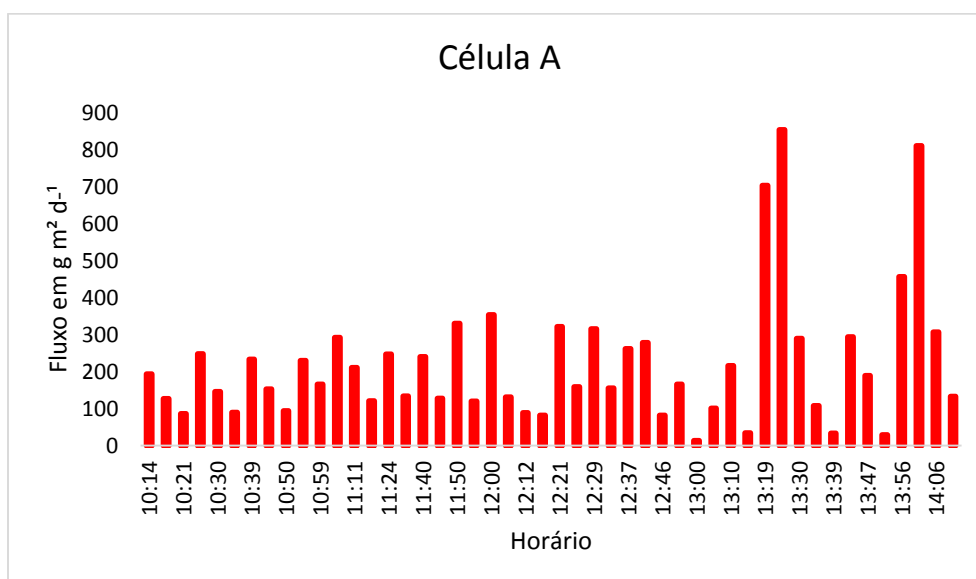
Os fluxos baixos nesta célula eram esperados, pois além da idade superior da célula em que é pressuposto o decaimento dos fluxos ao longo do tempo, a data em que se realizou as medições foi antecedida pelo período com menor quantidade de chuva acumulada de 15 dias (61,4 mm), o que cria condições desfavoráveis para fatores que influenciam na produção de gases, como o caso da umidade presente nas camadas de resíduos (BÖRJESSON, 1997 ; SUBAK, 1999).

Gráfico 1 — Variação horária dos fluxos de CH<sub>4</sub> - Célula A



Fonte: Autora.

Gráfico 2 — Variação horária dos fluxos de CO<sub>2</sub> – Célula A



Fonte: Autora.

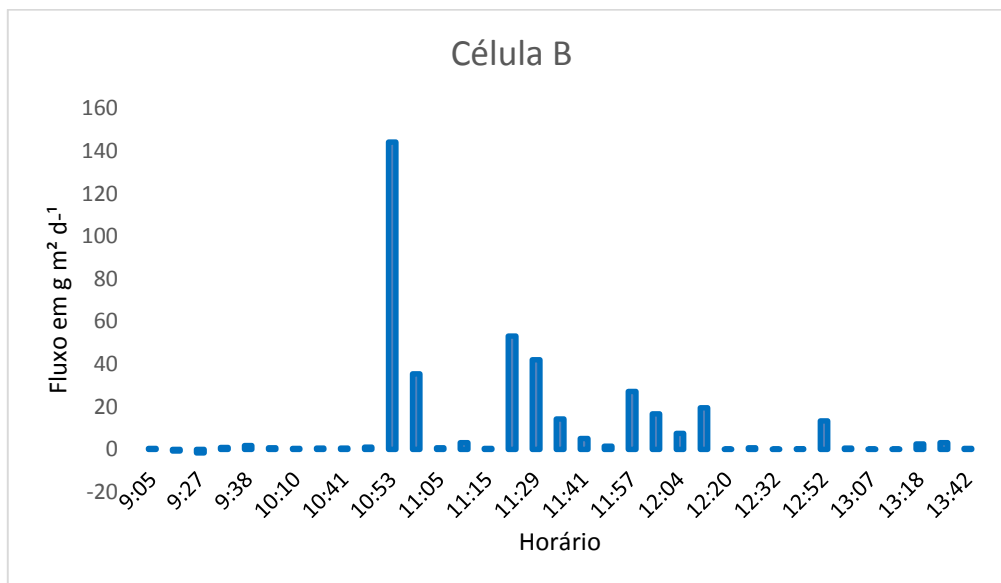
O setor medido na célula B, com idade aproximada de 4 anos, apresentou fluxo total de CH<sub>4</sub> de 397,7 g m<sup>2</sup> d<sup>-1</sup>, com pontos de maior liberação no período próximo às 11:00, tendo um decaimento após esse horário, (Gráfico 3). Os valores de fluxo encontrados para o CO<sub>2</sub> (Gráfico 4), totalizaram 11.786,65 g m<sup>2</sup> d<sup>-1</sup>, o que implica na produção de biogás mesmo em período menos chuvoso. O resultado encontrado para este local condiz com o esperado para células mais recentes, quando comparadas aos demais locais analisados. Levando em consideração fatores como a idade dos resíduos tem-se que aterros com resíduos mais recentes produzem mais gás, no entanto, Kumar *et al.* (2004), mostrou um pico na produção de gases num período de 5 a 7 anos após o aterramento dos resíduos.

Fluxos negativos significativos em pontos medidos na célula podem ser um indicativo do processo de oxidação biológica do gás metano que acontece por intermédio de bactérias denominadas metanotróficas que se desenvolvem nas áreas de coberturas e utilizam o metano como fonte de carbono e energia, principalmente próximo à superfície onde existe uma quantidade maior de oxigênio (HANSON, 1996; MCDONALD *et al.*, 2008; MURREL *et al.*, 1998; PELMONT, 1993).

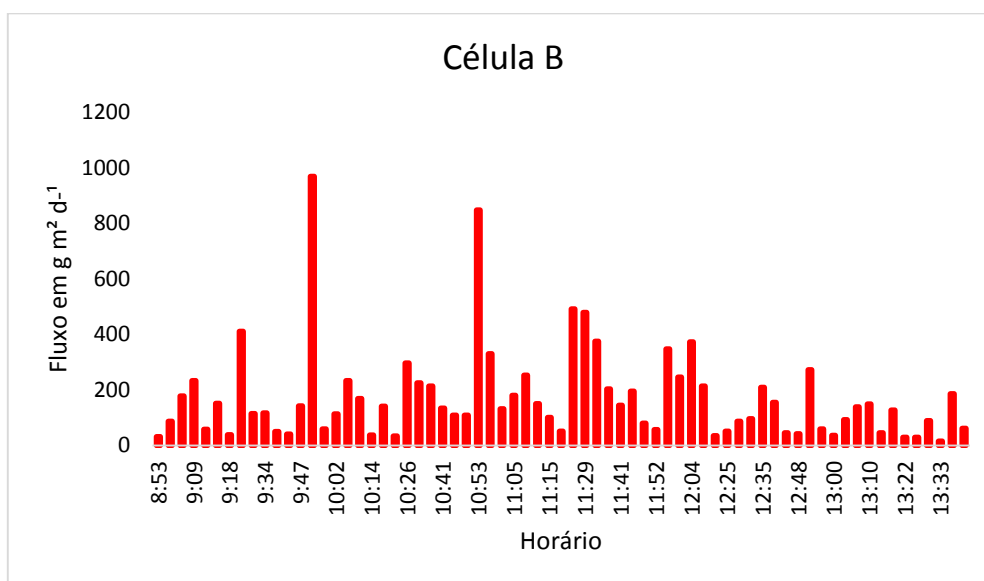
Nesse processo o gás metano produzido de forma aeróbia e anaeróbia nas camadas posteriores de resíduos sólidos urbanos compactados ascende e ao passar pela área de cobertura é consumido pelas metanotróficas que o convertem em água, dióxido de carbono e biomassa (Equação 8).



A oxidação biológica se dá de forma espontânea e depende do fluxo de CH<sub>4</sub> e oxigênio presente (BARLAZ *et al.*, 2004; BÖRJESSON, 1997; EINOLA *et al.*, 2008; NIKIEMA *et al.*, 2007), assim como da presença de bactérias metanotróficas que funcionam como agente da oxidação em um meio permeável ao gás (TEIXEIRA, 2008). Para uma melhor compreensão desse processo no lixão Aurá se faz necessário um estudo mais aprofundado da comunidade microbiológica do solo e aspectos físico-químicos das coberturas do local.

Gráfico 3 — Variação horária dos fluxos de CH<sub>4</sub> - Célula B

Fonte: Autora.

Gráfico 4 — Variação horária dos fluxos de CO<sub>2</sub> – Célula B

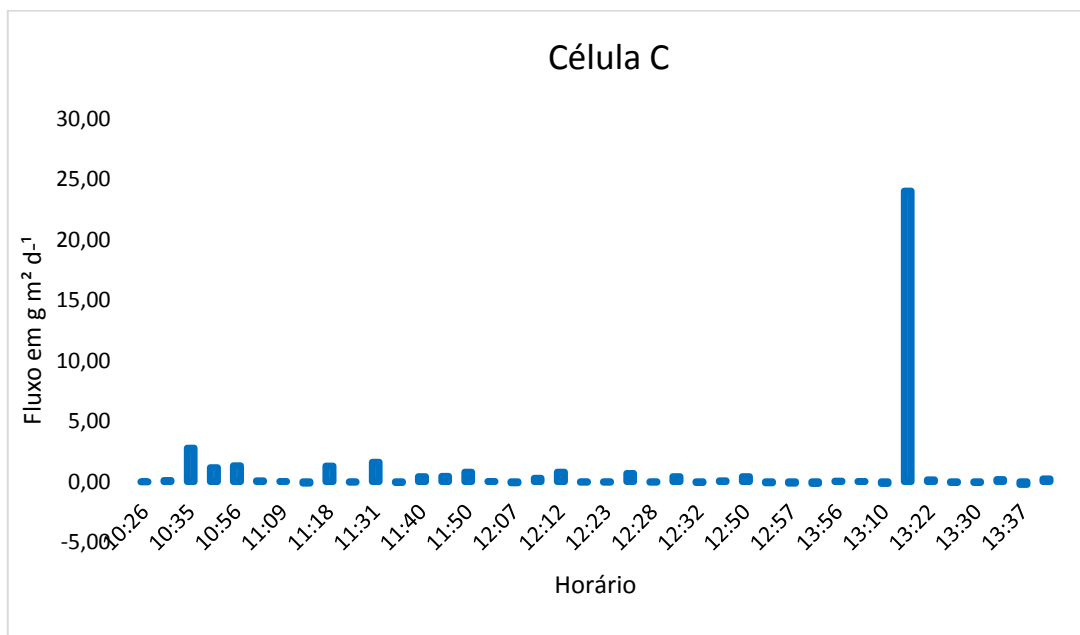
Fonte: Autora.

Os fluxos CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> totais da Célula C, iguais a 36,30 g m<sup>2</sup> d<sup>-1</sup> e 7.529,77 g m<sup>2</sup> d<sup>-1</sup>, representam os menores resultados gerais obtidos. Os fluxos de metano apresentaram fluxos baixos e negativos ao longo do tempo, com exceção de um ponto que apresentou o maior valor encontrado, no horário de 13:22 (Gráfico 5). Dada a



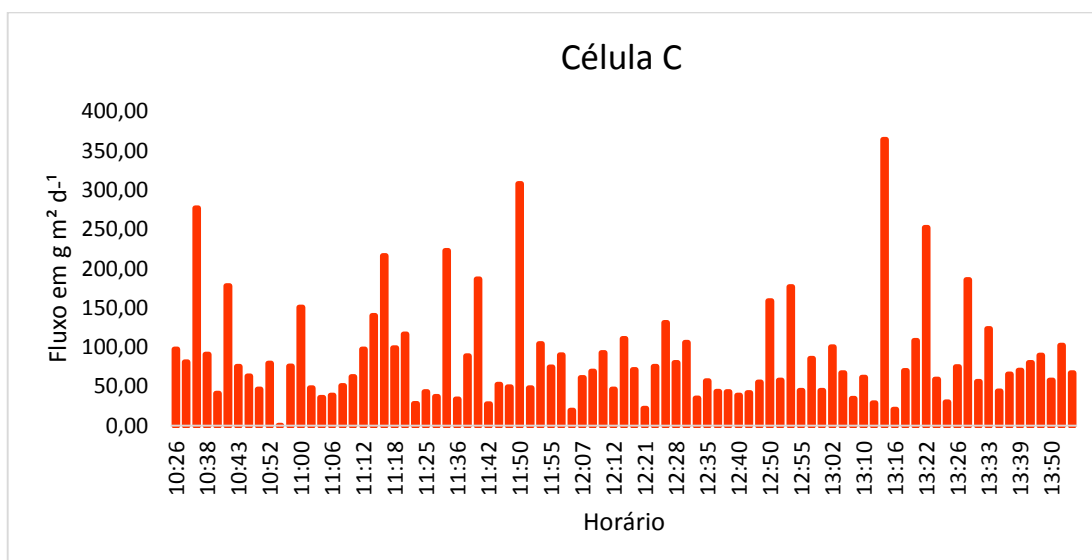
idade avançada da célula era esperado baixos fluxos no local, porém, esta não se encontra estabilizada. O gráfico 6, mostra a existência de fluxos de CO<sub>2</sub> em toda área analisada, porém com uma grande variação de fluxos entre os pontos.

Gráfico 5 — Variação horária dos fluxos de CH<sub>4</sub> – Célula C



Fonte: Autora.

Gráfico 6 — Variação horária dos fluxos de CO<sub>2</sub> – Célula C



Fonte: Autora.

### 3.3.2 Correlação de Fluxos e Aspectos Ambientais

A análise de aspectos ambientais buscou identificar características físicas do meio que possuem a capacidade de influenciar a emissão de metano e dióxido de carbono. A Tabela 6 apresenta os valores mínimos, máximos e médios medidos para cada câmara: velocidade do vento (Vv), Umidade Relativa do Ar (URA%), Umidade do solo (%), Temperatura do Ar (T ar).

Tabela 6 — Média e valores mínimos e máximos dos parâmetros ambientais medidos em cada célula.

Célula	Parâmetro	N	Média	Desvio Padrão	Variância	Mínimo	Máximo
A	Vv(m/s)	48	1.84	1.19	1.42	0.3	4.9
	URA (%)	48	39.53	7.81	60.93	22.2	55.2
	T ar°C	48	39.68	3.48	12.08	33	47.6
	Umidade Solo(%)	48	6.44	7.09	50.21	1	36
B	Vv(m/s)	72	1.49	0.86	0.73	0.3	4.2
	URA (%)	72	42.22	9.84	96.8	25.4	73.8
	T ar°C	72	40.33	3.84	14.73	29	48.7
	Umidade Solo(%)	72	2.32	1.92	3.69	1	10
C	V v (m/s)	41	1.53	1.74	3.03	0.00	6.10
	UR A (%)	41	37.45	4.55	20.74	24.50	44.30
	T ar°C	41	41.06	2.57	6.58	37.60	49.20
	T °C Solo	90	35.73	2.55	6.52	30.40	43.00
	P (mmHg)	41	753.30	0.58	0.34	752.20	754.10

Fonte: Autora, (2017).

Como os dados em ambas as células, não apresentou uma distribuição normal e homogeneidade, como esperado, não foi possível a utilização de testes paramétricos para averiguação de correlação deste.

Desta forma os fluxos de cada célula foram correlacionados aos parâmetros ambientais, utilizando o coeficiente de Spearman, que resultou nas matrizes de correlação apresentadas nas Tabelas 7,8 e 9, para análise.

Tabela 7 — Matriz de correlação entre fluxos e parâmetros ambientais - Célula A

Correlação de Spearman		FCH4 A	FCO2 A	Vv(m/s)	UR A(%)	T ar°C	Umidade Solo (%)
FCH4 A	Coeficiente de Correlação	1.00	0.15	0.15	0.07	-0.19	-0.04
	Sig. (2 extremidades)	1.00	0.39	0.39	0.68	0.26	0.80
	N	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00
FCO2 A	Coeficiente de Correlação	0.15	1.00	-,471**	-0.14	0.01	-0.13
	Sig. (2 extremidades)	0.39	1.00	0.00	0.33	0.93	0.38
	N	36.00	48.00	48.00	48.00	48.00	48.00
Vv(m/s)	Coeficiente de Correlação	0.15	-,471**	1.00	0.02	-0.03	-0.16
	Sig. (2 extremidades)	0.39	0.00	1.00	0.91	0.85	0.29
	N	36.00	48.00	48.00	48.00	48.00	48.00
UR A (%)	Coeficiente de Correlação	0.07	-0.14	0.02	1.00	-,828**	0.20
	Sig. (2 extremidades)	0.68	0.33	0.91	1.00	0.00	0.17
	N	36.00	48.00	48.00	48.00	48.00	48.00
T ar°C	Coeficiente de Correlação	-0.19	0.01	-0.03	-,828**	1.00	-0.06
	Sig. (2 extremidades)	0.26	0.93	0.85	0.00	1.00	0.67
	N	36.00	48.00	48.00	48.00	48.00	48.00
Umidade Solo(%)	Coeficiente de Correlação	-0.04	-0.13	-0.16	0.20	-0.06	1.00
	Sig. (2 extremidades)	0.80	0.38	0.29	0.17	0.67	1.00
	N	36.00	48.00	48.00	48.00	48.00	48.00

Fonte: Autora.

Tabela 8 — Matriz de correlação entre fluxos e parâmetros ambientais - Célula B

Correlação de Spearman		FCH4 B	FCO2 B	Vv (m/s)	RH A (%)	T ar°C	Umidade Solo(%)
FCH4 B	Coeficiente de Correlação	1.00	-0.02	-0.23	-,577**	,493**	0.04
	Sig. (2 extremidades)	1.00	0.92	0.19	0.00	0.00	0.83
	N	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00
FCO2 B	Coeficiente de Correlação	-0.02	1.00	-0.12	-0.07	0.17	0.05
	Sig. (2 extremidades)	0.92	1.00	0.32	0.57	0.16	0.67
	N	35.00	69.00	69.00	69.00	69.00	69.00
Vv (m/s)	Coeficiente de Correlação	-0.23	-0.12	1.00	,288*	-,251*	0.06
	Sig. (2 extremidades)	0.19	0.32	1.00	0.01	0.03	0.60
	N	35.00	69.00	72.00	72.00	72.00	72.00
RH A (%)	Coeficiente de Correlação	-,577**	-0.07	,288*	1.00	-,939**	,403**
	Sig. (2 extremidades)	0.00	0.57	0.01	1.00	0.00	0.00
	N	35.00	69.00	72.00	72.00	72.00	72.00
T ar°C	Coeficiente de Correlação	,493**	0.17	-,251*	-,939**	1.00	-,400**
	Sig. (2 extremidades)	0.00	0.16	0.03	0.00	1.00	0.00
	N	35.00	69.00	72.00	72.00	72.00	72.00
Umidade Solo (%)	Coeficiente de Correlação	0.04	0.05	0.06	,403**	-,400**	1.00
	Sig. (2 extremidades)	0.83	0.67	0.60	0.00	0.00	1.00
	N	35.00	69.00	72.00	72.00	72.00	72.00

Fonte: Autora.

Tabela 9 — Matriz de correlação entre fluxos e parâmetros ambientais - Célula C

Correlação de Spearman		FCH4 C	FCO2 C	Vv(m/s)	UR A(%)	T ar°C	Umidade Solo (%)
FCH4C	Coeficiente de Correlação	1.00	-0.09	0.01	,320*	-,378*	0.08
	Sig. (2 extremidades)	1.00	0.58	0.96	0.04	0.02	0.63
	N	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00
FCO2C	Coeficiente de Correlação	-0.09	1.00	-0.06	-0.03	0.14	0.16
	Sig. (2 extremidades)	0.58	1.00	0.71	0.87	0.40	0.14
	N	40.00	87.00	41.00	41.00	41.00	87.00
Vv(m/s)	Coeficiente de Correlação	0.01	-0.06	1.00	0.23	0.09	-0.24
	Sig. (2 extremidades)	0.96	0.71	1.00	0.16	0.58	0.12
	N	40.00	41.00	41.00	41.00	41.00	41.00
UR A (%)	Coeficiente de Correlação	,320*	-0.03	0.23	1.00	-,647**	-0.11
	Sig. (2 extremidades)	0.04	0.87	0.16	1.00	0.00	0.51
	N	40.00	41.00	41.00	41.00	41.00	41.00
T ar°C	Coeficiente de Correlação	-,378*	0.14	0.09	-,647**	1.00	0.02
	Sig. (2 extremidades)	0.02	0.40	0.58	0.00	1.00	0.91
	N	40.00	41.00	41.00	41.00	41.00	41.00
T °C Solo	Coeficiente de Correlação	0.08	0.16	-0.24	-0.11	0.02	1.00
	Sig. (2 extremidades)	0.63	0.14	0.12	0.51	0.91	1.00
	N	40.00	87.00	41.00	41.00	41.00	90.00

Fonte: Autora.

Os resultados obtidos para célula A, mostraram apenas correlações fracas para os fluxos de CH<sub>4</sub> que também pode ser observada na análise dos valores de significância p. Já a correlação entre fluxos de CO<sub>2</sub> mostrou correlação moderada negativa entre a velocidade do vento e o transporte de CO<sub>2</sub> do local ( $\hat{p}s = -0,471$ ),

considerada significativa pela análise de significância ( $p=0,001$ ), que exclui o acaso como fator determinante da correlação observada.

A Célula B, apresentou coeficientes de correlação fraca entre ambos os fluxos e os parâmetros analisados, sem a presença de significância entre as relações que não exclui a  $H_0$ . O mesmo resultado foi observado nas correlações realizadas com relação aos parâmetros e fluxos da Célula C.

Dessa forma, os parâmetros utilizados no estudo não apresentaram correlações fortes e significativas, capazes de influenciar positiva ou negativamente os fluxos de  $CH_4$  e  $CO_2$  das células analisadas no lixão Aurá, sendo necessária a investigação de novos parâmetros.

### **3.4 Conclusão**

A camada de cobertura do aterro não controlado Aurá apresentou de forma geral baixos fluxos de metano no período de medição quando comparado a outras pesquisas realizadas em aterros sanitários. Já os fluxos de dióxido de carbono quantificados acompanham o comportamento esperado em células com idade de resíduos avançada.

No entanto, dada as limitações encontradas na pesquisa, sobretudo quando ao posicionamento de câmaras em pontos estratégicos da célula mais recente, denominada como Célula B, seria necessária a medição de mais pontos espaçados uniformemente nesta célula para confirmação dos fluxos mais baixos do local, sendo necessária a interrupção do tráfego de caminhões nesta, de modo a não interferir na coleta de novos dados.

A existência de fluxo revela que o processo de degradação de matéria orgânica continua existindo no local e com esse permanece a formação de lixiviados que podem causar ou intensificar impactos nas áreas vizinhas, visto que o Aurá não oferece medidas mitigadoras para tais impactos. A correta desativação do aterro não aconteceu o que mantém o local como um passivo ambiental para Região Metropolitana de Belém.

Um aprofundamento do estudo deve ser realizado para avaliar outras características das células e aspectos como o processo de oxidação e sazonalidade dos fluxos no lixão.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O aterro controlado Aurá apesar de sua desativação para resíduos domésticos continua ativo para o recebimento de entulhos e este material depositado ainda cria uma expectativa de renda para catadores e cooperativas que se dividem entre a coleta dos recicláveis no aterro e nas ruas da Região Metropolitana de Belém, em virtude da redução dos resíduos rentáveis ao local.

O trabalho dos catadores ainda conta com a mão de obra de menores de idade em um ambiente de risco à saúde pela exposição a gases de aterro contendo diversos tipos de substâncias incluindo aquelas com propriedades tóxicas, acidentes com a manipulação dos resíduos sem proteção individual adequada, além do risco provocado pela combustão espontânea em pontos do aterro o que mostra a permanência de problemas sociais no Aurá.

A dinâmica de operação atual do aterro também é prejudicada pela falta de manutenção de máquinas e equipamentos, que reduz a eficiência das operações realizadas diariamente.

Quanto a aspectos ambientais ligados a emissão de gases, a pesquisa de campo realizadas em três células, mostrou que apesar da desativação do sistema de queima de biogás do aterro, ainda existe a emissão de metano em menor escala e de dióxido de carbono em maior escala, para atmosfera o que caracteriza o Aterro Aurá como uma fonte de gases de efeito estufa. No entanto não foram identificados parâmetros ambientais que possuam influência significativa sob os fluxos estimados.

A pesquisa de forma geral cumpriu seu objetivo de buscar dados quanto aos aspectos ambientais e condições atuais do aterro não controlado Aurá de modo a dar subsídio a pesquisas complementares e estímulo a novas pesquisas.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2017*. São Paulo, 2017. 112 p.
- ABICHOU, T; POWELSON, D; CHANTON, J.; ESCORIAZA, S. Characterization of methane oxidation at a solid waste landfill. *J. Environ. Eng.* v. 132, p. 220–229, 2006.
- ABUSHAMMALA, M. F.M; BASRI N E. A.; YOUNES, K. M. Seasonal variation of landfill methane and carbon dioxide emissions in a tropical climate. *International Journal of Environment Science and Development*, v. 7, n. 8, p 586-590, 2016.
- AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES & DISEASE REGISTRY (ATSDR). *Landfill gas primer: an overview for environmental health professionals*. ATSDR, 2001. Disponível em: <https://www.atsdr.cdc.gov/HAC/landfill/html/ch2.html>. Acesso em: 26/02/18.
- AKSO PRODUTOS ELETRÔNICOS LTDA (AKSO). *Termo-higroanemômetro*. Disponível em : <https://loja.akso.com.br/produto/termo-higroanemometro-digital-ak821-certificado-de-calibracao-rastreavel-de-temperatura-e-umidade-ambientes-e-velocidade-do-vento-385>. Acesso em: 02/02/2017.
- ARAÚJO, F. Moradores sofrem com fumaça do lixão do aurá. *DOL – Diário Online* 2015. Disponível em: <http://www.diarioonline.com.br/imagens-interna.php?galeria=4241>>. Acesso em: 30/04/2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 13896: Aterros de resíduos não perigosos: critérios para projeto, implantação e operação*. Rio de Janeiro, p. 2-8. ABNT, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 10004: Resíduos sólidos: classificação*. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- ASADI, M.; YUEN, S.T.; BOGNER, J.; CHEN, D.; LIGHTBODY, P. Methane emissions from a municipal waste landfill in South Australia without gas recovery: comparison between field measurements and calimim modelled results. In: INTERNATIONAL WASTE MANAGEMENT AND LANDFILL SYMPOSIUM, 14., 2013, Sardinia, Itália. *Anais...* Sardinia, Itália, 2013. 1 CD-ROM
- BACELAR, H.A.M. *Tratamento de lixiviados produzidos por aterros de resíduos sólidos urbano por meio de evaporação forçada*. 2010. 26f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.
- BARLAZ, M., GREEN, R., CHANTON, J., GOLDSMITH, C., HATER, G. Evaluation of a biologically active cover for mitigation of landfill gas emissions. *Environmental Science and Technology*, v.38, p.4891–4899,2004.



BERTOLLO, S.N; FERNANDES JÚNIOR, J.L; SCHALCH, V. Benefícios da incorporação de borracha de pneus em pavimentos asfálticos. 2002. In: Congresso Interamericano de Engenharia Sanitaria y Ambiental Cancun, México, 29, 30 e 31 de outubro de 2002.

BOCCHIGLIERI, M. M. *A Influência do recebimento de lixiviados dos aterros sanitários da região metropolitana de São Paulo nas estações de tratamento de esgotos do sistema integrado*. 2005. 100f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Saúde Pública da USP. São Paulo, 2005.

BOGNER, J.; SPOKAS, K.; BURTON, E.; SWEENEY, R.; CORONA, V. Landfills as atmospheric methane sources and sinks. *Chemosphere*, v. 31, p. 4119-4130. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/0045-6535\(95\)80012-A](http://dx.doi.org/10.1016/0045-6535(95)80012-A). Acesso em: 12/08/2017.

BORBA, P. F. de Sá; MARTINS, E. M.; CORREA, S. M.; RITTER, E. Emissão de gases do efeito estufa de um aterro sanitário no Rio de Janeiro. *Eng. Sanit. Ambient.* [online]. 2018, v. 23, n.1, pp.101-111. ISSN 1413-4152. <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522018167438>. Acesso em: 26/11/2018.

BÖRJESSON, G.; SVENSSON, B.H. *Interactions between methane oxidation and the formation of nitrous oxide in a landfill cover soil*, Proc. Sardinia '93 International Landfill Conference, p.729-733, 1993.

BÖRJESSON, G.; SVENSSON, B.H. Seasonal and diurnal methane emissions from a landfill and their Regulation by methane oxidation. *Waste Management and Research*, v. 15, n. 1, p. 33-54, Feb. 1997.

BOUWMAN A.F., BOUMANS L.J.M, BATJES N.H. Emissions of N<sub>2</sub>O and NO from fertilized fields: summary of available measurement data. *Global Biogeochemical Cycles*, v. 16, n. 4, p. 6-1-6-13, 2002.

BRASIL. Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010. *Institui a política nacional de resíduos sólidos*; altera a Lei nº. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial [da] União, Brasília, DF: Câmara dos Deputados, n. 81, 2010b.

BREUER, L.; PAPPEN, H.; BUTTERBACH-BAHL, K. N<sub>2</sub>O emission from tropical forest soils of Australia. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, v. 105, n. D21, p. 26353-26367, 2000.

CAMPBELL SCIENTIFIC, Inc. *Hydrosense soil water measurement system-instruction manual*: revision: 7/10, 2017. Disponível em: <https://s.campbellsci.com/documents/us/manuals/hydrosns.pdf>. Acesso em: 07/10/2017

CASTILHOS J. A. B.; LANGE, L. C.; GOMES, L. P.; PESSIN, N. *Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte*. Rio de Janeiro. Ed. Rimas, 2003. 294 p.

CHRISTOPHERSEN, M.; KJELDSEN, P. Field investigations of lateral gas migration and subsequent emission at an old landfill. In: SARDINIA 99, SEVENTH INTERNATIONAL WASTE MANAGEMENT AND LANDFILL SYMPOSIUM, 1999, *Proceedings...* CISA, Environmental Sanitary Engineering Centre, 1999. v. 4.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO E ADMINISTRAÇÃO DA ÁREA METROPOLITANA DE BELÉM (CODEM). *Plano de desenvolvimento da grande Belém: metodologia, estudos básicos, prognósticos, desenvolvimento e sistemas*. Belém, 1975. v. 1.

COLLIER, S. M.; RUARK, M. D.; OATES, L. G.; JOKELA, W. E.; DELL, C. J. Measurement of greenhouse gas flux from agricultural soils using static chambers. *Journal of Visualized Experiments*, v.90, p. 2014. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov.ez3.periodicos.capes.gov.br/pmc/articles/PMC4827936/pdf/jove-90-52110.pdf>. Acesso em: 20/07/2017.

CZEPIEL P.M.; MOSHER, B.; HARRIS, R.C. ; SHORTER, J.H. ; MCMANUS, J.B. ; KOLB, C.E.; ALLWINE, E.; Lamb, C.E. Landfill methane emissions measured by enclosure and atmospheric tracer methods. *Journal of Geophysical Research*, v. 101, n. D11, p. 16711-16719, 1996a.

CZEPIEL, P.M.; MOSHER, B.; CRILL, P. M.; HARRIS, R.C. Quantifying the effect of oxidation on landfill methane emissions. *Journal of Geophysical Research*, v.101, n. D11, p. 16721-16729, 1996b.

DALAL, R.C.; ALLEN, D.E., *Greenhouse gas fluxes from natural ecosystems*. Australian Journal of Botany, v. 56, p. 369-407, 2008.

DANTAS, G.S. Glauber De Souza; LOPES, S.R.M.; PONTES, A.N. *Lixão do Aurá em Belém-PA e a política nacional de resíduos sólidos: tratamento jurídico dado aos catadores*. Revista Direito e Política. Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Ciência Jurídica da UNIVALI, Itajaí, v.10, n.3, 2º quadrimestre de 2015. Disponível em: [www.univali.br/direitoepolitica](http://www.univali.br/direitoepolitica) - ISSN 1980-7791. Acesso em: 17/04/2017.

DENMAN, K.L.; BRASSEUR G.; CHIDTHAISONG, G. *Couplings between changes in the climate system and biogeochemistry*. (apud) SOLOMON, S.; QIN M.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K.B.; TIGOR, M.; MILLER, H.L. *Climate change 2007: the physical science basis*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, p 499–587.2007.

DENMEAD, O. T.: *Chamber systems for measuring nitrous oxide emission from soils in the field*, Soil Sci. Soc. Am. J., 43, 89–95, 1979.

DUNCAN, P.R. *Biochemical ecology of water pollution*, Plenum Press, Nova York, 1972.

EINOLA, J-K.M.; KARHU, A.E.; RINTALA, J.A. Mechanically-biologically treated municipal solid waste as a support medium for microbial methane oxidation to mitigate landfill greenhouse emissions. *Waste Management*, v. 28, n. 1, p. 97-111, 2008.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). *Inventory of U.S Greenhouse Emissions and Sinks:1990-2014*. Washington, 2016.

EVANS, J. D. *Straightforward statistics for the behavioral sciences*. Pacific Grove, CA: Brooks/Cole Publishing.1996.

FERNANDES, G.J. *Estudo de emissão de biogás em um aterro sanitário experimental*.2009.5p. Dissertação (Mestrado em Saneamento) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. Orientações básicas para a operação de aterro sanitário. FEAM. Belo Horizonte.p.36, 2006.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA). Manual de Saneamento. 3º ed. Rev. Brasília, Ministério da Saúde/FUNASA, 2007.

GOUVEIA, N.; PRADO, R.R. Riscos à saúde em áreas próximas a aterros de resíduos sólidos urbanos. *Revista Saúde Pública*, Departamento de Medicina Preventiva. Faculdade de Medicina. Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, Brasil, v. 44, p.859-866, 2010.

GREGORY, R.; REVANS, A.; HILL, M.; MEADOWS, C.; FERGUSON; GRONOW, J. A framework to model human health and environmental risks from landfill gas, Sardinia In: INTERNATIONAL WASTE MANAGEMENT AND LANDFILL SYMPOSIUM, Seventh 99., Cagliari, Italy.1999. p. 605-612. (R&D Technical Report, 271). Disponível em:

[https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/290232/str-p271-e-e.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/290232/str-p271-e-e.pdf). Acesso em:16/09/2018.

HANSON, R.S.; HANSON, T.E. Methanotrophic bacteria. *Microbiological Reviews*, v. 60, n. 2, p. 439-471. Jun,1996.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. IPCC Guidelines For National Greenhouse Gas Inventories. IGES, Kanagawa,2006.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). *Normais climatológicas*. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=tempo/graficos>. Acesso em: 14/03/2017.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). *Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado*. 2 ed. São Paulo: Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo S.A. Compromisso Empresarial para Reciclagem-CEMPRE, Publicação IPT 2622, 2000. 370p,

ISEGNET. *Curso de CIPA no Isegnet* – formação de pessoal na comissão Interna para prevenção de acidentes, 2009. Disponível em: [www.isegnet.com.br](http://www.isegnet.com.br). Acesso em: 30 de abr.2018.

JARRE, P. R.; MEZZALAMA, A. Lessons to be learned from a fatal landfill gas explosion. In: SARDINIA 97 SIXTH INTERNATIONAL LANDFILL SYMPOSIUM, II Italia, *Proceedings...* Italia, 1997. p.497-506.

JOHANSEN, O. J, CARLSON, D. A. Characterization of sanitary landfill leachates. *Water Research*, v. 10, n. 12, p. 1129-1134, 1976.

KÖPPEN, W. *Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra*. Publications In: Climatology. Laboratory of Climatology, p.104, Nova Jersey, Estados Unidos.

KROON, P S, HENSEN A, van den Bulk W C M, JONGEJAN P. A. C, VERMEULEN A.T. The importance of reducing the systematic error due to non-linearity in N<sub>2</sub>O flux measurements by static chambers. *Nutr. Cycl. Agroecosyst*, v 82, p.175–86, 2008.

KUMAR,S; MONDAL,A.N.; GAIKWAD,S.A; DEVOTTA,S; SINGH, R.N. Qualitative assessment of methane emission inventory from municipal solid waste disposal sites: a case study. *Atmospheric Environment*, v. 38, n. 29, p. 4921-4929, 2004.

KUTZBACH L, SCHNEIDER J, SACHS T E A.CO<sub>2</sub> flux determination by closed-chamber methods can be seriously biased by inappropriate application of linear regression. *Biogeosciences*, v. 4, p 1005–25, 2007.

LESSARD, R.; ROCHETTE, P.; TOPP, E.; PATTEY, E.; DESJARDINS, R. L.; BEAUMONT, G. Methane and carbon dioxide fluxes from poorly drained adjacent cultivated and forest sites. *Soil Sci.*, v.74, p.139-146,1994.

LEVY, P. E.; GRAY, A.; LEESON, S. R.; GAIAWYN, J.; KELLY, M. P. C., COOPER, M. D. A., DINSMORE, K. J., JONES, S. K.; SHEPPARD, L. J. Quantification of uncertainty in trace gas fluxes measured by the static chamber method. *Eur. J. Soil Sci.*, v. 62, p.811–821, 2011.

LIMA, L. M. Q. *Lixo: tratamento e biorremediação*. 3 ed, Hemus, 1995. p.9-29.

LIVINGSTON, G. P., HUTCHINSON G. L. Enclosure-based measurement of trace gas exchange: applications and sources of error. *Blackwell Sci.*, p. 14 – 51, 1995.

LOS GATOS RESEARCH (LGR). *Ultra-portable greenhouse gas analyzer*. Manual de usuário modelo 915-001. Disponível em: [www.lgrinc.com](http://www.lgrinc.com). Acesso em: 10/10/2017.

MACIEL, F.J.; JUCÁ, J.F.T. Evaluation of landfill gas production and emissions in a MSW large-scale Experimental Cell in Brazil. *Waste Management*, v. 31, p. 966-977, 2011.

MATOS,F.O *et al*. Impactos ambientais decorrentes do aterro sanitário da região metropolitana de Belém-PA: aplicação de ferramentas de melhoria ambiental. *Caminhos de Geografia*. v.12, n. 39, p.297-305, 2011.

MAURICE, C; LAGERKVIST, A. LFG emission measurements in cold climatic conditions: seasonal variations and methane emissions mitigation, cold regions. *Science and Technology*, v. 36, p. 37-46, 2003.

MCDONALD, I. R. *et al*. Molecular ecology techniques for the study of aerobic methanotrophs. *Applied and Environmental Microbiology*, v. 74, n. 5, p. 1305-15, Mar. 2008.

MONTEIRO, V. E. D. *Análises físicas, químicas e biológicas no estudo do comportamento do aterro sanitário da Muribeca*. 2003. (Tese de Doutorado). Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco.

MORALES, G. P. *Avaliação ambiental dos recursos hídricos, solos e sedimentos na área de abrangência do depósito de resíduos sólidos do Aurá*. 2002. 234 f. Tese (Doutorado) - Centro de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2002.

MURREL, J. C.; McDONALD, I. R.; BOURNE, D. G. Molecular methods for the study of methanotroph ecology. *FEMS Microbiology Ecology*, v. 27, n. 2, p. 103-14, Out. 1998.

NIKIEMA, J.; BRZEZINSKI, R.; HEITZ, M. Elimination of methane generated by biofiltration: a review. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, v. 6, p. 261-84, Out. 2007.

NOZHEVNIKOVA A.N.; LIFSHITZ A.F.; LEBEDEV V.S.; ZAVARIN, G.A. Emissions from methane into the atmosphere from landfills in the former USSR, *Chemosphere*, Vol. 26, p.401-417.1993.

OONK, H. Literature review: methane from landfills: methods to quantify generation, oxidation and emission. *Innovations in Environmental Technology*, Oonkay, Holanda, 2010.

OONK, H.; HENSEN, A.; Mahieu K.; DE VISSCHER, A.; VAN VELTHOVEN F.; WOELDERS, H. Verbeterde methaan oxidatie in toplagen van stortplaatsen. *Apeldoorn*, Holanda.2004.

PELMONT, J. *Bactéries et environnement: adaptations physiologiques*. 1 ed. Grenoble: Presses Universitaires de Grenoble,1993. (Collection Grenoble Sciences).

PMB, Prefeitura Municipal de Belém -. 1997. *Projeto técnico: saneamento ambiental do complexo de destino final de resíduos sólidos do Aurá-Belém-PA*. Belém.

PILLAI,S; PETER, A. E.; SUNIL B.M.; SHRIHARI .S. Soil pollution near a municipal solid waste disposal site in India. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON BIOLOGICAL, CIVIL AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING (BCEE-2014), 2014, Dubai. [*Proceedings...*] Dubai, 2014. p.149-152.

RACHOR I.; STREESE-KLEEBERG J.; GEBERT J. Spatial and temporal variability of gas emissions from old landfills. In: SARDINIA 2009, Twelfth International Waste Management and Landfill Symposium. [*Proceedings...*] S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy, 5-9p, 2009.

RAGHAB,S.M.; MEGUID, A.M.; HEGAZI, H.A. *Treatment of leachate from municipal solid waste landfill*. Cairo, Egito: Housing and Building National Research Center, 2013. p.187-192.

REINHART, D.R.; TOWNSEND, T.G. *Landfill bioreactor design and operation*. Boca Raton: Lewis Publishers, 1998.

REIS, ROBERTO S. *Segurança e saúde do trabalho*. São Paulo: YENDIS, 2012.

RENOU, S; GIVAUDAN, J.G.; POULAIN, S.; DIRASSOUYAN, F.; MOULIN, P., Landfill leachate treatment: review and opportunity, *Journal of Hazardous Materials*, v. 150, n. 3, p. 468-493, 2008.

ROCHETTE, P., ERIKSEN-HAMEL, N.S. Chamber measurements of soil nitrous oxide flux: are absolute values reliable? *Soil Sci. Soc. Am. J.* v 72, p.331–342, 2008.

ROLSTON, D.E. Gas flux. In: KLUTE, A. (ed.). *Methods of soil analysis*, 2 ed. Madison, Wisconsin USA: American Society of Agronomy; Inc. Soil Science Society of America, Inc., 1986. Part. 47, p. 1103-1118.

SANCHEZ, L.E. *Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos*. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 201p.

SAVAGE, K.; PHILLIPS, R.; DAVIDSON, E. High temporal frequency measurements of greenhouse gas emissions from soils, *Biogeosciences*, v.11, p.2709–2720, 2014.

SIEGEL, S. *Estatística não-paramétrica: para as ciências do comportamento*. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. p. 350.

SILVA, T.N.; FREITAS, F.S.N.; CANDIANI, G. Avaliação das emissões superficiais do gás de aterros sanitários de grande porte. *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 18, n. 2, p. 95-104, 2013.

SISINNO, S. L; MOREIRA, C.; COSTA, J. Avaliação da contaminação e poluição ambiental na área de influência do aterro controlado do Morro do Céu, Niterói, Brasil. *Caderno de Saúde Pública*, Rio de Janeiro, p. 515-523, 1996.

SCHARFF, H.; OONK, J.; HENSEN, A. *Quantifying landfill gas emissions in the Netherlands – definition study*. Novem. Utrecht, Holanda, 2000. (Programme Reduction of Other Greenhouse Gases- ROB – Project 374399/9020).

SOBRAL, I.S. *et al.* Avaliação dos impactos ambientais no parque nacional serra de Itabaiana- SE. *Caminhos de Geografia*. v. 8, n. 24, p. 102 - 110, 2007.

SUBAK, S. On evaluating accuracy of national methane inventories. *Environmental Science and Policy*, v. 2, n. 3, p. 229-240, 1999. Disponível em: [http://www.doi:10.1016/S1462-9011\(99\)00017-9](http://www.doi:10.1016/S1462-9011(99)00017-9). Acesso em: 21/10/2018.

TEIXEIRA, P.F. *Oxidação biológica do metano em coberturas de aterros de resíduos sólidos urbanos: dinâmica do processo e aspectos geotécnicos*. 2008. 164 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H.; VINIL, S. *Integrated solid waste management: engineering principles and management issues*. Nova York: Estados Unidos McGraw-Hill Inc., 1993. p. 381-417.

UNITED STATES ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY (USEPA). *Air emissions from municipal solid waste landfills – background Information for proposed Standards and guidelines*. Estados Unidos. Emission Standards Division, 1991.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC).  
*Aurá Landfill Gas Project*. Disponível em:  
<https://cdm.unfccc.int/filestorage/G/I/X/GIXFT4L21E6OWHQR3K78Z0PC9YNDVM/0888%2014%20MR.pdf?t=MUZ8cDJscDFkfDCCkh-QW6B-TddAUd6U54I9>. Acesso em: 19/05/2018. Acesso em: 15/08/2017.

VENTEREA, R.T; PARKIN, T. B.; CARDENAS, L.; PETERSEN, S. O.; PEDERSEN, A.R. 2013. Global research alliance on agricultural greenhouse gases: nitrous oxide chamber methodology guidelines. Disponível em:  
[www.globalresearchalliance.org/research/livestock/activities/nitrous-oxide-chamber-methodology-guidelines](http://www.globalresearchalliance.org/research/livestock/activities/nitrous-oxide-chamber-methodology-guidelines). Acesso em: 03/03/2017.

ZANONI, A, E. Ground water pollution and sanitary landfills: a critical review. *Ground Water*, Weterville, Estados Unidos, v. 10. p. 13. 1972.

## APÊNDICES



## APÊNDICE A – COORDENADAS GEOGRÁFICAS DOS PONTOS (CÉLULAS A E B)

Célula A			Célula B		
Leste (E)	Norte (N)	Pontos	Leste (E)	Norte (N)	Ponto
790859.00	9842951.00	1	790644.00	9842580.00	1
790863.00	9842950.00	2	790649.00	9842579.00	2
790865.00	9842948.00	3	790650.00	9842574.00	3
790864.00	9842944.00	4	790647.00	9842572.00	4
790860.00	9842943.00	5	790642.00	9842572.00	5
790857.00	9842945.00	6	790639.00	9842574.00	6
790855.00	9842948.00	7	790638.00	9842578.00	7
790857.00	9842950.00	8	790641.00	9842581.00	8
790864.00	9842987.00	1	790684.00	9842605.00	1
790866.00	9842985.00	2	790688.00	9842601.00	2
790864.00	9842982.00	3	790687.00	9842598.00	3
790860.00	9842980.00	4	790683.00	9842597.00	4
790857.00	9842981.00	5	790679.00	9842599.00	5
790855.00	9842984.00	6	790677.00	9842602.00	6
790856.00	9842987.00	7	790678.00	9842604.00	7
790860.00	9842988.00	8	790681.00	9842605.00	8
790891.00	9842992.00	1	790685.00	9842643.00	1
790893.00	9842990.00	2	790688.00	9842640.00	2
790892.00	9842988.00	3	790686.00	9842635.00	3
790889.00	9842986.00	4	790680.00	9842635.00	4
790887.00	9842987.00	5	790676.00	9842637.00	5
790885.00	9842989.00	6	790677.00	9842642.00	6
790885.00	9842991.00	7	790679.00	9842645.00	7
790888.00	9842992.00	8	790681.00	9842645.00	8

## APÊNDICE B – COORDENADAS GEOGRÁFICAS DOS PONTOS (CÉLULA C)

Leste (E)	Norte (N)	Ponto	Leste (E)	Norte (N)	Ponto
790700	9843212	A1	790708	9843210	E2
790700	9843210	A2	790708	9843208	E3
790700	9843208	A3	790708	9843206	E4
790700	9843206	A4	790708	9843204	E5
790700	9843204	A5	790708	9843202	E6
790700	9843202	A6	790708	9843200	E7
790700	9843200	A7	790707.958	9843198	E8
790700.159	9843197.862	A8	790707.741	9843196	E9
790700.135	9843195.862	A9	790707.584	9843194	E10
790700.348	9843193.969	A10	790707.576	9843192	E11
790700.43	9843192.003	A11	790710	9843212	F1
790702	9843212	B1	790710	9843210	F2
790702	9843210	B2	790710	9843208	F3
790702	9843208	B3	790710	9843206	F4
790702	9843206	B4	790710	9843204	F5
790702	9843204	B5	790710	9843202	F6
790702	9843202	B6	790710	9843200	F7
790702	9843200	B7	790710.118	9843198	F8
790701.947	9843197.967	B8	790709.71	9843196	F9
790702.101	9843195.804	B9	790709.742	9843194	F10
790702.225	9843193.79	B10	790709.566	9843192	F11
790702.5	9843191.944	B11	790712	9843212	G1
790704	9843212	C1	790712	9843210	G2
790704	9843210	C2	790712	9843208	G3
790704	9843208	C3	790712	9843206	G4
790704	9843206	C4	790712	9843204	G5
790704	9843204	C5	790712	9843202	G6
790704	9843202	C6	790712	9843200	G7
790704	9843200	C7	790711.804	9843198	G8
790703.895	9843197.918	C8	790711.619	9843196	G9
790703.963	9843195.799	C9	790711.64	9843194	G10
790704.077	9843193.839	C10	790711.382	9843192	G11
790703.99	9843191.896	C11	790714	9843212	H1
790706	9843212	D1	790714	9843210	H2
790706	9843210	D2	790714	9843208	H3
790706	9843208	D3	790714	9843206	H4
790706	9843206	D4	790714	9843204	H5
790706	9843204	D5	790714	9843202	H6
790706	9843202	D6	790713.737	9843200	H7
790706	9843200	D7	790713.604	9843198	H8
790705.845	9843198.098	D8	790713.246	9843196	H9
790705.834	9843195.603	D9	790713.278	9843194	H10
790705.835	9843193.72	D10	790712.954	9843192	H11
790705.315	9843191.891	D11	790716	9843212	I1
790708	9843212	E1	790716	9843210	I2

**APÊNDICE C - FLUXOS INDIVIDUAIS DE CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> E COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO R<sup>2</sup> (CÉLULA A)**

(continua)

Hora	FCH4	R <sup>2</sup>	FCO2	R <sup>2</sup>
10:14	4.526	0.77	193.098	0.99
10:17	0.882	0.82	127.223	0.95
10:21	0.854	0.68	86.150	0.91
10:24	0.924	0.75	247.690	0.96
10:30	1.434	0.94	146.317	0.99
10:34	0.346	0.81	89.983	0.98
10:39	2.549	0.92	233.669	0.97
10:45	0.101	0.93	152.737	0.99
10:50	6.600	0.76	94.167	0.98
10:55	5.612	0.73	230.119	0.92
10:59	0.044	0.68	166.149	0.99
11:05	0.581	0.86	292.326	0.99
11:11	0.863	0.95	210.676	1.00
11:17	0.340	0.90	120.754	1.00
11:24	1.620	0.99	247.459	1.00
11:29	1.372	0.40	134.168	1.00
11:40	0.334	1.00	239.953	0.99
11:45	0.033	0.98	127.652	1.00
11:50	0.670	0.98	329.859	1.00
11:55	0.707	0.95	119.565	0.99
12:00	16.340	0.90	353.108	0.96
12:07	0.092	0.99	131.338	0.99
12:12	2.078	0.99	88.911	1.00
12:16	1.232	0.63	81.933	0.98
12:21	0.343	0.99	321.416	1.00
12:25	0.224	0.61	158.484	0.99
12:29	0.883	0.98	315.549	1.00
12:33	0.231	0.90	155.401	1.00
12:37	9.398	0.97	261.744	0.99
12:41	0.475	0.99	277.866	0.98
12:46	1.297	0.98	82.262	0.99
12:51	1.164	0.90	165.471	0.96
13:00	1.320	0.65	13.745	0.41
13:04	0.208	0.12	100.561	0.86
13:10	0.272	0.93	216.241	0.99
13:14	0.366	0.54	34.249	0.92
13:19	22.388	0.99	703.021	0.99
13:24	45.348	0.97	853.453	0.98
13:30	1.885	0.90	289.491	0.98
13:34	4.348	0.24	107.826	0.95
13:39	6.285	0.96	33.607	0.98
13:44	0.967	0.99	293.664	0.99

(conclusão)

Hora	FCH4	R <sup>2</sup>	FCO2	R <sup>2</sup>
13:47	-0.074	0.00	188.895	1.00
13:52	0.114	0.20	29.304	0.98
13:56	10.923	0.99	456.839	0.99
14:01	50.819	0.99	810.472	0.99
14:06	3.052	0.97	307.013	0.98
14:11	3.586	0.14	132.522	0.97

**APÊNDICE D - FLUXOS INDIVIDUAIS DE CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> E COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO R<sup>2</sup> (CÉLULA B)**

(continua)

Hora	FCH <sub>4</sub>	R <sup>2</sup>	FCO <sub>2</sub>	R <sup>2</sup>
8:53	1.639	0.47	31.075	0.75
9:00	0.521	0.13	86.271	0.93
9:05	0.532	0.86	177.937	0.95
9:09	0.650	0.42	233.340	0.99
9:12	2.478	0.27	57.554	0.94
9:15	1.874	0.38	151.236	0.98
9:18	2.300	0.39	37.943	0.96
9:23	-0.701	0.71	410.421	0.99
9:27	-1.650	0.92	6.790	0.36
9:30	0.976	0.97	113.804	0.82
9:34	1.535	0.48	116.462	0.97
9:38	1.785	0.87	49.305	0.84
9:43	1.562	0.27	40.204	0.89
9:47	3.358	0.41	142.448	0.96
9:50	0.380	0.01	18.102	0.55
9:54	1.271	0.58	969.530	0.95
9:58	0.687	0.14	59.374	0.90
10:02	0.708	0.32	113.617	0.92
10:06	0.788	0.82	232.995	0.91
10:10	0.430	0.74	168.295	0.98
10:14	1.468	0.40	37.019	0.93
10:18	1.514	0.43	140.582	0.99
10:22	1.108	0.44	33.656	0.93
10:26	3.672	0.56	296.447	0.99
10:33	0.583	0.95	225.321	0.99
10:37	1.060	0.36	213.689	0.98
10:41	0.619	0.69	133.853	1.00
10:44	1.141	0.92	108.898	0.98
10:49	1.430	0.29	108.342	0.93
10:53	144.185	0.92	848.151	0.92
10:56	35.440	0.98	329.597	0.96
11:01	2.934	0.57	131.184	0.94
11:05	0.771	0.83	179.954	0.97
11:08	3.149	0.93	253.031	0.93
11:11	2.175	0.37	149.845	0.96
11:15	0.430	0.83	100.373	0.98
11:20	-0.071	0.02	51.189	0.83
11:25	53.220	0.96	491.980	0.98
11:29	42.107	0.98	479.071	0.97
11:33	14.259	0.89	375.354	0.97
11:37	0.067	0.21	203.572	0.99

(conclusão)

Hora	FCH4	R <sup>2</sup>	FCO2	R <sup>2</sup>
11:41	5.156	0.73	143.785	0.96
11:44	0.021	0.0004	195.594	0.96
11:48	1.456	0.86	80.129	0.95
11:52	2.628	0.44	56.376	0.97
11:57	27.249	0.92	347.351	0.96
12:01	16.688	0.96	245.851	0.94
12:04	7.485	0.97	372.625	0.95
12:14	19.553	0.85	213.895	0.97
12:20	0.171	0.68	35.262	0.94
12:25	0.706	0.91	50.997	0.87
12:28	0.048	0.50	86.260	0.98
12:32	0.155	0.89	96.408	0.99
12:35	0.033	0.56	208.637	0.98
12:39	0.332	0.06	155.036	0.97
12:44	0.366	0.70	45.157	0.95
12:48	0.054	0.64	41.708	0.94
12:52	13.451	1.00	271.882	1.00
12:56	0.069	0.58	58.855	0.98
13:00	0.606	0.86	36.465	0.95
13:03	0.053	0.42	92.513	0.97
13:07	0.149	0.81	138.099	0.99
13:10	0.215	0.86	149.139	0.99
13:13	-0.509	0.39	1.955	0.04
13:16	0.052	0.13	45.574	0.97
13:18	2.533	0.98	126.862	1.00
13:22	0.080	0.25	29.471	0.88
13:26	0.337	0.61	28.638	0.82
13:29	0.076	0.04	88.447	0.99
13:33	3.243	0.86	15.358	0.97
13:37	1.781	0.10	186.315	0.98
13:42	0.438	0.96	61.040	0.96

**APÊNDICE E - FLUXOS INDIVIDUAIS DE CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> E COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO R<sup>2</sup> (CÉLULA C)**

(continua)

Hora	FCH <sub>4</sub>	R <sup>2</sup>	FCO <sub>2</sub>	R <sup>2</sup>
10:38	-0.027	0.29	90.735	0.98
10:43	1.180	0.97	177.994	0.91
10:49	-0.031	0.41	46.446	0.95
10:54	-0.007	0.02	0.215	0.82
11:01	-0.015	0.04	47.758	0.91
11:06	-0.052	0.41	38.367	0.90
11:10	0.028	0.04	62.070	0.93
11:15	0.020	0.14	140.010	0.98
11:18	1.319	0.98	99.022	0.94
11:23	-0.041	0.01	28.147	0.91
11:26	0.039	0.05	29.759	0.86
12:21	-0.014	0.21	22.021	0.90
12:17	0.039	0.31	110.870	0.98
12:12	0.816	0.85	92.717	0.93
12:07	0.295	0.93	68.956	0.97
12:03	-0.023	0.12	19.512	0.90
11:55	-0.020	0.13	74.277	0.95
11:50	-0.123	0.54	47.850	0.92
11:46	-0.040	0.23	48.972	0.93
11:42	-0.028	0.29	27.665	0.91
11:36	-0.006	0.00	33.497	0.93
11:30	-0.016	0.02	36.947	0.97
12:25	0.691	0.98	131.240	0.98
12:30	0.446	0.97	105.620	0.98
12:35	-0.024	0.04	56.949	0.93
12:40	-0.020	0.12	42.971	0.90
12:44	-0.031	0.31	17.987	0.67
12:48	0.015	0.08	55.224	0.96
12:51	0.001	0.00	57.836	0.96
12:55	-0.083	0.53	44.476	0.95
13:00	0.051	0.61	44.668	0.91
13:04	-0.027	0.29	66.893	0.97
13:08	0.015	0.11	23.355	0.81
13:12	0.153	0.30	28.899	0.93
13:16	0.000	0.00	20.804	0.90
13:23	0.017	0.22	58.992	0.98
13:26	0.004	0.02	30.167	0.96
13:31	0.049	0.69	56.041	0.96
13:36	0.022	0.36	43.917	0.94
13:39	-0.024	0.18	70.454	0.97
13:46	-0.013	0.06	89.365	0.98
13:50	0.012	0.03	57.681	0.91
13:56	0.059	0.72	102.073	0.93
14:00	0.011	0.03	66.908	0.94

(conclusão)

Hora	FCH4	R <sup>2</sup>	FCO2	R <sup>2</sup>
13:06	0.048	0.77	34.614	1.00
13:10	-0.161	0.76	61.355	1.00
13:14	24.024	0.99	364.211	1.00
13:17	0.029	0.34	69.916	0.99
13:20	0.357	0.48	108.200	1.00
13:22	0.162	0.82	252.138	1.00
13:26	-0.060	0.74	74.669	0.99
13:30	-0.061	0.77	185.473	0.99
13:33	0.205	0.80	123.279	1.00
13:37	-0.221	0.86	65.483	0.99
13:41	0.237	0.85	80.246	1.00
12:19	-0.033	0.93	70.992	1.00
12:23	-0.051	0.78	75.106	1.00
12:28	-0.045	0.80	80.128	0.98
12:32	-0.058	0.84	34.844	0.99
12:36	0.092	0.95	43.248	0.99
12:40	0.064	0.63	38.402	0.97
12:46	0.063	0.62	41.723	0.99
12:50	0.438	0.97	158.780	0.98
12:54	-0.085	0.75	176.712	0.99
12:57	-0.134	0.81	85.465	0.99
13:02	-0.150	0.73	100.016	0.99
11:21	-0.048	0.73	116.447	0.99
11:25	-0.051	0.55	42.952	0.99
11:31	1.636	0.99	222.929	0.99
11:36	-0.065	0.81	88.794	1.00
11:40	0.435	0.97	186.477	0.99
11:45	0.447	0.99	52.524	1.00
11:50	0.818	0.99	307.976	0.99
11:55	0.033	0.72	104.092	1.00
12:03	-0.021	0.58	89.821	1.00
12:07	-0.099	0.87	61.135	0.99
12:12	0.137	0.82	46.485	0.81
10:35	2.799	0.94	277.024	1.00
10:39	0.029	0.62	40.980	0.99
10:43	0.072	0.48	75.378	0.99
10:47	0.062	0.50	62.897	1.00
10:52	0.023	0.47	79.372	0.99
10:56	1.326	0.99	75.539	0.99
11:00	0.078	0.82	150.542	1.00
11:04	0.030	0.61	35.776	1.00
11:09	0.021	0.71	50.933	1.00
11:12	-0.035	0.52	97.261	0.98
11:16	-0.134	0.96	216.252	0.99
10:26	-0.020	0.72	97.079	0.99
10:31	0.123	0.89	80.884	1.00



## APÊNDICE F – PARÂMETROS AMBIENTAIS (CÉLULA A)

(continua)

V v (m/s)	UR A (%)	T ar°C	Umidade Solo (%)
1.40	55.00	33.70	9.00
0.50	55.00	33.00	16.00
4.50	55.20	33.10	4.00
1.80	53.10	35.70	1.00
2.70	52.30	36.50	14.00
2.10	50.30	38.80	5.00
0.40	50.20	40.50	8.00
1.80	40.70	42.20	36.00
4.30	44.40	39.80	7.00
1.10	44.20	38.70	16.00
1.30	40.20	37.80	3.00
1.70	36.80	42.70	1.00
0.50	34.00	44.20	1.00
1.00	33.70	44.00	4.00
0.80	35.80	41.70	8.00
1.40	31.50	43.60	32.00
0.90	34.80	42.60	3.00
0.60	32.60	43.60	11.00
1.60	33.30	42.40	1.00
2.90	37.70	40.20	1.00
1.00	39.30	38.40	4.00
1.20	41.60	37.70	7.00
2.20	40.50	37.50	5.00
2.00	43.60	37.30	3.00
1.00	41.10	37.20	3.00
4.10	42.70	37.50	10.00
1.00	40.60	37.60	1.00
1.70	42.40	37.80	1.00
1.80	41.30	37.50	4.00
0.90	41.70	37.70	7.00
2.20	43.10	37.50	5.00
1.40	40.90	37.70	3.00
4.90	40.10	38.60	1.00
2.20	33.70	41.50	8.00
3.40	31.50	42.00	2.00
2.10	32.50	43.30	12.00
0.90	30.90	43.80	3.00
1.00	26.60	46.00	5.00
2.30	24.30	47.60	6.00
2.80	22.20	47.60	1.00
4.80	29.30	43.40	1.00
0.80	29.20	39.90	7.00

(conclusão)

V v (m/s)	UR A (%)	T ar°C	Umidade Solo (%)
3.30	36.10	39.00	2.00
1.20	41.30	38.10	12.00
1.60	43.00	36.30	3.00
0.30	42.30	36.80	5.00
2.30	41.90	37.50	6.00
0.50	43.00	36.90	1.00

## APÊNDICE G – PARÂMETROS AMBIENTAIS (CÉLULA B)

(continua)

V v (m/s)	URA (%)	T ar°C	Umidade Solo(%)
2.90	73.80	29.00	3.00
2.10	65.00	32.90	5.00
3.50	58.60	34.10	1.00
2.50	59.80	33.90	2.00
1.10	59.20	33.60	10.00
1.40	58.60	33.90	7.00
3.00	56.50	35.60	2.00
2.90	54.90	35.90	6.00
2.70	47.30	39.90	1.00
0.60	42.30	40.50	2.00
0.70	34.40	43.30	2.00
1.30	39.30	40.70	4.00
1.80	41.60	41.90	3.00
1.60	39.70	42.70	1.00
0.90	34.50	44.60	1.00
1.40	38.10	42.10	1.00
0.70	42.70	40.10	3.00
1.90	41.80	40.90	2.00
1.00	46.50	37.90	2.00
0.90	43.20	39.20	2.00
1.20	41.30	40.60	2.00
1.70	41.20	40.40	3.00
0.50	37.40	42.10	1.00
1.40	30.30	45.60	1.00
1.40	55.60	36.00	2.00
4.20	55.10	36.20	5.00
1.30	55.30	36.40	1.00
1.20	53.50	36.60	1.00
1.10	51.70	37.30	9.00
0.50	51.30	37.40	5.00
0.40	45.90	40.80	2.00
1.20	44.80	39.90	5.00
1.30	40.00	42.30	1.00
1.60	41.30	40.40	2.00
1.30	35.90	41.70	1.00
1.70	36.70	42.10	4.00
1.60	30.60	44.70	2.00
0.40	31.70	46.40	1.00
0.60	27.30	47.30	1.00
0.30	32.50	43.70	1.00
2.60	31.20	44.20	2.00
1.70	35.70	41.40	2.00
1.60	30.10	45.40	2.00

(conclusão)

V v (m/s)	URA (%)	T ar°C	Umidade Solo(%)
1.90	29.80	46.20	1.00
0.30	26.50	46.60	1.00
0.90	25.40	48.70	2.00
1.70	30.10	46.60	1.00
1.90	29.50	45.80	1.00
1.30	44.60	39.20	1.00
1.70	48.50	37.80	4.00
2.40	47.70	38.10	1.00
1.50	44.40	40.10	1.00
1.10	46.30	39.70	7.00
1.30	43.00	39.80	4.00
2.80	45.00	40.10	1.00
1.70	48.00	39.50	3.00
1.40	30.00	44.60	1.00
3.10	36.40	41.50	2.00
0.30	31.80	43.30	1.00
1.20	35.10	41.60	3.00
0.30	33.30	42.50	2.00
2.10	36.70	42.10	1.00
0.50	40.80	40.70	1.00
1.70	41.50	40.30	1.00
1.30	34.40	42.60	1.00
0.50	39.00	39.60	2.00
0.60	38.80	39.20	2.00
1.20	40.60	37.70	1.00
3.70	44.70	36.10	1.00
1.00	43.00	37.60	2.00
0.70	43.70	38.00	1.00
1.30	47.30	36.30	1.00

## APÊNDICE H – PARÂMETROS AMBIENTAIS (CÉLULA C)

(continua)

V v (m/s)	UR A (%)	T ar°C	P (mmHg)	T °C Solo	Ponto	T °C Solo	Ponto
0.00	43.2	40.1	754	35.70	1	37.70	42
0.80	40.9	40.7	754	38.00	2	37.80	43
6.10	42.5	38.6	754	33.80	3	38.20	44
3.50	42.5	41.2	754.1	34.50	4	34.10	45
3.30	40.3	39.4	753.9	33.10	5	35.70	46
0.70	41.6	40.1	754	33.80	6	43.00	47
1.70	43.2	40	753.8	34.10	7	35.40	48
3.70	43.3	44.2	753.9	37.60	8	36.00	49
3.70	37.7	40.9	753.9	34.60	9	35.30	50
5.40	43.1	38.6	753.8	34.50	10	36.40	51
5.90	43.2	38.2	753.8	35.10	11	41.80	52
1.40	44.3	37.6	753.8	34.50	12	41.00	53
1.60	39.0	41.5	753.8	38.00	13	38.00	54
2.70	37.0	41.2	753.8	36.30	14	41.70	55
1.00	36.2	42.5	753.7	34.60	15	33.10	56
4.00	30.2	48.2	753.7	32.70	16	33.60	57
1.50	24.5	49.2	753.6	36.10	17	34.30	58
4.30	28.0	47	753.6	37.30	18	36.90	59
0.70	27.7	46.2	753.6	35.80	19	33.10	60
1.10	31.4	43.1	753.5	34.00	20	32.10	61
0.60	35.8	41.5	753.4	36.10	21	35.60	62
0.40	34.2	40.8	753.3	38.40	22	38.10	63
0.40	34.3	41.4	753.3	33.00	23	41.00	64
0.00	36.0	40.9	753.3	33.70	24	36.30	65
0.50	37.4	40.1	753.2	33.10	25	37.90	66
0.50	37.1	39.2	753.1	35.40	26	33.30	67
0.00	37.6	40.5	753.1	35.10	27	34.30	68
0.50	37.2	40.9	753	33.30	28	35.50	69
0.00	37.2	40.6	753	40.20	29	34.00	70
0.60	38.8	39.3	752.9	38.10	30	33.40	71
0.00	40.1	38.8	752.9	35.20	31	33.60	72
0.00	41.6	38.4	752.8	38.90	32	39.80	73
0.80	40.2	39.2	752.7	37.10	33	35.00	74
1.20	37.6	39.7	752.6	33.30	34	34.90	75
0.00	36.0	40.5	752.5	36.60	35	32.40	76
0.40	36.4	40.5	752.5	40.90	36	34.20	77
0.00	35.3	40.8	752.4	35.00	37	35.50	78
0.00	35.6	41.1	752.4	37.80	38	34.60	79
2.20	34.1	40.8	752.4	38.10	39	31.80	80
0.40	36.1	40.4	752.2	37.80	40	30.40	81
1.30	37.0	39.4	752.2	37.30	41	31.20	82
						30.60	83
						37.60	84
						35.60	85

