



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS E
SANEAMENTO

Késsya Rayanne de Araújo Santos

**MODELAGEM DO POTENCIAL DE GERAÇÃO
SUSTENTÁVEL DE BIOENERGIA A PARTIR DE ATERROS
SANITÁRIOS**

MACEIÓ

2022

KÉSSYA RAYANNE DE ARAÚJO SANTOS

**MODELAGEM DO POTENCIAL DE GERAÇÃO
SUSTENTÁVEL DE BIOENERGIA A PARTIR DE ATERROS
SANITÁRIOS**

Dissertação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento.

Orientadora:
Prof^a. Dr.^a Nélia Henriques Callado

MACEIÓ

2022

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecária: Taciana Sousa dos Santos – CRB-4 – 2062

S237m Santos, Késsya Rayanne de Araújo.

Modelagem do potencial de geração sustentável de bioenergia a partir de aterros sanitários / Késsya Rayanne de Araújo Santos. – 2022.

184 f.: il. color.

Orientadora: Nélia Henriques Callado.

Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) –
Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-
Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento. Maceió, 2022.

Bibliografia: f. 133-137.

Apêndices: f. 139-178.

Anexos: f. 180-184.

1. Aproveitamento de resíduos sólidos. 2. Bioenergia. 3. Biogás. 4. Aterros sanitários. I. Título.

CDU: 620.97


Folha de Aprovação

KESSYA RAYANNE DE ARAUJO SANTOS

MODELAGEM DO POTENCIAL DE GERAÇÃO SUSTENTÁVEL DE BIOENERGIA A PARTIR DE ATERROS SANITÁRIOS


Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito para obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento.

Em: 06 /07 /2022


Documento assinado digitalmente
 NELIA HENRIQUES CALLADO
Data: 13/09/2022 13:22:45-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof^a. Dr^a. Nélia Henriques Callado
(Orientadora - PPGRHS/
CTEC/UFAL)


Banca examinadora:

Documento assinado digitalmente
 EDUARDO LUCENA CAVALCANTE DE AMORIM
Data: 12/09/2022 11:54:38-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr. Eduardo Lucena Cavalcante de Amorim
(Examinadora Interna – PPGRHS/ CTEC/UFAL)

Documento assinado digitalmente
 KARINA RIBEIRO SALOMON
Data: 13/09/2022 08:15:07-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof^a. Dr^a. Karina Ribeiro Salomon
(Examinadora Interna – PPGRHS/ CTEC/UFAL)

Documento assinado digitalmente
 ALESSANDRA LEE BARBOSA FIRMO FERREI
Data: 12/09/2022 09:13:14-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof^a. Dr^a. Alessandra Lee Barbosa Firmo
(Examinadora Externa à Instituição – IFPE)

Modelagem do potencial de geração sustentável de bioenergia a partir de aterros sanitários

RESUMO

O aproveitamento dos resíduos sólidos urbanos para produção sustentável de bioenergia é mais do que uma diversificação da matriz energética de um país, é uma necessidade ambiental, econômica e social. O aproveitamento do biogás é uma alternativa para produção de bioeletricidade devido ao seu alto poder calorífico, além da captura e sequestro de carbono, que leva a emissões negativas e, conseqüentemente, à mitigação das mudanças climáticas. Assim, encontrar formas economicamente viáveis e sustentáveis de aproveitamento desses resíduos constitui-se em uma preocupação de toda a sociedade e a aplicação de modelos matemáticos para a estimativa do potencial de produção de biogás em aterros sanitários torna-se plausível, tanto do ponto de vista energético, quanto do ponto de vista ambiental. O presente estudo visa, portanto, através de uma modelagem matemática adequada, estimar a produção de metano e potencial de bioeletricidade a partir dos quatro aterros sanitários existentes em Alagoas, localizados em regiões climáticas distintas. Para tal, fez-se necessário o levantamento de informações da área de estudo visando a sua caracterização e obtenção dos dados de entrada do modelo utilizado: Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas - IPCC (2006). Para tanto foram levantados dados relevantes tais como a quantidade média e a composição gravimétrica dos RSU depositados nos aterros sanitários e, as características climáticas dos aterros estudados. O estudo da modelagem evidenciou que a geração per capita e composição gravimétrica dos RSU, resultado dos aspectos socioeconômicos, influenciou diretamente no cálculo do potencial de geração de metano nos aterros sanitários, tendo em vista que cada componente do resíduo possui um teor de carbono orgânico degradável - DOC distinto. Enquanto que as condições ambientais e fisográficas dos aterros sanitários interferiram na velocidade de degradação (k) dos resíduos e no tempo de geração de metano, afetando significativamente a geração de metano e conseqüentemente de energia elétrica após o encerramento do aterramento dos resíduos, em relação a sua produtividade durante a vida útil. O estudo do potencial de geração de energia elétrica evidenciou que, a partir do primeiro ano de geração até o ano de 2056, os aterros sanitários de Maceió, Metropolitano, Agreste e CIGRES tem capacidade de atender em média 33.586, 32.196, 14.461 e 12.090 residências, respectivamente no período analisado. Com isso, nota-se que o aproveitamento do biogás gerado nos aterros sanitários deve ser fortalecido, pois reduz significativamente as emissões de GEE, podendo adicionalmente gerar energia.

Palavras-Chave: Aterro Sanitário, Biogás, Resíduos Sólidos Urbanos

Modelling the potential for sustainable generation of bioenergy from landfills

ABSTRACT

The use of urban solid waste for the sustainable production of bioenergy is more than a diversification of the energy matrix of a country, it is an environmental, economic and social necessity. The use of biogas is an alternative for the production of bioelectricity due to its high calorific power, besides the capture and sequestration of carbon, which leads to negative emissions and, consequently, to the mitigation of climate change. Thus, finding economically feasible and sustainable ways to use this waste is a concern of the whole society and the application of mathematical models for estimating the potential production of biogas in landfills becomes plausible, both from the energy point of view, as from the environmental point of view. Therefore, the present study aims at, by means of an adequate mathematical modelling, estimating the methane production and bioelectricity potential from the four existing landfills in Alagoas, located in different climatic regions. For such, it was necessary to survey the information of the study area aiming at its characterization and obtaining the input data of the model used: Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC (2006). To this end, relevant data were collected, such as the average amount and gravimetric composition of SUW deposited in landfills and the climatic characteristics of the landfills studied. The modeling study showed that the per capita of MSW and gravitational composition of MSW, a socioeconomic result directly in the calculation of metal generation in the aspects of sanitary landfills, considering that each component has a different degradable organic carbon content - DOC. While environmental conditions and sanitary landfills interfere in the speed of waste pollution and in the generation time of electric energy, significantly affecting the generation of electric energy after the landfill of the residues, in relation to its productivity to its useful life. The study of the electric power generation potential shows that, from the first year of generation until the year 2056, the sanitary landfills of Maceió, Metropolitano, Agreste and CIGRES have the capacity to serve an average of 33,586, 32,196, 14,461 and 12,090 households. , respectively in the full period. With energy, it should be noted that the use of the generated biogas must be for landfill, as it significantly reduces as a GHG resource, and may be additionally significant.

Key words: Landfill, Biogas, Municipal Solid Waste

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Plano de destinação Final dos Resíduos Sólidos no Estado de Alagoas (t/dia).	29
Figura 2 - Mapa de localização e atuação das Centrais de Tratamento de Resíduos do Estado de Alagoas.	31
Figura 3 - Fases de estabilização dos resíduos sólidos urbanos.	33
Figura 4 – Estrutura Analítica do Projeto.	50
Figura 5 - Localização das Centrais de Tratamento de Resíduos Sólidos de Alagoas.	51
Figura 6 - Mapa de localização e vista aérea da CTR Maceió.	61
Figura 7 - Precipitação acumulada mensal e temperaturas médias de Maceió.	62
Figura 10 - Mapa de localização e vista aérea da CTR Metropolitana.	64
Figura 11 - Precipitação acumulada mensal e temperaturas médias de Pilar.	65
Figura 14 - Componentes da Usina de cogeração de energia elétrica através do biogás.	67
Figura 15 - Planta de cogeração de energia elétrica através do biogás gerado no aterro de Pilar.	68
Figura 18 - Mapa de localização e vista aérea da CTR do Agreste Alagoano.	69
Figura 19 - Precipitação acumulada mensal e temperaturas médias de Craíbas.	70
Figura 23 - Drenagem de chorume e de gases do aterro sanitário do Agreste.	72
Figura 25 - Mapa de localização e vista aérea do aterro do CIGRES.	73
Figura 26 - Precipitação acumulada mensal e temperaturas médias de Olho D'água das Flores.	74
Figura 30 – Drenos de biogás do aterro do CIGRES.	75
Figura 8 - Mapa de solos do município de Maceió.	156
Figura 9 – Fluxograma da Estação de Tratamento do Lixiviado – ETL de Maceió.	159
Figura 12 - Mapa de solos do município de Pilar.	160
Figura 13 – Unidades da CTR Metropolitana.	161
Figura 16 – Fluxograma 1: Sistema de tratamento de lixiviado bruto da CTR Metropolitana.	163
Figura 17 - Fluxograma 2: Sistema de tratamento por osmose reversa da CTR Metropolitana.	163
Figura 20 - Mapa de solos do município de Craíbas.	165
Figura 21 – Projeto da CTR Agreste.	167
Figura 22 – Unidades da CTR Agreste.	167
Figura 24 - Sistema de tratamento de lixiviado bruto da CTR Agreste.	169
Figura 27 - Mapa de solos do município de Olho D'água das Flores.	171
Figura 28 – Sistema de drenagem de águas pluviais do CIGRES.	172
Figura 29 - Célula de recebimento de resíduos classe IIA do aterro sanitário do CIGRES.	173
Figura 31 – Lixiviado gerado no aterro do CIGRES.	174
Figura 32 - Ilustração do sistema de tratamento de lixiviado do aterro do CIGRES.	174

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Sugestões de valores pelo EMASP (2004) de k de acordo com a precipitação anual.	44
Tabela 2 - Constantes de degradação (k), sugeridos pelo IPCC (2006) para cada tipo de material.	44
Tabela 3 - Sugestões de valores de L_0 por tipo de resíduo orgânico.	45
Tabela 4 - Potencial de geração de metano (L_0), velocidade de degradação e geração de CH_4 (k), tempo de meia vida ($t_{1/2}$) e coeficiente de correlação experimental (R^2).	46
Tabela 5 - Estudos para determinação do potencial de geração de biogás/ CH_4	48
Tabela 6 - Usinas termelétricas movidas a biogás de aterro sanitário em operação no Brasil.	49
Tabela 7 - Equações matemáticas para estimativas de crescimento populacional.	53
Tabela 8 - Taxa de Geração per Capita de resíduos sólidos urbanos por faixa de população.	54
Tabela 9 - Fração de carbono orgânico degradável nos diversos componentes dos RSU.	57
Tabela 10 - Valores recomendados do fator de correção do carbono (MCF).	58
Tabela 11 – Indicadores socioeconômicos de Maceió.	63
Tabela 12 – Indicadores socioeconômicos dos municípios integram a CTR Metropolitana.	68
Tabela 13 – Indicadores socioeconômicos dos municípios que integram a CTR Agreste.	72
Tabela 14 - Indicadores socioeconômicos dos municípios que destinam seus RSU para o aterro do CIGRES.	76
Tabela 15 – Síntese da principais características dos aterros estudados	78
Tabela 16 – Equação de crescimento populacional de melhor ajuste aos dados de Maceió.	79
Tabela 17 - Relatório mensal da quantidade (toneladas) e <i>per capita</i> de resíduo Classe II A destinados à CTR Maceió de janeiro e fevereiro de 2021.	84
Tabela 18 - Relatório mensal da quantidade (toneladas) e <i>per capita</i> de resíduo Classe II A destinados à CTR Maceió no ano de 2020.	85
Tabela 19 – Dados anuais da geração per capita de RSU de 2001 a 2021 de Maceió.	85
Tabela 20 – Comparativo da estimativa de per capita de Maceió.	86
Tabela 21 – Crescimento de geração per capita de RSU para Maceió entre 2022 e 2039.	86
Tabela 22 - Relatório da quantidade (toneladas) e <i>per capita</i> de resíduo Classe II A destinados à CTR Metropolitana no ano de 2020 e 2021.	88
Tabela 23 - Crescimento de geração per capita de RSU referente a CTR Metropolitana entre 2022 e 2045.	90
Tabela 24 - Relatório da quantidade (toneladas) de resíduo Classe II A destinados à CTR Agreste no ano de 2020 e 2021.	91
Tabela 25 - Crescimento de geração per capita de RSU referente a CTR Agreste entre 2022 e 2046.	92
Tabela 26 - Crescimento de geração per capita de RSU referente a CTR CIGRES entre 2022 e 2036.	94
Tabela 27 - Quantidade de RSU aterrados na CTR Maceió entre os anos de 2022 e 2039.	96
Tabela 28 – Quantidade de RSU aterrados na CTR Metropolitana entre os anos de 2022 e 2045.	97
Tabela 29 - Quantidade de RSU aterrados na CTR Agreste entre os anos de 2022 e 2046.	98
Tabela 30 - Quantidade de RSU aterrados no aterro do CIGRES entre os anos de 2022 e 2036.	99
Tabela 31 - Caracterização gravimétrica dos RSU destinados à CTR Maceió.	101
Tabela 32 - Composição gravimétrica média dos RSU da CTR Metropolitana.	102
Tabela 33 - Composição gravimétrica média dos RSU da CTR Agreste.	103

Tabela 34 - Composição gravimétrica média dos RSU do aterro do CIGRES.	103
Tabela 36 - Relação entre a composição gravimétrica e o teor de DOC dos RSU.	104
Tabela 37 – Potencial de geração de metano nos aterros sanitários de Alagoas.	117
Tabela 38 - Equações de crescimento populacional de melhor ajuste aos municípios da CTR Metropolitana.	139
Tabela 39 - Equações de crescimento populacional de melhor ajuste aos municípios da CTR Agreste.	140
Tabela 40 - Equações de crescimento populacional dos municípios do aterro do CIGRES. .	141
Tabela 41 - Projeção populacional urbana dos municípios que destinam seus RSU para CTR Metropolitana dos anos: 2022 – 2045.	142
Tabela 42 - Projeção populacional urbana dos municípios que destinam seus RSU para CTR Agreste dos anos: 2022 – 2046.	144
Tabela 43 - Projeção populacional urbana dos municípios que destinam seus RSU para aterro do CIGRES.	145
Tabela 44 - Quantidade de metano gerado estimado pelo modelo IPCC (2006) na CTR Maceió entre os anos de 2022 e 2056.	146
Tabela 45 - Quantidade de metano gerado estimado pelo modelo IPCC (2006) na CTR Metropolitana entre os anos de 2022 e 2056.	147
Tabela 46 - Quantidade de metano gerado estimado pelo modelo IPCC (2006) no aterro do CIGRES entre 2022 e 2056.	148
Tabela 47 – Estimativa de metano gerado nos aterros sanitários de Alagoas.	149
Tabela 48 - Potência e Energia disponíveis na CTR Maceió entre os anos de 2022 e 2056. .	150
Tabela 49 – Potência e Energia disponíveis na CTR Metropolitana entre os anos de 2022 e 2056.	151
Tabela 50 - Potência e Energia disponíveis na CTR Agreste entre os anos de 2022 e 2056. .	152
Tabela 51 - Potência e Energia disponíveis no aterro do CIGRES entre os anos de 2022 e 2056.	153
Tabela 52 - Estimativa da Energia Elétrica disponível a partir do metano estimado nos aterros sanitários de Alagoas.	154
Tabela 53 - Aproveitamento e representatividade da ocupação do terreno.	166
Tabela 54 - Caracterização gravimétrica dos municípios da CTR Metropolitana.	176
Tabela 55 - Caracterização gravimétrica dos municípios que destinam seus RSU para a CTR Agreste.	177
Tabela 56 - Caracterização gravimétrica dos municípios que destinam seus RSU para o aterro do CIGRES.	178

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Legislação Aplicável ao tema.	21
Quadro 2 - Resoluções CONAMA aplicáveis ao tema.	22
Quadro 3 - Portarias, Instruções e outras Resoluções que tratam de Resíduos Sólidos no Brasil.	23
Quadro 4 - Normas que tratam dos Resíduos Sólidos no Brasil.	24
Quadro 5 - Legislação estadual aplicada ao assunto.	27
Quadro 6 – Plano de destinação Final dos Resíduos Sólidos no Estado de Alagoas (t/dia). ...	29
Quadro 7 - Consórcios Regionais e Centrais de Tratamento de Resíduos Sólidos de Alagoas.	30
Quadro 8 - Parâmetros de entrada no modelo IPCC (2006) multicomponentes.	59
Quadro 9 - Lista de municípios que destinam seus resíduos para a CTR Metropolitana.	66
Quadro 10 - Lista de municípios que destinam seus resíduos para a CTR Agreste.	71
Quadro 11 - Lista de municípios que destinam seus resíduos para a aterro do CIGRES.	75

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABREN - Associação Brasileira de Recuperação Energética de Resíduos

CTR - Central de Tratamento de Resíduos

DOC – Carbono Orgânico Degradável

GDL – Gás de lixo

GEE - Gases de efeito estufa

PBMC - Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas

PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos

PNMC - Política Nacional sobre Mudança do Clima

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

SISNAMA - Sistema Nacional do Meio Ambiente

“Não sabes, não ouviste que o eterno Deus, o Senhor, o Criador dos fins da terra, nem se cansa nem se fatiga? É inescrutável o seu entendimento. Dá força ao cansado, e multiplica as forças ao que não tem nenhum vigor. Os jovens se cansarão e se fatigarão, e os moços certamente cairão; Mas os que esperam no Senhor renovarão as forças, subirão com asas como águias; correrão, e não se cansarão; caminharão, e não se fatigarão.”

(Isaías 40:28-31)

DEDICATÓRIA

A Deus, meu esposo, minha família e a professora Nélia Callado.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me mostrar o caminho que leva à vida, por sua presença que me enche de paz, por seu perfeito amor, por renovar as minhas forças, por me trazer felicidade e pelas pessoas tão maravilhosas que colocou em minha jornada e que contribuem constantemente para meu crescimento pessoal/profissional, especialmente: Wellington, meu esposo; Rosimeire e Cláudio, meus pais; Roney, meu irmão; Ayla, minha sobrinha; Creuza, minha vó; tias Iete e Leide; Nélia Callado, minha orientadora e amiga.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
2. OBJETIVOS.....	18
2.1. Objetivo geral	18
2.2. Objetivos específicos	18
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
3.1. Resíduos Sólidos Urbanos	19
3.1.1. Breve descrição e classificação	19
3.1.2. Aspectos Legais.....	20
3.3.3 Panorama dos RSU no Estado de Alagoas	28
3.2. Aterros Sanitários e Produção de Biogás.....	32
3.3. Emissões de GEE e o Aproveitamento Energético do Biogás.....	36
3.4. Modelos Matemáticos de Estimativa da Produção do Biogás	38
3.4.1. Modelo Scholl-Canyon.....	39
3.4.2. Modelo LandGEM Version 3.02	40
3.4.3. Modelo IPCC (2006)	41
3.4.4. Parâmetros L_0 e k	43
3.4.5. Aplicações	46
4. METODOLOGIA.....	50
4.1. Diagnóstico da área de estudo	50
4.2. Estudo populacional.....	52
4.3. Estimativa da geração <i>per capita</i> de RSU dos municípios (PCG)	53
4.4. Análise do percentual de coleta de RSU (R)	55
4.5. Cálculo da quantidade de RSU aterrado	55
4.6. Levantamento da composição gravimétrica dos RSU dos aterros sanitários	56
4.7. Hipóteses assumidas na aplicação do modelo adotado.....	56
4.8. Avaliação da interferência das características dos aterros na produção de biogás	59
4.9. Verificação do potencial de geração de energia elétrica em cada CTR.....	59
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	61
5.1. Diagnóstico das áreas de estudo	61
5.1.1. CTR Maceió	61
5.1.2. CTR Metropolitana	64
5.1.3. CTR Agreste	69
5.1.4. Aterro do CIGRES	73
5.1.5. Considerações gerais sobre os aterros	76
5.2. Estudo Populacional	79
5.2.1. CTR Maceió	79

5.2.2.	CTR Metropolitana.....	80
5.2.3.	CTR Agreste	81
5.2.4.	Aterro do CIGRES	82
5.2.5.	Considerações gerais sobre o Estudo Populacional.....	83
5.3.	Estimativa da geração per capita de RSU	84
5.3.1.	CTR Maceió	84
5.3.2.	CTR Metropolitana.....	87
5.3.3.	CTR Agreste	90
5.3.4.	Aterro do CIGRES	93
5.3.5.	Considerações gerais sobre a Estimativa da geração per capita de RSU	94
5.4.	Quantidade de RSU Aterrados.....	95
5.4.1.	CTR Maceió	95
5.4.2.	CTR Metropolitana.....	96
5.4.3.	CTR Agreste	97
5.4.4.	Aterro do CIGRES	98
5.4.5.	Considerações gerais sobre a Quantidade de RSU Aterrados	100
5.5.	Composição Gravimétrica	101
5.5.1.	CTR Maceió	101
5.5.2.	CTR Metropolitana.....	101
5.5.3.	CTR Agreste	102
5.5.4.	Aterro do CIGRES	103
5.5.5.	Considerações gerais sobre a composição dos RSU	103
5.6.	Geração de Metano	107
5.6.1.	CTR Maceió	107
5.6.2.	CTR Metropolitana.....	109
5.6.3.	CTR Agreste	111
5.6.4.	Aterro do CIGRES	113
5.6.5.	Considerações gerais sobre a geração de metano	115
5.7.	Potencial de geração de energia elétrica	118
5.7.1.	CTR Maceió	118
5.7.2.	CTR Metropolitana.....	119
5.7.3.	CTR Agreste	121
5.7.4.	Aterro do CIGRES	123
5.7.5.	Considerações gerais sobre o Potencial de Geração de Energia Elétrica	125
6.	CONCLUSÕES	130
7.	PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS	132
8.	REFERÊNCIAS	133

APENDICE	138
ANEXOS.....	179

1. INTRODUÇÃO

A sustentabilidade ambiental é um dos maiores desafios e metas mais importantes da atualidade. Seria um equívoco dizer que nenhuma parte da Terra está agora intocada pelo efeito das atividades humanas ou da poluição? O crescimento populacional humano e o incremento do consumo per capita de forma geral, têm colocado grande restrição aos recursos naturais. Segundo o Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas – PBMC, os resíduos sólidos, um dos mais importantes subprodutos da vida nas cidades, juntamente com os gases de efeito estufa - GEE, estão entre os principais causadores de impactos ambientais oriundos da industrialização e urbanização. No Brasil, o setor de resíduos respondeu por 4% do total de emissões de gases de efeito estufa, equivalente a 96 milhões de toneladas de CO₂ emitidas. De acordo com a gravimetria nacional, a fração orgânica responde por cerca de 45% de todos os resíduos sólidos urbanos do país, isto é, mais de 36 milhões de toneladas de restos de alimentos e resíduos de poda, as quais são, majoritariamente, enviadas para disposição final e, logo, fonte de emissões de GEE (ABRELPE, 2020).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) - Lei nº 12.305/2010, coerentemente com a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC - Lei nº 12.187, definiu entre os seus objetivos a adoção, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas, como forma de minimizar impactos ambientais (Art. 7º, IV), e o incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados à melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos, inclusive a recuperação e o aproveitamento energético (Art. 7º, XIV). Entretanto, apesar dos marcos regulatórios serem instituídos, poucos foram os avanços alcançados no reaproveitamento dos resíduos sólidos, principalmente no que tange ao aproveitamento energético. No Brasil, foram gerados 82,5 milhões de toneladas de Resíduos Sólidos Urbanos - RSU no ano de 2020, sendo que cerca de 60% dos resíduos coletados foram encaminhados para disposição adequada em aterros sanitários e 40% para áreas de disposição inadequada, incluindo lixões e aterros controlados (ABRELPE, 2021).

Os aterros sanitários continuam como um dos principais sistemas seguros de disposição final dos RSU, sendo uma tecnologia de extrema relevância para o sistema de manejo de resíduos no Brasil (MACHADO *et al.*, 2009; ABRELPE, 2020). No entanto, um dos produtos finais da degradação anaeróbia dos resíduos sólidos, e subproduto do Aterro Sanitário, é o biogás, composto principalmente de metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂). Apesar do metano possuir alto poder calorífico e seja passível de coleta e utilização para a geração de

energia, de acordo com a Associação Brasileira de Recuperação Energética de Resíduos - ABREN, apenas 50% do metano produzido pelos resíduos urbanos é capturado pelos aterros, o restante vai para a atmosfera, onde é 21 vezes mais nocivo do que o CO₂.

O aproveitamento do biogás produzido nos aterros sanitários é uma alternativa que está totalmente alinhado com a necessidade de integração entre as pautas ambientais e energéticas, uma vez que se trata de uma fonte de energia com grandes benefícios ambientais, como a redução de fugas dos GEE e a maximização do índice de conversão do metano, contabilizado no cálculo para emissão de crédito de carbono, além de reduzir a necessidade de combustíveis fósseis, que poderia ser utilizado para ofertar a mesma quantidade de energia que o biogás (PDE, 2020). Alternativa que pode ser aplicada para o biogás gerado na maioria dos aterros já existentes, a curto e médio prazos, como ocorre em centenas de aterros de diversos países (EPE, 2020).

Existe um debate considerável sobre as melhores formas de reaproveitamento do RSU, em especial na questão do seu uso energético, seja em sua forma de calor, seja de energia elétrica, seja de combustível (AMORIM JÚNIOR; CORREIA; DUTRA, 2019; SILVA, J. B. S.; CRUZ, G.; 2020; FREITAS et al., 2021; ROCHA et al., 2021; SILVA et al., 2021; ENGELMANN, P. M.; LIMA, J. E. A., 2022). Pela primeira vez, a minuta do Plano Decenal de Energia (PDE) 2030, elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) inclui a geração a partir de resíduos sólidos urbanos (RSU), o que segundo a Associação Brasileira do Biogás - ABiogás é um ótimo indicativo do interesse do poder público em desenvolver essa fonte, podendo ser visto como um sinal de que é um tema de preocupação do Ministério de Minas e Energia - MME e que se pode esperar incentivos e ações no tema dentro do horizonte 2021-2030 (EPE, 2021). Quanto ao volume de biogás, o setor de saneamento, que inclui os aterros sanitários, foi responsável por 74% do volume total produzido (mais de 1,3 tri Nm³/ano), embora represente apenas 9% das plantas de biogás em operação no país (CIBIOGÁS, 2022).

A geração de energia elétrica é a principal aplicação energética do biogás no Brasil, presente em 87 % das plantas em operação, resultando no consumo de 71% do volume de biogás produzido em 2021. E a maior parte das plantas encontram-se atreladas ao sistema de compensação de energia (net metering), devido a simplicidade no processo de conexão (CIBIOGÁS, 2022). Por sua vez, a geração de eletricidade a partir de RSU é um elemento relevante na estratégia regional ou local e deve ser considerada, embora não se trate de potencial com dimensão suficiente para sustentar uma estratégia de expansão da oferta de energia elétrica do país no longo prazo (SOARES *et al.*, 2017). Dependendo da rota tecnológica escolhida, cada

MWh gerado a partir do biogás do RSU será capaz de compensar a emissão decorrente de 3 a 15 MWh gerados a partir do gás natural em ciclo combinado (OLIVEIRA E ROSA, 2003 apud EPE, 2008). Entretanto, antes da implantação de projetos de aproveitamento energético, faz-se necessário averiguar o potencial de geração do biogás, na análise da viabilidade desses projetos.

O potencial de geração do biogás no aterro sanitário pode ser estimado a partir do conhecimento da quantidade de massa de resíduos depositada, das condições climáticas, e da aplicação de uma modelagem matemática. Essa estimativa além de possibilitar o dimensionamento de sistemas de coleta de biogás a serem implantados no aterro, permite prever a geração e as emissões de GEE e possui a vantagem de resultados rapidamente observáveis e de baixo custo (ABRELPE, 2013). Diferentes modelos que tem sido utilizado para estimar a geração de biogás, sendo os modelos de primeira ordem os mais amplamente aplicados, a saber: o modelo LandGEM 3.02 (2005), elaborado pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA, da sigla em inglês); o modelo Scholl Canyon recomendado pelo Banco Mundial e o modelo do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), em suas várias versões (IPCC 1997; 2000; 2006) (ELK *et al.*, 2007; MACIEL, 2009; MACIEL, 2011; FIRMO, 2013; SANTOS *et al.*, 2017; SOUZA *et al.*, 2019; SANTOS *et al.*, 2019; VIEIRA, L. C.; CANDIANI, G.; 2021; FERNANDES *et al.*, 2022). Modelos que incorporam o efeito da idade do resíduo na produção do biogás, assumindo que a emissão de metano decresce exponencialmente com o tempo de aterramento dos resíduos e que esse declínio gradual ocorre após o fechamento do aterro (USEPA, 2005a; TOMPSON *et al.*, 2009).

A escolha adequada do modelo e a consideração das diferentes condições climáticas e operacionais de cada aterro sanitário na adoção dos parâmetros de entrada são de suma importância para resultados mais próximos da realidade. Embora existam vários modelos disponíveis para calcular a produção do biogás gerado nos aterros sanitários e todos esses modelos possam ser usados para desenvolver uma curva que prevê a geração de metano ao longo do tempo, o modelo de primeira ordem multifásico do IPCC (2006) forneceu melhores previsões da produção de biogás, diferindo dos demais modelos, principalmente, por considerar um cinética diferente de degradação para cada componente do resíduo (alimentos, resíduos de jardins e parques, papel e papelão, madeira, têxteis, etc.) (MACIEL, 2009 e FIRMO, 2013).

Diante do exposto, este estudo tem o objetivo de estimar, através de modelagem matemática, o potencial de produção de biogás em quatro aterros sanitários do Estado de Alagoas, localizados em regiões com condições sociais e ambientais distintas, visando seu aproveitamento para geração de energia elétrica.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Estimar, através de modelagem matemática, a geração de metano em quatro aterros sanitários do Estado de Alagoas, a saber: CTR Maceió, CTR Agreste, CTR Metropolitana e aterro do CIGRES, localizados em regiões com condições sociais e ambientais distintas, visando seu aproveitamento para geração de energia elétrica.

2.2. Objetivos específicos

- Realizar a caracterização geral, abordando aspectos técnicos, ambientais e regionais de cada aterro sanitário;
- Calcular a geração de metano nos quatro aterros sanitários de Alagoas utilizando o modelo cinético de primeira ordem multicomponentes do IPCC (2006);
- Avaliar se as características sociais, fisiográficas e ambientais de cada aterro interferem na estimativa de produção do biogás;
- Estimar o potencial de geração de energia elétrica em cada aterro sanitário a partir da estimativa teórica de geração de metano.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. Resíduos Sólidos Urbanos

3.1.1. Breve descrição e classificação

Resíduos Sólidos Urbanos são aqueles originários de atividades domésticas em residências urbanas, varrição, limpeza de logradouros e vias públicas, além de outros serviços de limpeza urbana. Composto por matéria orgânica biodegradável, metal ferroso e não ferroso, alumínio, borracha, papel, papelão, couro, pano/trapo, plásticos, vidro e madeira, dentre outros, os RSU são classificados como resíduos Classe II pela NBR 10.004/2004 da ABNT, ou seja, resíduos não perigosos. Entretanto, o descarte conjunto com outros resíduos como pilhas, baterias e resíduos de serviços de saúde, pode contaminá-los, caracterizando-os como resíduos perigosos, situação comum em Alagoas. Além disso, a decomposição da matéria orgânica biodegradável presente nesses resíduos (cerca de 50%), é responsável pela geração de chorume, que é um líquido com alto poder poluidor das águas e do solo, devendo ser tratado adequadamente. Logo, pode-se inferir que a gestão adequada dos RSU interfere na periculosidade e no risco potencial de contaminação destes resíduos.

Muitas são as variações nas características dos resíduos, onde estas variam de acordo, principalmente, com os aspectos sociais, econômicos, culturais, geográficos e climáticos das regiões. Mais especificamente, a composição gravimétrica dos resíduos sólidos reflete a porcentagem de cada componente em relação ao peso total da amostra de resíduo analisada, estando inserida nas características físicas dos resíduos, sendo este conhecimento de extrema importância para uma gestão adequada dos serviços de limpeza urbana (MONTEIRO et al., 2001).

No último panorama divulgado pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE, do ano de 2020, no que se refere à disposição final de RSU, os aterros sanitários são a disposição final da maior parte dos RSU coletados, com 46 milhões de toneladas, o que representa cerca de 60,2% dos resíduos totais coletados (ABRELPE, 2021).

Poucos foram os avanços alcançados na redução, reutilização e reciclagem de resíduos, onde os aterros sanitários continuam como um dos principais sistemas de disposição final dos RSU, sendo uma tecnologia de extrema relevância para o sistema de manejo de resíduos no Brasil (ABRELPE, 2020).

3.1.2. Aspectos Legais

Após análise da legislação brasileira sobre resíduos sólidos, inclusive as Normas Técnicas Brasileiras, são apresentados alguns dos principais posicionamentos legais pertinentes ao tema.

Legislação Federal

Em consonância com o referido artigo 241 da Constituição Federal foi criada a chamada Lei dos Consórcios Públicos (Lei nº 11.107/2005) que objetiva viabilizar a descentralização e a prestação de serviços públicos. Para os resíduos sólidos, a formação de consórcios intermunicipais muitas vezes viabiliza a implantação de unidades de gerenciamento, como estações de transbordo e aterros sanitários de maior porte, com maior proteção ambiental e rateio dos custos de implantação e gerenciamento entre os municípios aderidos. Entretanto, para o sucesso dos consórcios de resíduos é importante que haja comprometimento dos administradores de todos os municípios observando os objetivos do consórcio em detrimento de interesses exclusivos dos municípios.

A criação do SISNAMA também impulsionou a elaboração e publicação de novas Leis e respectivos Decretos Federais, além de portarias e normas técnicas, que, juntamente com as mencionadas resoluções, regulam, material e processualmente, os procedimentos a serem observados quando da implantação de empreendimentos que possam gerar impactos ambientais significativos, entre eles os empreendimentos para gestão dos resíduos sólidos.

O Decreto no 7.404/2010 que regulamentou a PNRS criou o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos com a finalidade de apoiar a estruturação e implementação da referida Lei, por meio da articulação dos órgãos e entidades governamentais, de modo a possibilitar o cumprimento das determinações e das metas previstas na PNRS e no próprio Decreto. Também foi criado o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa visando estabelecer a orientação estratégica da implementação de sistemas de logística reversa.

A adoção, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias apropriadas de forma de minimizar impactos ambientais inerentes à gestão e disposição dos resíduos (art. 7º, IV) são alguns dos objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) instituída pela Lei nº 12.305/10 e seu Decreto regulamentador, que prevê inclusive, a recuperação e o aproveitamento energético como alternativas para tal finalidade (art. 7º, XIV).

A Portaria MME nº 435/2020 e as diretrizes para os leilões divulgadas por meio da Portaria MME nº 480/2021, apresentou medidas que permitiu a inclusão da recuperação

energética de resíduos sólidos urbanos, como uma fonte específica, nos leilões de compra de energia elétrica proveniente de novos empreendimentos de geração, a partir de 2021.

No Quadro 1 estão listadas algumas leis/decretos federais referentes ao gerenciamento de resíduos sólidos no Brasil.

Quadro 1 - Legislação Aplicável ao tema.

Legislação	Objetivo
Lei nº 10.257/2001	Regulamenta os artigos 182 e 183 da Constituição Federal de 1988, sendo mais conhecida como Estatuto da Cidade. Tal norma dispõe acerca das diretrizes gerais de política urbana, se relacionando, logicamente, com a questão dos resíduos sólidos.
Lei nº 10.650/2003	Dispõe que os órgãos e entidades da Administração Pública, direta, indireta e fundacional, integrantes do Sistema Nacional de Meio Ambiente - SISNAMA, instituído pela Lei nº 6.938/1981, ficaram obrigados a permitir o acesso público aos documentos, expedientes e processos administrativos que tratem da matéria ambiental e a fornecer todas as informações ambientais que estejam sob sua guarda, em meio escrito, visual, sonoro ou eletrônico.
Lei nº 11.107/2005	Introduziu a figura dos consórcios públicos, em atenção ao disposto no art. 241 da Constituição Federal, que autoriza a gestão associada de serviços públicos.
Decreto nº 5.940/2006	Institui a separação dos resíduos recicláveis descartados pelos órgãos e entidades da administração pública federal direta e indireta, na fonte geradora, e sua destinação às associações e cooperativas dos catadores de materiais recicláveis, e dá outras providências.
Lei nº 11.445/2007	Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, estabelecendo no artigo 3º que os serviços públicos de saneamento básico serão pelos Estados com base em princípios fundamentais, entre eles, a universalização do acesso, manejo adequado, busca de soluções visando às peculiaridades locais e regionais, transparência das ações e controle social.
Lei nº 12.187/2009	Instituiu a Política Nacional de Mudanças do Clima (PNMC), estabelecendo como um de seus objetivos a redução das emissões de GEEs oriundas das atividades humanas, nas suas diferentes fontes, inclusive naquelas referentes aos resíduos.
Lei nº 12.305/2010	Instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos e regulamentada pelo Decreto nº 7.404/2010, estabeleceu diretrizes, princípios, objetivos e a regulamentação das ações exigidas e visadas relativas aos resíduos sólidos, consolidou conceitos importantes a serem aplicados na prática, destacando-se a visão sistêmica na gestão de tais resíduos, a ecoeficiência e a cooperação.
Decreto nº 10473/2020	Declara a revogação, para os fins do disposto no art. 16 da Lei Complementar nº 95, de 26 de fevereiro de 1998, de decretos normativos.
Lei nº 12.375/2020	Estabelece nos art. 5º e 6º que os estabelecimentos industriais farão jus, até 31/12/2014, a crédito presumido do IPI na aquisição de resíduos sólidos utilizados como matérias-primas ou produtos intermediários na fabricação de seus produtos.
Decreto nº 11.043/2022	Aprova o Plano Nacional de Resíduos Sólidos - PLANARES

Fonte: BRASIL.

Aplicam-se também aos RS normas estabelecidas pelos órgãos do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS), do Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária (SUASA) e do Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (SINMETRO). O Quadro 2 apresenta as resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) que tratam sobre os resíduos sólidos. Destaca-se a Resolução nº 275/2001 que estabelece normas específicas sobre resíduos sólidos urbanos visando o incentivo a expansão da reciclagem de resíduos no Brasil.

Quadro 2 - Resoluções CONAMA aplicáveis ao tema.

Resoluções	Objetivo
001/1986	Apresenta os empreendimentos que dependem de elaboração de Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) no processo de licenciamento ambiental.
002/1991	Dispõe sobre o tratamento a ser dado às cargas deterioradas, contaminadas ou fora de especificações.
006/1991	Dispõe sobre o tratamento de RS provenientes de estabelecimentos de saúde, portos e aeroportos.
005/1993	Estabelece Diretrizes sobre o gerenciamento de RS gerados nos aeroportos, portos, terminais ferroviários e rodoviários e estabelecimentos prestadores de serviços de saúde.
228/1997	Dispõe sobre a importação de desperdícios e resíduos de acumuladores elétricos de chumbo.
264/1999	Dispõe sobre o licenciamento de fornos rotativos de produção de clínquer para atividades de coprocessamento de resíduos.
275/2001	Estabelece código de cores para diferentes tipos de resíduos na coleta seletiva.
307/2002	Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos RCC. Alterada pela Resolução CONAMA 348/2004 que estabeleceu o amianto como resíduo perigoso, e pela Resolução 448/2012 que adequa e modifica as definições lançadas às diretrizes da Lei nº 12.305/2010.
313/2002	Dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais (RSI)
314/2002	Dispõe sobre o registro de produtos destinados à remediação.
316/2002	Dispõe sobre procedimentos e critérios para funcionamento de sistema de tratamento térmico de resíduos. O art. 18 foi alterado pela Resolução CONAMA 386/2006.
335/2003	Dispõe sobre o licenciamento de cemitérios
358/2005	Dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde.
362/2005	Dispõe sobre o recolhimento, coleta e destinação final de óleo lubrificante usado/ contaminado.
375/2006	Define critérios e procedimentos para uso agrícola de lodos de esgotos gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências.
401/2008	Estabelece os limites máximos de chumbo, cádmio e mercúrio para pilhas e baterias comercializadas no território nacional e os critérios e padrões para o seu gerenciamento ambientalmente adequado. Art. 18 alterado pela Resolução CONAMA 424/2010.
4004/2008	Estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de aterro sanitário de pequeno porte de resíduos sólidos urbanos.
416/2008	Dispõe sobre a prevenção à degradação ambiental causada por pneus inservíveis e sua destinação ambientalmente adequada.
411/2009	Dispõe sobre procedimentos para inspeção de indústrias consumidoras ou transformadoras de produtos e subprodutos florestais madeireiros de origem nativa, bem como os respectivos padrões de nomenclatura e coeficientes de rendimento volumétricos, inclusive carvão vegetal e resíduos de serraria.
452/2012	Dispõe sobre o procedimento de controle da importação de resíduos, conforme as normas adotadas pela Convenção da Basileia sobre o Controle de Movimentos Transfronteiriços de Resíduos Perigosos e seu Depósito.
465/2014	Dispõe sobre os requisitos e critérios técnicos mínimos necessários para o licenciamento ambiental de estabelecimentos destinados ao recebimento de embalagens de agrotóxicos e afins, vazias ou contendo resíduos.

Fonte: BRASIL.

Existem, também, portarias, instruções normativas e outras resoluções que tratam da temática de resíduos sólidos no Brasil de outros órgãos como apresentado no Quadro 3.

Quadro 3 - Portarias, Instruções e outras Resoluções que tratam de Resíduos Sólidos no Brasil.

Legislação	Objetivo
Portaria do Ministério do Interior – MINTER nº 53/1979	Dispõe sobre o tratamento e disposição final de resíduos sólidos de qualquer natureza
Portaria MINTER nº 124/1980	Dispõe sobre a localização de indústrias potencialmente poluidoras e construções ou estruturas que armazenam substâncias capazes de causar poluição hídrica
Portaria Interministerial MINTER/MIC/MME nº 19/1981	Proíbe, em todo o Território Nacional, a implantação de processos que tenham como finalidade principal a produção de bifenais policloradas – PCBs, assim como o seu uso e comercialização
Instrução Normativa SEMA/STC/CRS nº 1/1983	Disciplina as condições a serem observadas no manuseio, armazenamento e transporte de bifenilas policloradas – PCB's e/ou resíduos contaminados com PCB's
Portaria MIN AGRIC nº 329/1985	Proíbe em todo o Territorial Nacional, a comercialização, o uso e a distribuição dos produtos agrotóxicos organoclorados, destinados à agropecuária.
Portaria Normativa IBAMA nº 138/1992	Revoga a Portaria Normativa IBAMA nº 1.197, de 16/07/90 – Proíbe a importação de resíduos de qualquer espécie e de qualquer forma, excetuando aqueles que menciona.
Instrução Normativa IBAMA nº 40/1993	Dispõe sobre o prazo para apresentação ao IBAMA dados e justificativas técnicas quanto à necessidade real da importação de resíduos.
Portaria Normativa IBAMA nº 106/1994	Dispensa da ausência prévia do IBAMA, os pedidos de importação de resíduos que menciona e que trata a Portaria IBAMA nº 138 de 22 de dezembro de 1992
Portaria IBAMA nº 45/1995	Constitui a Rede Brasileira de Manejo Ambiental de Resíduos – REBRAMAR, integrada à Rede Pan Americana de Manejo Ambiental de Resíduos – REPAMAR, coordenada em nível de América Latina e Caribe pelo Centro Pan Americano de Engenharia Sanitária e Ciências Ambientais – CEPIS
Instrução Normativa MAPA/GM nº 15/2003	Aprova regulamento técnico sobre as condições higiênico-sanitária e de boas práticas de fabricação para estabelecimentos que processam resíduos de animais e dá outras providências
Resolução ANTT nº 420/2004	Aprova as Instruções Complementares ao Regulamento do Transporte Terrestre de Produtos Perigosos. “Estabelece que os resíduos devem ser transportados de acordo com as exigências aplicáveis à classe apropriada.”
Resolução RDC (Resolução da Diretoria Colegiada) nº 306/2004 da ANVISA	Resíduos de Saúde
RDC (Resolução da Diretoria Colegiada) nº 306/2004 da ANVISA	Aborda as boas práticas sanitárias no gerenciamento dos resíduos sólidos das áreas de portos, aeroportos, passagens de fronteiras e recintos alfandegados
Diretrizes da VIGIAGRO (Sistema de Vigilância Agropecuária Internacional) nº 36/2006	Manual de Procedimentos Operacionais da Vigilância Agropecuária Internacional (Secção XII)

Fonte: Brasil.

Com relação as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), apresentadas no Quadro 4, destaca-se as normas que impõem condições e requisitos mínimos de proteção ambiental a serem observados nos projetos de unidades de disposição final de resíduos e rejeitos, como aterros sanitários e aterros industriais.

Quadro 4 - Normas que tratam dos Resíduos Sólidos no Brasil.

Norma ABNT	Objetivo
8.418/1983	Define Procedimentos para apresentação de projetos de aterros de resíduos industriais perigosos.
8.849/1985	Define procedimentos para apresentação de projetos de aterros controlados de resíduos sólidos urbanos.
8.746-8.747-8.748/1985	Sucata de Aço
10.157/1987	Define critérios para projeto, construção e operação de aterros de resíduos perigosos.
10.664/1989	Determinação de resódios (sólidos) – Método Gravimétrico – Metodo de Ensaio
11.174/1990	Armazenamento de resíduos Classe II (não inertes) e III (inertes) – Procedimentos
11.175/1990	Padrões sobre procedimentos de incineração de resódios sólidos pedigosos
12.235/1992	Define procedimentos para armazenamento de resíduos sólidos perigosos
8.419/1992	Fixa as condições mínimas exigíveis para a apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos.
12.807/1993	Estabelece terminologia de Resíduos de Serviços de Saúde
12.808/1993	Resíduos de Serviços de Saúde
12.809/1993	Manuseio de resíduos de serviços de saúde
12.810/1993	Coleta de Resíduos de serviço de saúde
12.980/1993	Coleta, varrição e acondicionamento de resíduos sólidos urbanos – Terminologia.
12.988/1993	Líquidos livres – verificação em amostra de resíduos
13.028/1993	Apresentação de projeto de disposição de rejeitos de beneficiamento
13.463/1995	Coleta de resíduos sólidos
13.464/1995	Varrição de vias e logradouros públicos
8.419/1996	Define procedimentos para apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos

Norma ABNT	Objetivo
8.843/1996	Define procedimentos para gerenciamento de resíduos sólidos de aeroportos
13.591/1996	Compostagem – terminologia
13.853/1996	Coletores para resíduos de serviços de saúde perfurantes ou cortantes. Requisitos e métodos de ensaio.
13.894/1997	Tratamento no colo (<i>landfarmin</i>)
13.896/1997	Fixa condições mínimas exigíveis para projeto, implantação e operação de aterros de resíduos não perigosos, de forma a proteger adequadamente as coleções hídricas superficiais e subterrâneas próximas, bem como os operadores destas instalações e populações vizinhas.
14.652/2001	Coletor – transporte rodoviário de resíduos de serviços de saúde. Requisitos de construção e inspeção – Resíduos do Grupo A.
9.192/2002	Sacos plásticos para acondicionamento de lixo. Requisitos e métodos de ensaio.
14.879/2002	Coletor – Compactador de resíduos sólidos – Definição do volume
13.221/2003	Transporte terrestre de resíduos
14.559/2003	Requisitos de segurança para coletores-compactadores de carregamento traseiro e lateral.
10.004/2004	Classifica resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que estes resíduos possam ter manuseio e destinação adequada.
10.005/2004	Define procedimento para obtenção de extrato de lixiviado de resíduos sólidos
10.006/2004	Define procedimentos para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos.
10.0007/2004	Define procedimentos para amostragem de resíduos sólidos
15.112/2004	Resíduos da Construção Civil e resíduos volumosos – Área de transbordo e triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação
15.113/2004	Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros – Diretrizes para projeto, implantação e operação
15.113/2004	Resíduos sólidos da construção civil – Área de Reciclagem – Diretrizes para projetos, implantação e operação
15.115/2004	Agregados reciclados de resíduos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – procedimentos
15.116/2004	Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos
13.221/2005	Procedimento para transporte terrestre de resíduos
15.849/2010	Resíduos sólidos urbanos – Aterros sanitários de pequeno porte – Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento.
NR 25	Resíduos Industriais. Estabelece as medidas preventivas a serem observadas pelas empresas sobre o destino final a ser dado aos resíduos industriais resultantes dos ambientes de trabalho, visando à prevenção da saúde e da integridade física dos trabalhadores.

Fonte: ABNT.

Legislação Estadual

A recente Lei nº 7749 de 13/10/2015 dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos de Alagoas e Inclusão Produtiva.

De acordo com a Lei a inclusão produtiva é o investimento social e econômico que visa subsidiar, financeira e/ou tecnicamente, iniciativas que garantam aos grupos sociais meios e capacidade produtiva e de gestão. Assim, esta deverá ser implementada por meio do Programa Alagoas Catador, com a finalidade de integrar e articular as ações do Governo Estadual, dos Governos Municipais e da iniciativa privada voltada ao apoio e ao fomento à organização produtiva dos catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis, dando-lhes melhores condições de trabalho e oportunidades de inclusão social e econômica para estas pessoas.

Algumas das diretrizes da Política Estadual de Resíduos Sólidos de Alagoas estão em consonância com as ações que vêm sendo desenvolvidas no Estado, nos últimos cinco anos, tais como:

- Incentivo à criação e desenvolvimento dos consórcios públicos regionais, conforme Plano de Regionalização de Resíduos Sólidos do Estado de Alagoas e suas adequações;
- Incentivo à criação de cooperativas e/ou associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis;
- Apoio às cooperativas e/ou associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis para o desenvolvimento institucional;
- Incentivo à coleta seletiva;

Outras diretrizes estão em consonância com diretrizes e metas elaboradas no Plano Estadual de Resíduos Sólidos de Alagoas, principalmente em relação às carências e deficiências na atual gestão e gerenciamento de resíduos sólidos no Estado, tais como:

- Encerramento e recuperação de áreas degradadas;
- Apoio institucional para a gestão e o gerenciamento dos resíduos sólidos;
- Implantação de programa de educação ambiental;
- Implantação de coleta seletiva em órgãos públicos estaduais,
- Incentivo à prática da logística reversa nos diversos setores produtivos;

Dentre os instrumentos da Política Estadual de Resíduos Sólidos, destacam-se:

- Plano Estadual de Resíduos Sólidos;

- Planos de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Municipais e Intermunicipais;
- Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos;
- Sistema de Informação de Resíduos Sólidos Estadual;
- Monitoramento e fiscalização ambiental, sanitária e agropecuária;
- Cadastro dos operadores e transportadores de resíduos perigosos e locais de disposição de resíduos,
- Inventário estadual de resíduos industriais, de acordo com o disposto na Resolução CONAMA nº 313, de 29 de outubro de 2002;
- Licenciamento ambiental, a fiscalização e as penalidades;
- Estruturação de sistema de coleta seletiva e de logística reversa; desenvolvimento de pesquisas voltadas para tecnologias limpas aplicáveis aos resíduos sólidos;

O arcabouço legal acerca da regulamentação das questões relativas ao manejo dos resíduos sólidos, atualmente, encontra-se prevista de forma dispersa em alguns diplomas legais do Estado, conforme mostra o Quadro 5 a seguir.

Quadro 5 - Legislação estadual aplicada ao assunto.

Legislação	Objetivo
Lei nº 4.090/1979	Dispõe sobre a proteção do Meio Ambiente no Estado de Alagoas e dá providências correlatas
Lei 4.686/1985	Estabelece medidas de Proteção Ambiental na Área de Implantação do Polo Cloroquímico de Alagoas, entre providências
Lei nº 5.017/1988	Proíbe a instalação de usina nuclear, derivada e similares a guarda de lixo atômico e de química letal no Estado de Alagoas
Lei nº 5.965/1997	Dispõe sobre a política estadual de recursos hídricos
Lei nº 6.972/2008	Prevê em seu art. 14º que nos programas de Parceria Público Privada as Atividades de saneamento estão entre aquelas que preferencialmente devem ser objetos desta parceria
Lei nº 7.081/2009	Instituiu a Política Estadual de Saneamento Básico e disciplinou a constituição dos consórcios públicos e convênios de cooperação entre entes federados para autorizar a gestão associada de serviços públicos de saneamento básico, além de tratar de outras providências relacionadas à seara do saneamento.
Decreto nº 11.003, de 21 de março de 2022	Institui a Estratégia Federal de Incentivo ao Uso Sustentável de Biogás e Biometano. Estabelece os procedimentos para a elaboração dos Planos Setoriais de Mitigação das Mudanças Climáticas e institui o Sistema Nacional de Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa (Sinare). O decreto dá início à abertura do mercado de carbono e metano.

Fonte: Alagoas.

3.3.3 Panorama dos RSU no Estado de Alagoas

Visando atender as demandas estabelecidas pela Política Nacional de Resíduos Sólidos, foi elaborado, no ano de 2010, o Plano Estadual de Regionalização dos Resíduos Sólidos de Alagoas, que dividiu o estado em 7 (sete) regiões, de acordo com suas características territoriais, ambientais e socioeconômicas, a saber: Região Metropolitana, Região Sul, Região Litoral Norte, Região Bacia Leiteira, Região Sertão e Região Boca da Mata. Em 2015, foram elaborados os respectivos Planos Intermunicipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos dos municípios integrantes de cada região.

Os Planos supracitados serviram de base para a constituição de Consórcios Públicos Intermunicipais no estado de Alagoas (ALAGOAS, 2020). A exceção foi o município de Maceió, que possui seus próprios dispositivos de gestão e uma Central de Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos própria, tanto pela opção do município de ficar de fora das regiões consorciadas, quanto pela restrição legal, Lei municipal nº 4.548 de 21 de novembro de 1996, art. 141, que proíbe o depósito e a destinação final de resíduos produzidos fora do município de Maceió, segue o texto na íntegra:

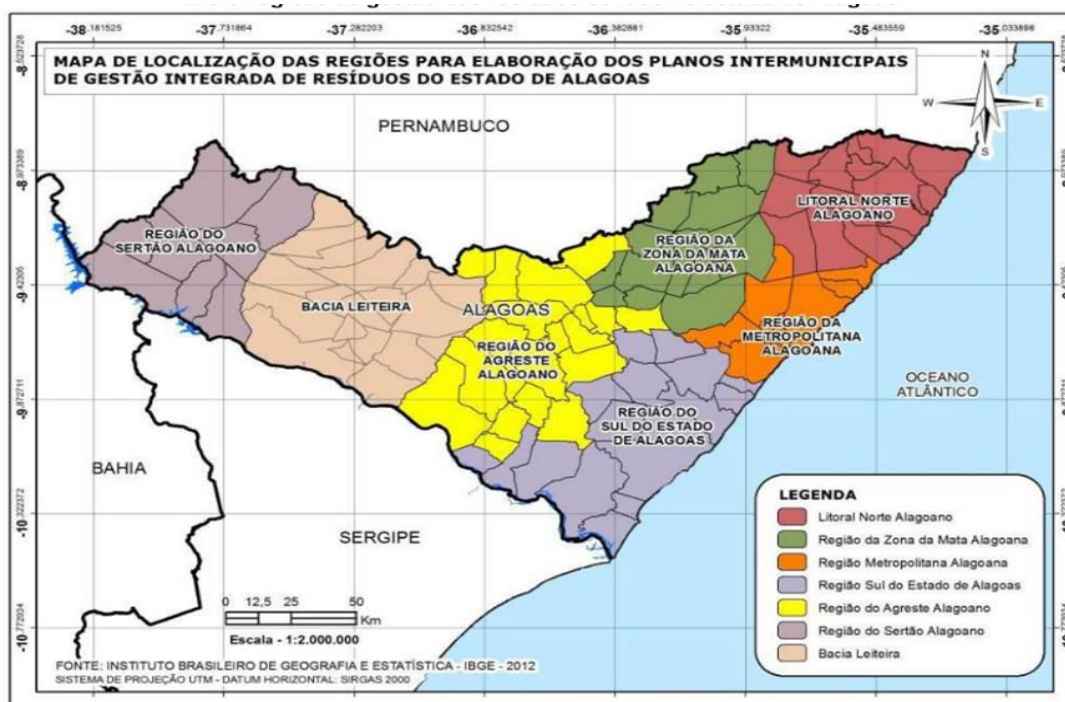
Art. 141º - É vedado no território do Município:

- I. a disposição de resíduos sólidos em praias, rios, lagos e demais cursos d'água;*
- II. o depósito e a destinação final de resíduos de todas as classes, produzidos fora de seu território.*

Assim sendo, Maceió ficou de fora, sendo este artigo alvo de discussões constantes em suas câmaras técnicas e jurídicas acerca da restrição posta. A Figura 1 mostra o mapa das regiões dos consórcios do estado de Alagoas e o Quadro 6 mostra os municípios integrantes das sete regiões de planejamento com a geração de RSU.

Como em todos os estados do Brasil, Alagoas, até maio de 2018, possuía lixões para disposição dos seus RSU. Em maio/2018 Alagoas encerrou seus últimos 4 lixões, localizados em Feliz Deserto, Piaçabuçu, Igreja Nova e Penedo, se tornando o 3º estado do país a realizar esta ação e o primeiro no Nordeste a encerrar todos os lixões, e os municípios passaram a destinar seus RSU às Centrais de Tratamento de Resíduos.

Figura 1 – Plano de destinação Final dos Resíduos Sólidos no Estado de Alagoas (t/dia).



Fonte: Floram (2016) e SEMARH/AL (2020).

Quadro 6 – Plano de destinação Final dos Resíduos Sólidos no Estado de Alagoas (t/dia).

Região	Consórcio	Municípios Consorciados
Bacia Leiteira	Consórcio Intermunicipal para Gestão de Resíduos Sólidos - CIGRES	Batalha, Belo Monte, Cacimbinhas, Canapi, Carneiros, Dois Riachos, Jacaré dos Homens, Jaramataia, Major Isidoro, Maravilha, Monteirópolis, Olho d'Água das Flores, Olivença, Palestina, Pão de Açúcar, Santana do Ipanema, São José da Tapera, Senador Rui Palmeira.
Sertão	Consórcio Regional de Resíduos Sólidos do Sertão de Alagoas - CRERSSAL	Água Branca, Delmiro Gouveia, Inhapi, Mata Grande, Pariconha, Piranhas, Olho d'Água do Casado.
Agreste	Consórcio Regional de Resíduos Sólidos do Agreste Alagoano - CONAGRESTE	Arapiraca, Belém, Campo Grande, Craíbas, Coité do Nóia, Minador do Negrão, Estrela de Alagoas, Feira Grande, Palmeira dos Índios, Igaci, Girau do Ponciano, Lagoa da Canoa, Limoeiro de Anadia, Maribondo, Olho d'água Grande, Quebrangulo, São Sebastião, Taquarana, Tanque d'Arca e Traipu.
Zona da Mata	Consórcio Regional de Resíduos Sólidos da Zona da Mata Alagoana - CORSZAM	Atalaia, Branquinha, Cajueiro, Capela, Chã Preta, Ibateguara, Mar Vermelho, Murici, Paulo Jacinto, Pindoba, Santana do Mundaú, São José da Laje, União dos Palmares.
Sul	Consórcio Intermunicipal do Sul do Estado de Alagoas - CONISUL	Barra de São Miguel, Boca da Mata, Campo Alegre, Coruripe, Feliz Deserto, Igreja Nova, Jequiá da Praia, Junqueiro, Penedo, Piaçabuçu, Porto Real do Colégio, São Brás, São Miguel dos Campos, Teotônio Vilela.
Litoral Norte	Consórcio Intermunicipal de Desenvolvimento da Região do Litoral Norte de Alagoas - CONORTE	Campestre, Colônia Leopoldina, Flexeiras, Jacuípe, Japaratinga, Jundiá, Maragogi, Matriz de Camaragibe, Novo Lino, Porto Calvo, Porto de Pedras, São Miguel dos Milagres.

Região	Consórcio	Municípios Consorciados
Metropolitana	Consórcio Regional Metropolitano de RS de Alagoas - CRM	Barra de Santo Antônio, Coqueiro Seco, Marechal Deodoro, Messias, Paripueira, Pilar, Rio Largo, Santa Luzia do Norte, Satuba.

Fonte: Adaptado de ALAGOAS, 2020.

Apesar de existirem sete consórcios constituídos para cada microrregião, até 2021 foram implantados somente duas CTRs e um aterro sanitário classe 2 para atender às sete regiões no Estado de Alagoas, além da CTR Maceió que atende a capital somente. Destinar os resíduos sólidos para outras regiões foi a alternativa encontrada pelos consórcios das regiões do Litoral Norte, Sertão e Sul do estado, para cumprir a meta de encerramento dos lixões no estado de Alagoas.

Estas unidades atendem todo o estado, com exceção dos municípios de Maragogi, Japaratinga e Delmiro Gouveia que enviam seus resíduos para Pernambuco. Encontra-se em fase de construção a CTR do Sertão (CRESSAL).

O Quadro 7 apresenta os consórcios constituídos com data de criação e central de tratamento de resíduos (CTR) utilizada atualmente por cada um.

Quadro 7 - Consórcios Regionais e Centrais de Tratamento de Resíduos Sólidos de Alagoas.

Região/Município	Consórcio	Ano de criação	Aterro/CTR utilizada
Agreste	CONAGRESTE – Consórcio Regional de Resíduos Sólidos do Agreste Alagoano	2013	CTR Agreste Craibas
Bacia Leiteira	CIGRES - Consórcio Intermunicipal para Gestão dos Resíduos Sólidos	2006	Aterro CIGRES Olho D'Água das Flores
Litoral Norte	CONORTE - Consórcio Intermunicipal de Desenvolvimento da Região Norte de Alagoas	2011	CTR Metropolitana Pilar
Metropolitana	Consórcio Regional Metropolitano de Resíduos Sólidos de Alagoas	2011	CTR Metropolitana Pilar
Sertão	CRERSSAL - Consórcio Regional de Resíduos Sólidos do Sertão de Alagoas	2013	Aterro CIGRES – Olho D'Água das Flores
Sul	CONISUL - Consórcio Intermunicipal do Sul do Estado de Alagoas	2013	Aterro CIGRES Olho D'Água das Flores
Zona da Mata	CORSZAM - Consórcio Regional de Resíduos Sólidos da Zona da Mata Alagoana	2011	CTR Metropolitana Pilar
Maceió	-	2004	CTR de Maceió Maceió
Observação: Resíduos enviados para fora do estado de Alagoas			
Jacuípe, Maragogi, e Japaratinga	-	-	Aterro Consórcio Portal Sul (Rio Formoso – PE)
Delmiro Gouveia	-	-	Aterro sanitário de Iati (Iati/PE)

Fonte: Autora, 2022.

Para melhor visualização da disposição destes equipamentos no espaço territorial do estado de Alagoas e suas áreas de atuação, a Figura 2 mostra o mapa de localização unidades de tratamento de resíduos sólidos urbanos no estado.

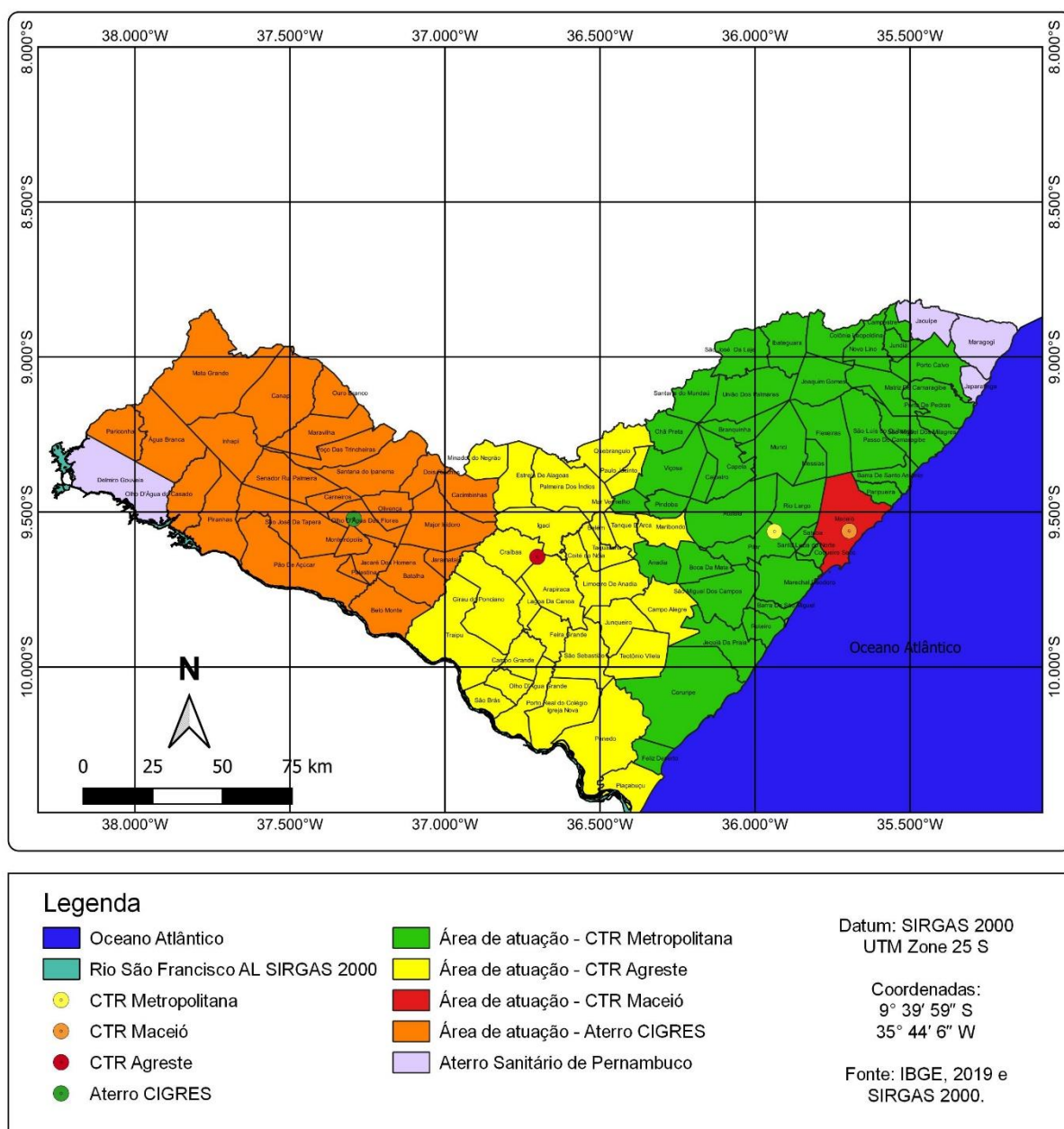


Figura 2 - Mapa de localização e atuação das Centrais de Tratamento de Resíduos do Estado de Alagoas.

Fonte: Autora, 2022.

No Estado de Alagoas existem áreas com diferentes aspectos ambientais e climáticos. Nota-se que na configuração atual, o aterro do CIGRES recebe os RSU da Mesoregião do Sertão

e Bacia Leiteira, a CTR Agreste recebe os RSU da Mesorregião do Agreste do Estado, ambas localizadas na vertente do Rio São Francisco. Enquanto a CTR Metropolitana e CTR Maceió recebem os RSU da Mesoregião do Leste Alagoano, localizadas na vertente do Atlântico.

De acordo com a classificação de Köppen, a metade ocidental do estado, que corresponde ao agreste e sertão, apresenta condições semiáridas, com clima BSh, isto é, seco e quente, com precipitação pluviométrica média anual no sertão entre 400 mm a 600 mm e no agreste de 600 mm a 900 mm, com à temperatura média do ar, variando, no sertão, entre 17°C e 33°C. Por outro lado, toda a metade oriental do estado, que corresponde a parte Leste Alagoana possui clima do tipo As', ou seja, tropical e quente, com precipitação pluviométrica de outono/inverno, entre 1.000 mm a 1.500 mm, com à temperatura média do ar, variando, no litoral, entre 23°C e 28°C. Tais características climáticas distintas, bem como outras, podem influenciar na geração de biogás dos aterros sanitários, interferindo tanto nos hábitos da população dessas regiões e conseqüentemente da geração e composição dos RSU, quanto nos processos bioquímicos de decomposição que ocorrem nestes aterros.

3.2. Aterros Sanitários e Produção de Biogás

O aterro sanitário é uma forma adequado de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo que utiliza princípios e técnicas de engenharia para reduzir a área e o volume ocupados pelos resíduos, utilizando uma camada de cobertura de terra ao fim de cada jornada de trabalho. A operação de um aterro sanitário inclui: sistema de drenagem das águas superficiais; a coleta, transporte e tratamento do lixiviado; a forma de impermeabilização inferior e superior; e a drenagem dos gases gerados, visando a segurança pública, sem causar danos à saúde e buscando minimizar os impactos sobre o meio ambiente (ABNT NBR 8.419).

O biogás produzido nos aterros sanitários é formado devido ao processo de decomposição dos componentes orgânicos depositados no local. Tal processo é um fenômeno constituído essencialmente pela superposição de mecanismos biológicos e físico-químicos, catalisados tanto pela água presente nos resíduos pela umidade inicial, quanto pelas águas das precipitações que infiltram (Castilhos Jr. *et al.*, 2003). Logo, os aterros sanitários comportam-se como verdadeiros reatores biológicos heterogêneos, tendo como principais componentes de entrada e alimentação os resíduos e a água, e como principais elementos de saída o lixiviado e o biogás (Marques, 2001).

Pohland & Harper (1985) propuseram um modelo composto de cinco fases distintas visando avaliar a estabilização dos resíduos sólidos em aterros sanitários ao longo do tempo. Para tal, utilizaram como parâmetros indicativo de cada fase, a variação da qualidade e da quantidade dos lixiviados e gases produzidos. As diferentes fases são descritas a seguir e visualizadas na Figura 3.

Fase 1: Fase Inicial - A disposição dos resíduos é recente e há início do acúmulo de umidade no interior do aterro. A decomposição é caracterizada pela presença de microrganismos aeróbios e facultativos. Presença de oxigênio diminui e começam as mudanças no interior do aterro iniciando o processo de estabilização.

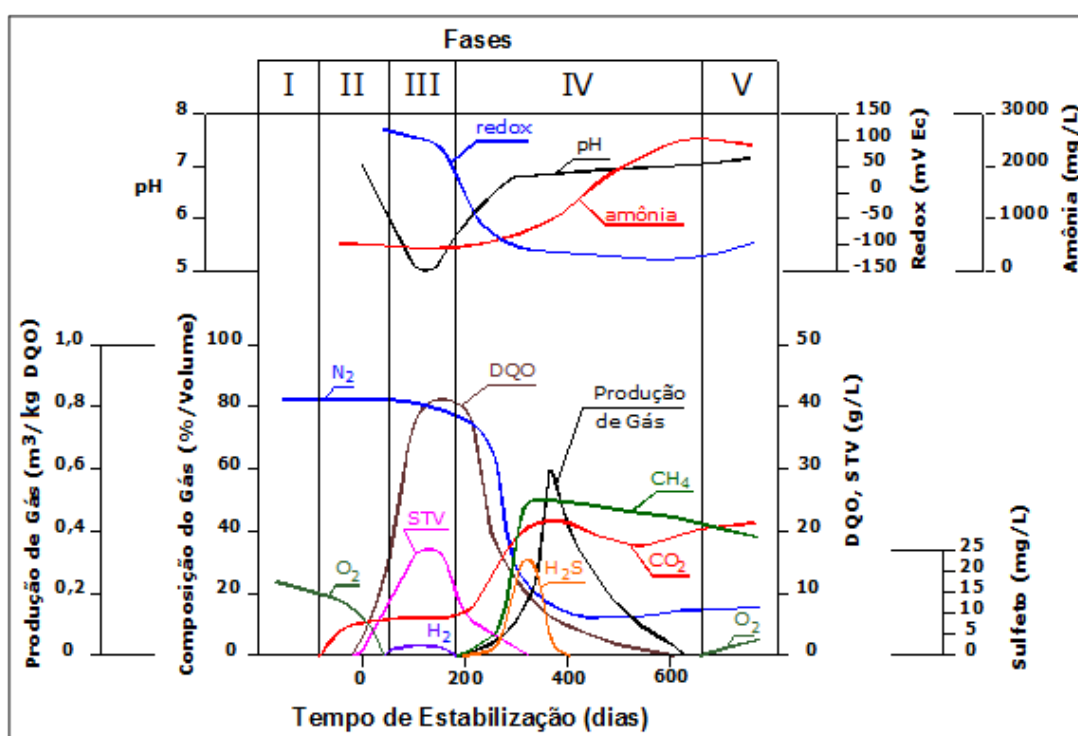


Figura 3 - Fases de estabilização dos resíduos sólidos urbanos.

Fonte: Pohland e Harper (1986) *apud* Castilhos Jr. *et al.* (2003).

Fase 2: Fase de Transição - A capacidade de retenção em água é excedida e inicia-se a formação de lixiviado. Ocorre uma transição da estabilização microbiana aeróbia inicial para anaeróbia. O aceptor de elétrons passa do oxigênio para os nitratos e sulfatos, com substituição do oxigênio pelo dióxido de carbono. O potencial redox diminui. Os intermediários mensuráveis, como os ácidos graxos orgânicos voláteis, aparecem pela primeira vez no lixiviado.

Fase 3: Formação de Ácido - Ácidos graxos orgânicos voláteis intermediários tornam-se predominantes com a contínua hidrólise e fermentação de resíduos e constituintes do lixiviado. Uma queda abrupta no pH ocorre com uma mobilização concomitante e possível complexação de espécies de metal. Nutrientes como nitrogênio e fósforo são liberados e utilizados no suporte do crescimento de biomassa proporcional às taxas de conversão de substrato prevaletentes. O hidrogênio pode ser detectado e afetar a natureza e o tipo de produtos intermediários que estão sendo formados.

Fase IV: Fermentação do Metano - Os produtos intermediários produzidos na fase anterior são convertidos em metano e dióxido de carbono em excesso. Ocorre uma estabilização do pH controlado pelo tampão bicarbonato. Os potenciais de oxidação-redução estão em seus valores mais baixos. Os nutrientes continuam a ser consumidos. A complexação e a precipitação de espécies de metal continuam. A força orgânica do lixiviado diminui drasticamente em correspondência com os aumentos na produção de gás.

Fase V: Maturação Final - a atividade biológica torna-se praticamente inativa após a estabilização biológica ativa dos constituintes orgânicos prontamente disponíveis no resíduo e no lixiviado. Os nutrientes podem se tornar limitantes. A produção mensurável de gás quase cessa. As condições ambientais naturais são restabelecidas. O oxigênio e as espécies oxidadas podem reaparecer lentamente com um aumento correspondente no potencial de redução da oxidação. Materiais orgânicos mais resistentes a micróbios podem ser convertidos lentamente com a possível produção de substâncias semelhantes a húmicos, capazes de complexar e remobilizar metais pesados.

Vale ressaltar que tais fases, na prática, ocorrem simultaneamente em pontos distintos do aterro, tendo em vista que cada aterro tem uma família de diferentes idades associada às suas várias seções ou células. Além disso, cada aterro tem seu respectivo progresso em direção à estabilização dos RSU, sofrendo influência das condições físicas, químicas e microbiológicas desenvolvidas em cada seção com o tempo (Pohland e Harper, 1986).

O fator mais importante na avaliação do potencial de geração de biogás de um local é a composição dos resíduos, uma vez que os resíduos orgânicos em decomposição são a fonte de todo o biogás produzido (Environment Canada, 1996). No entanto, outros fatores influenciam sua taxa de produção, dentre eles a umidade, potencial hidrogeniônico (pH), tamanho das partículas no resíduo, idade, temperatura, entre outros. Os fatores que afetam a geração de biogás foram descritos por Brito Filho (2005):

Composição do resíduo – quanto maior a porcentagem de material orgânico na composição do resíduo, maior será o potencial de produção de biogás no aterro. Resíduos de alimentos são exemplos de matéria orgânica facilmente decomposta, o que acelera a taxa de produção do gás, enquanto que materiais que se decompõem lentamente, como grandes pedaços de madeira, não contribuem significativamente para a geração de gás;

Umidade – as condições de umidade no aterro dependem de diversos fatores, como a umidade com que o resíduo chega ao aterro, o percentual de infiltração da água da superfície e do solo, da pluviosidade regional, além da água produzida durante a decomposição. Quanto maior o teor de umidade, maior será a taxa de produção do biogás;

Tamanho das partículas e compactação– quanto menor a unidade da partícula, maior será a área da superfície específica e, portanto, a decomposição será mais rápida se comparada a uma partícula de menor área. Por exemplo, a decomposição de um tronco de madeira ocorrerá mais rápida se este for cortado em pedaços menores ao invés de ser disposto inteiro. De acordo com DeWalle *et al.* (1978) apud USEPA (2005), a trituração aumentou as taxas de produção de gás dos aterros, enquanto o aumento da compactação diminuiu as taxas. O mesmo autor previu ainda que a produção de gás quadruplicou quando o tamanho das partículas residuais diminuiu por um fator de dez.

Idade do resíduo – a geração do biogás num aterro possui duas variáveis dependentes do tempo: tempo de atraso (período que vai da disposição do resíduo até o início da geração do metano) e tempo de conversão (período que vai da disposição do resíduo até o término da geração do metano). Os resíduos novos possuem potencial de geração de metano maior, quando comparados à resíduos antigos que, em condições de umidade adequada, já passaram pelos processos de decomposição;

pH – dentro da faixa ótima de pH a produção do metano é maximizada, enquanto que fora dessa faixa – um pH abaixo de 6 ou acima de 8 – a produção de metano fica estritamente limitada;

Temperatura – as condições de temperatura de um aterro influenciam os tipos de bactérias predominantes e o nível de produção de gás. As máximas temperaturas do aterro freqüentemente são alcançadas dentro de 45 dias após a disposição dos resíduos, como um resultado da atividade aeróbia microbiológica. Elevadas temperaturas de gás dentro de um aterro são o resultado da atividade biológica. As temperaturas típicas do gás produzido em um aterro variam, tipicamente, entre 30 a 60° C; e

Outros fatores – Outros fatores que podem influenciar a taxa de geração de gás são os nutrientes, bactérias, compactação de resíduos, dimensões do aterro (área e profundidade), operação do aterro e processamento de resíduos variáveis. É importante ressaltar que a maior parte do território Brasileiro possui condições favoráveis para a produção de biogás em aterros sanitários, pelas condições de umidade e temperatura e, principalmente, pela predominância de matéria orgânica na composição dos resíduos sólidos (ELK et al., 2007).

O biogás é composto por vários gases, alguns em grandes quantidades como metano CH₄ (45-60%) e o dióxido de carbono (CO₂) (40-60%), e outros em pequenas quantidades (traços), como nitrogênio (2-5%), oxigênio (0,1-1%), hidrogênio (0-0,2%), monóxido de carbono (0-0,2), amônia (0,1-1%), NMOCs (substância orgânica sem metano) (0,01-0,6%) e sulfeto (0-1%) (NJOKU et al. 2018 e WILLIAMS, 2001). A distribuição do percentual dos gases que compõe o biogás é variável e dependente da natureza orgânica dos resíduos depositados, da eficiência do processo e o tempo de existência do aterro sanitário. Tipicamente, esses percentuais são em torno de 60% de metano, 35% de dióxido de carbono e 5% de uma mistura dos outros gases.

Quando se trata de utilizar o biogás como combustível, o metano é o componente principal, de forma que os demais gases representam impurezas que prejudicam o processo de queima tornando-o menos eficiente, pois entram com o combustível no processo de combustão e absorvem parte da energia gerada e à medida que se eleva a concentração das impurezas, o poder calorífico do biogás se torna menor (RYCKEBOSCH; DROUILLON; VERVAEREN, 2011 E ALVES, 2000).

Na estimativa teórica da quantidade de biogás produzido em um aterro sanitário devem ser computadas algumas perdas, como por exemplo, o escape do gás pela camada de cobertura do aterro, as perdas no trajeto do biogás ao longo da rede de drenagem, e as perdas devido a interfaces operacionais e ao nível de chorume. O projeto do aterro sanitário e sua forma operação, bem como o clima da região em que está implantado, são fatores que influencia a eficiência de captação do biogás gerado no aterro (ELK, 2007). De acordo com o relatório do Banco Mundial, um sistema de recuperação do biogás bem projetado, construído e operado pode coletar 75% ou mais do biogás produzido em um aterro sanitário.

3.3. Emissões de GEE e o Aproveitamento Energético do Biogás

A emissão de gases de efeito estufa tem sido o principal impulsionador das mudanças climáticas (AZIZ, 2019). A emissão de dióxido de carbono (CO_2) decorrente do consumo de energia para extração e produção dos bens (incluindo a extração e processamento dos combustíveis a serem usados); a emissão de CO_2 oriunda do consumo não-energético de combustíveis no processo de produção dos bens e a emissão de metano (CH_4) a partir dos aterros sanitários são relações conhecidas entre os RSU e o efeito estufa, por exemplo, segundo United States Environmental Protection Agency (EPA, 1998). Considerando que o metano tem potencial de aquecimento global para 100 anos 21 vezes maior que o dióxido de carbono (CO_2), encontrar formas economicamente viáveis e sustentáveis de aproveitamento dos resíduos sólidos urbanos gerados crescentemente, constitui-se em uma preocupação global (IPCC, 1996).

O biogás de aterro sanitário, conhecido como gás de lixo (GDL) ou de digestão anaeróbia é uma das principais formas de aproveitamento dos RSU. Com poder calorífico entre 4.500 e 6.000 kcal/m³, alguns possíveis usos dessa bioenergia incluem: i) a geração de eletricidade, gerada a partir da queima do biogás; ii) a comercialização de biometano ou gás natural renovável (GNR) – por atender à Resolução 16 (ANP, 2008), após sofrer um processo de purificação para ser utilizado como substituto (ou complemento) ao gás natural e iii) o calor, utilizado nos próprios processos ou podendo ser exportado caso haja demanda, inclusive de frio (Epe, 2014; PDE, 2030). Além disso, as usinas de gás de aterro fornecem crescimento econômico, criando receitas e empregos, enquanto faz a captura e sequestro de carbono, que leva a emissões negativas e, conseqüentemente, à mitigação das mudanças climáticas (Welfle, 2020).

A geração de energia elétrica a partir do biogás apresenta algumas vantagens como a utilização de um combustível renovável de baixo custo (resíduo de processo), com menor emissão de poluentes e balanço de carbono negativo, além da possibilidade de geração descentralizada próxima aos pontos de distribuição, diminuindo custos e perdas na transmissão.

A conversão energética do biogás é o processo de transformação da energia química de suas moléculas, por meio de uma combustão controlada, em energia mecânica. Essa energia mecânica poderá acionar um alternador gerando, então, a energia elétrica. Dentre as tecnologias convencionais para a transformação energética do biogás destacam-se as caldeiras, turbinas a gás e os motores de combustão interna. Existem também tecnologias emergentes como as células de combustíveis que, ainda em fase de desenvolvimento e aperfeiçoamento, pode ser considerada uma tecnologia promissora (CASTRO, 2006).

Lima *et al* (2017) estimou o potencial espacialmente distribuído de produção de biogás de aterro que pode ser utilizado para geração de energia elétrica no Brasil entre os anos de 2015 e 2045, considerando dois cenários: (i) aterros sanitários operacionais e (ii) cenário hipotético de Arranjos Territoriais (TA) abrangendo todas as cidades brasileiras, considerando um aterro por TA. Segundo este estudo, a capacidade instalada total estimada em 2018 para o cenário 1 foi de cerca de 523 MW e 87% desse número está relacionado a usinas de biogás de aterros maiores que 1 MW. Nesse mesmo ano, a capacidade instalada total estimada para o cenário 2 foi de 768 MW e 95% desse número estão relacionados a usinas de biogás de aterros maiores que 1 MW. Esses resultados enfatizam que o Brasil tem um potencial considerável inexplorado de biogás e a importância dos consórcios municipais para a gestão de RSU.

3.4. Modelos Matemáticos de Estimativa da Produção do Biogás

Os modelos matemáticos são uma ferramenta útil e econômica para estimar o potencial de geração do biogás. Os resultados obtidos desse tipo de modelagem podem ser usados para avaliar o potencial de emissões e para avaliar a viabilidade do projeto de recuperação e aproveitamento do gás de aterro sanitário (ESMAP, 2004). O sucesso preditivo de qualquer modelo depende principalmente do grau de precisão necessária, da confiabilidade dos dados de entrada, da experiência do indivíduo que analisa os dados e do grau de similaridade entre o local em questão e outros locais que foram modelados com sucesso (ESMAP, 2004).

Existem vários modelos disponíveis para calcular a produção do biogás gerado nos aterros sanitários e todos esses modelos podem ser usados para desenvolver uma curva que prevê a geração de metano ao longo do tempo (ESMAP, 2004). De acordo com a cinética química, esses modelos podem ser amplamente classificados em ordem zero, primeira ordem, segunda ordem, multifásico ou uma combinação de ordens (USEPA, 2005a). Os resultados do modelo de ordem zero mostraram-se não confiáveis devido a erros relativamente altos, em contrapartida, a utilização de modelos de segunda ordem torna o procedimento de modelagem substancialmente mais complicado, e o acréscimo de precisão é insuficiente para justificar sua aplicação (AMINI *et al.*, 2012). Portanto, o modelo de primeira ordem é o mais amplamente aplicado para estimar a produção de metano ao longo da vida de um aterro (AMINI *et al.*, 2013; ISHII, FURUICHI, 2013; KARANJEKAR *et al.*, 2015; LIMA *et al.*, 2017; FALLAHIZADEH *et al.*, 2019; ZAVARISE *et al.*, 2021).

Os modelos cinéticos de primeira ordem incorporam o efeito da idade do resíduo na produção de gás, assumindo que a emissão de metano decresce exponencialmente com o tempo

de aterramento dos resíduos e que esse declínio gradual ocorre após o fechamento do aterro (USEPA, 2005a; TOMPSON *et al.*, 2009). Tais modelos consideram a variação anual das emissões de metano com base em dois parâmetros: o potencial de geração (L_0), que depende do tipo de composição dos resíduos e a constante de decaimento (k), que varia de acordo com a umidade, temperatura, pH, tipo de disposição de resíduos e nutrientes para o processo anaeróbio, influenciando a velocidade de geração de biogás (PENTEADO *et al.*, 2012; SANTOS, ROMANEL, ELK, 2017; DA SILVA *et al.*, 2020b).

Dentre os modelos de decaimento de primeira ordem, os mais conhecidos e empregados, sobretudo na apresentação de estudos para agências financiadoras de projetos são: o modelo LandGEM 3.02 (2005), elaborado pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US-EPA, da sigla em inglês); o modelo Scholl Canyon recomendado pelo Banco Mundial e Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), em suas várias versões (IPCC 1997; 2000; 2006) (ELK *et al.*, 2007; SANTOS *et al.*, 2017).

3.4.1. Modelo Scholl-Canyon

Conhecido como Scholl-Canyon, é recomendado pelo Banco Mundial (2004) por ser simples, de fácil aplicação e o mais empregado pelas agências reguladoras e instituições financeiras que apoiam os projetos de aproveitamento do biogás de aterros na América do Sul. Esse modelo baseia-se na premissa de que há uma fração constante de material biodegradável no aterro sanitário por unidade de tempo, o que se expressa a partir da Equação 1 de primeira ordem.

$$Q_{CH_4} = k \cdot L_0 \cdot m_i \cdot e^{-kt} \quad (1)$$

Em que:

Q_{CH_4} = quantidade de gás gerado durante um ano (m^3 /ano)

k = taxa de geração de metano por ano (1/ano)

L_0 = potencial de geração de metano em peso de lixo (m^3 /t)

m = massa de resíduos depositados no ano “i”, (t/ano)

t = anos após o encerramento do aterro (anos)

Este modelo é muito semelhante ao modelo do IPCC (1997) descrito pela eq. (A4). Não há muita indicação de como a variável tempo deve ser usada, mas pela tabela que mostra os

cálculos em um exemplo, pode-se ver que a quantidade de resíduos colocados em um ano começará a emitir metano a partir do ano seguinte e com o máximo da função exponencial neste ano. Neste caso, a diferença para o cálculo da massa total é uma superestimativa de cerca de 3,5%, conforme explicado na análise do modelo do IPCC (1997).

3.4.2. Modelo LandGEM Version 3.02

Também chamado de Landfill Gas Emission Model (Landgem), foi desenvolvido pela US-EPA (2005) para aterros sanitários ativos e encerrados. O modelo vem em uma planilha do Excel que fornece padrões baseados em dados empíricos de aterros sanitários dos EUA, permitindo também outros valores. Ele pode ser usado tanto para regulamentações dos EUA quanto para inventários. É bastante empregado no mundo, tendo sido utilizado inclusive no estudo do potencial de geração de energia nos municípios brasileiros realizado pelo Ministério do Meio Ambiente. Esse método visa obter o processo contínuo em intervalos de tempo menores para estar mais próximo de uma integração real da função de geração de metano, expresso pela Equação 2, cinética de primeira ordem.

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0.1}^1 k \left(\frac{M_i}{10}\right) L_0 e^{-kt_{ij}} \quad (2)$$

Em que:

Q_{CH_4} = geração anual de metano no ano do cálculo (m^3 /ano)

i = incremento de tempo de 1 ano

n = (ano do cálculo) - (ano inicial de aceitação de resíduos)

j = incremento de tempo de 0,1 ano

k = taxa de geração de metano (ano^{-1})

L_0 = capacidade potencial de geração de metano (m^3 / Mg)

M_i = massa de resíduo aceita no i^o ano (Mg)

t_{ij} = idade da j^a seção da massa de resíduos M_i aceita no i^o ano (anos decimais, por exemplo, 3,2 anos)

Assim como o modelo do IPCC (2006), este calcula as emissões desde o ano após o descarte. Considerando um aterro que recebe resíduos com um k constante representando uma meia-vida de 10 anos, este modelo dá resultados com apenas 0,3% de superestimação em relação à integração exata da curva.

3.4.3. Modelo IPCC (2006)

O Modelo de Decaimento de Primeira Ordem de Resíduos do IPCC (2006) oferece duas opções para a estimativa das emissões de RSU, que podem ser escolhidas dependendo dos dados de atividade disponíveis:

- i) a primeira opção é um modelo multifásico ou multicomponentes baseado em dados de composição de resíduos, no qual as quantidades de cada tipo de resíduos degradáveis (alimentos, resíduos de jardins e parques, papel e papelão, madeira, têxteis, etc.) nos RSU são contabilizados separadamente, considerando cada um com cinética diferente de degradação e
- ii) a segunda opção é o modelo monofásico baseado em resíduos a granel (MSW) (IPCC, 2006).

As diretrizes do IPCC (2006) são mais cautelosas ao lidar com um fenômeno contínuo relatado por valores discretos. O fato de considerar a velocidade de reação específica para cada material, diferencia o modelo do IPCC (2006) dos outros modelos propostos pelo próprio IPCC, EPA e Banco Mundial. O modelo também leva em conta o atraso real observado na decomposição de resíduos por bactérias metanogênicas, fornecendo um atraso médio de seis meses até que a geração de CH₄ substancial comece (o tempo que leva para que as condições anaeróbicas se tornem bem estabelecidas).

O modelo recomendado pelo IPCC 2006 é baseado em duas equações (3 e 4) principais que podem ser consideradas o núcleo do modelo:

$DDOC_{ma(T)}$: massa de carbono orgânico degradável (DOC) depositada, acumulada no aterro (SWDS) no final do ano T:

$$DDOC_{ma(T)} = DDOC_{md(T)} + DDOC_{md(T-1)} \times e^{-k} \dots\dots\dots (3)$$

$DDOC_{m\ decomposto}$: massa de carbono orgânico degradável (DOC) decomposta no aterro (SWDS) no final do ano T:

$$DDOC_{m\ decomp(T)} = DDOC_{ma(T-1)} \times (1 - e^{-k}) \dots\dots\dots (4)$$

As demais equações usadas, como a matemática de cada fração/categoria de resíduos é a mesma, a indexação para fração/categoria é omitida para as equações 5 a 10.

- Cálculo da massa DOC degradável (DDOC_{md(T)}) a partir da massa residual (W):

$$DDOC_{md(T)} = W_{(T)} \times DOC \times DOCf \times MCF \dots\dots\dots (5)$$

- Quantidade de DDOC_m remanescente (depositada sem degradação) no final do ano de deposição T:

$$DDOC_{mrem(T)} = DDOC_{md(T)} e^{(-k - ((13-M)/12))} \dots\dots\dots (6)$$

- Quantidade de DDOC_m depositada decomposta durante o ano de deposição T:

$$DDOC_{mdec(T)} = DDOC_{md(T)} (1 - e^{(-k - ((13-M)/12))}) \dots\dots\dots (7)$$

- Quantidade de DDOC_m acumulada no SWDS no final do ano T

$$DDOC_{ma(T)} = DDOC_{mrem(T)} + (DDOC_{ma(T-1)} \times e^{-k}) \dots\dots\dots (8)$$

- Quantidade total de DDOC_m decomposta no ano T

$$DDOC_{mdecomp(T)} = DDOC_{mdec(T)} + (DDOC_{ma(T-1)} \times (1 - e^{-k})) \dots\dots\dots (9)$$

- Quantidade de CH₄ gerada a partir do DOC degradado

$$CH_4 \text{ gerado } (T) = DDOC_{mdecomp(T)} \times F \times (16/12) \dots\dots\dots (10)$$

Em que:

T: o ano do inventário

X: fração de material/categoria de resíduos

W_(T): valor da massa de resíduos depositada no ano T

MCF: Fator de Correção de Metano

DOC: Carbono orgânico degradável (sob condições aeróbias)

DOCf: Fração de DOC em decomposição em condições anaeróbias

DDOC: Carbono Orgânico Degradável Decomponível (sob condições anaeróbias)

DDOC_{md(T)}: massa de DDOC depositada no ano T

DDOC_{mrem(T)}: massa de DDOC depositada no ano de estoque T, sem decomposição no fim do ano.

DDOC_{mdec(T)}: massa de DDOC depositada no estoque do ano T, decomposta durante o ano.

DDOC_{ma(T)} = massa total de DDOC não decomposta no final do ano T.

DDOC_{ma(T-1)} = massa total de DDOC não decomposta no final do ano T-1.

$DDOC_{mdecomp(T)}$ = massa total de DDOC decomposta no ano T.

$CH_4_{gerado(T)}$ = CH_4 gerado no ano T

F = Fração de CH_4 por volume no gás de aterro gerado

16/12 = Razão de peso molecular CH_4/C

k = taxa de decaimento, constante cinética de degradação ou taxa de geração de metano

M = Mês de início da reação (= tempo de atraso + 7)

3.4.4. Parâmetros L_0 e k

Os parâmetros L_0 e k são considerados os mais importantes, pois refletem características da localidade onde está inserido o aterro sanitário, tais como: a precipitação, temperatura, composição dos resíduos, entre outros. Também são comuns a todos os modelos, embora não seja usado explicitamente nas Diretrizes do IPCC (2006), produto de $DDOC_m$, a concentração de CH_4 no gás (F) e a razão entre o peso molecular do CH_4 e do C (16/12).

A constante de degradação (k) representa a taxa de biodegradação de primeira ordem na qual o metano é gerado após a disposição dos resíduos no aterro sanitário. Em sistemas controlados, esse parâmetro é influenciado pelo teor de umidade, disponibilidade de nutrientes, pH e temperatura. Aplicado em situações reais, esta constante varia conforme precipitação, composição dos resíduos e condições de operação do aterro.

O teor de umidade em um aterro sanitário é um dos parâmetros mais importantes que afetam a taxa de geração de gás, tendo em vista que a umidade serve como meio de transporte de nutrientes e bactérias, influenciado principalmente pela infiltração da precipitação através da cobertura do aterro. Além disso, outros fatores como: a quantidade e o tipo de cobertura diária utilizada no local; a permeabilidade e o tempo de colocação da cobertura final; o tipo de forro de base; o sistema de coleta de chorume; e a profundidade dos resíduos no local também afetam o teor de umidade nos resíduos e conseqüentemente, a taxa de geração de gás.

Elevados valores de k indicam uma produção mais acelerada do gás ao longo do tempo. Para a determinação desse parâmetro é comum a utilização do conceito do tempo de meia-vida ($t_{1/2}$) de um reagente, que consiste no tempo necessário para que a metade da quantidade original presente na reação seja consumida. Desta forma, a constante de velocidade de reação k pode ser obtida pela Equação 11:

$$k = \ln(2)/t_{1/2} \text{ (y}^{-1}\text{)} \dots\dots\dots (11)$$

Onde:

k = constante de decaimento (ano^{-1});

$t_{1/2}$ = meia vida do carbono degradável (anos)

As Tabela 1 e 2 apresentam faixas sugeridas e a atribuição de parâmetros recomendada para o valor da taxa de geração de metano (constante de decaimento, k). Este valor é considerado para produzir uma estimativa razoável de geração de metano em certas regiões geográficas e sob certas condições do local. Valores típicos de k variam de 0,02 para locais secos a 0,07 para locais úmidos, sendo 0,05 valor padrão usado pela U.S. EPA para locais com mais de 25 polegadas (625 mm) de precipitação por ano (EMASP, 2004 e U.S. EPA, 1994).

Tabela 1 - Sugestões de valores pelo EMASP (2004) de k de acordo com a precipitação anual.

Precipitação anual	Valores de k		
	Relativamente inerte	Moderadamente decomposto	Altamente decomposto
< 250 mm	0,01	0,02	0,03
>250 a <500 mm	0,01	0,03	0,05
> 500 a < 1000	0,02	0,05	0,08
>1000 mm	0,02	0,06	0,09

Fonte: Adaptado de EMASP, 2004.

Tabela 2 - Constantes de degradação (k), sugeridos pelo IPCC (2006) para cada tipo de material.

Componentes de RSU		Zona Climática*							
		Boreal e Temperado ($\text{MAT} \leq 20^\circ\text{C}$)				Tropical ¹ ($\text{MAT} > 20^\circ\text{C}$)			
		Seco ($\text{MAP/PET} < 1$)		Úmido ($\text{MAP/PET} > 1$)		Seco ($\text{MAP} < 1000 \text{ mm}$)		Úmido ($\text{MAP} \geq 1000 \text{ mm}$)	
		k	Faixa ²	k	Faixa ²	k	Faixa ²	K	Faixa ²
Resíduos de decomposição lenta	Resíduos de papel/têxtil	0,04	0,03 ^{3,4} a 0,05 ^{3,4}	0,06	0,05 a 0,07 ^{3,5}	0,045	0,04 a 0,06	0,07	0,06 a 0,085
	Resíduos de madeira /palha	0,02	0,01 ^{3,4} a 0,03 ^{6,7}	0,03	0,02 a 0,04	0,025	0,02 a 0,04	0,035	0,03 a 0,05
Resíduos de decomposição moderada	Resíduos de jardins e parques	0,05	0,04 a 0,06	0,1	0,06 a 0,1 ⁸	0,065	0,05 a 0,08	0,17	0,15 a 0,2
Resíduos de decomposição rápida	Resíduos de comida/lodo de esgoto	0,06	0,05 a 0,08	0,185 ⁴	0,1 ^{3,4} a 0,2 ⁹	0,085	0,07 a 0,1	0,4	0,17 a 0,7 ¹⁰
Resíduos a granel ou resíd. industriais	Composição misturada	0,05	0,04 a 0,06	0,09	0,08 ⁸ a 0,1	0,065	0,05 a 0,08	0,17	0,15 ¹¹ a 0,2

¹ As informações disponíveis sobre a determinação de k e meias-vidas em condições tropicais são bastante limitadas. Os valores incluídos na tabela, para essas condições, são indicativos e derivam principalmente das premissas descritas no texto e valores obtidos para condições temperadas.

2 O intervalo refere-se aos dados mínimos e máximos relatados na literatura ou estimados pelos autores do capítulo. Está incluído, basicamente, para descrever a incerteza associada ao valor padrão.

3 Oonk e Boom (1995).

4 IPCC (2000).

5 Brown e cols. (1999). Um valor próximo (16 anos) foi usado, para degradabilidade lenta, na verificação do modelo GasSim (Attenborough et al., 2002).

6 Meio Ambiente Canadá (2003).

7 Nesta faixa são relatados valores de meia-vida mais longos (até 231 anos) que não foram incluídos na tabela, pois são derivados de valores de k extremamente baixos usados em locais com temperatura média diária < 0°C (Levelton, 1991).

8 Estimado de RIVM (2004).

9 Valor utilizado para degradabilidade rápida, na verificação do modelo GasSim (Attenborough et al., 2002);

10 Estimado de Jensen e Pipatti (2003).

11 Considerando $t_{1/2} = 4 - 7$ anos como valores característicos para a maioria dos países em desenvolvimento em clima tropical. Condições de alta umidade e resíduos altamente degradáveis.

*Adaptado de: Capítulo 3 do GPG-LULUCF (IPCC, 2003).

MAT – Temperatura média anual; MAP – Precipitação média anual; PET – Evapotranspiração potencial.

MAP/PET é a razão de MAP para PET.

Fonte: Adaptado de IPCC, 2006.

O potencial de geração de metano (Lo) representa a produção total de metano (m^3 de metano por tonelada de resíduo). O valor Lo depende da composição dos resíduos e, principalmente, da fração de matéria orgânica presente. O valor Lo é estimado com base sobre o teor de carbono dos resíduos, a fração de carbono biodegradável e um fator de conversão estequiométrico. Os valores típicos para este parâmetro variam de $125 m^3$ de metano / tonelada de resíduo a $310 m^3$ de metano / tonelada de resíduo, sendo $170 m^3$ de metano / tonelada de resíduo o valor padrão utilizado pelo EPA dos EUA. No entanto, o usuário do modelo pode aumentar ou diminuir o Lo para refletir a caracterização dos resíduos com teores de resíduos orgânicos mais altos ou mais baixos. A Tabela 3, mostra valores de Lo sugeridos para resíduos orgânicos (EMASP, 2004 e U.S. EPA, 1994).

Tabela 3 - Sugestões de valores de Lo por tipo de resíduo orgânico.

Categorização do resíduo	Valor mínimo de Lo	Valor máximo de Lo
Resíduo relativamente inerte	5	25
Resíduo moderadamente decomposto	140	200
Resíduo altamente decomposto	225	300

Fonte: Adaptado de EMASP, 2004.

Embora esses três modelos de primeira ordem tenham os mesmos componentes básicos com pequenas diferenças, seus resultados variam consideravelmente. A equação usada no LandGEM v. 2.01 por exemplo, integra a geração de metano a cada ano, semelhante ao Scholl Canyon, mas divide os resíduos por dez. No entanto, a equação revisada no LandGEM v. 3.02

integra a geração de metano ao longo de um incremento de tempo de 0,1 ano, produzindo estimativas de emissão ligeiramente mais baixas do que versões anteriores para valores típicos de k (TOMPSON, 2009).

Firmo (2013) estudou o potencial de geração de biogás e metano com resíduos provenientes do aterro de Muribeca/PE, sob duas condições: com resíduos novos que compõem os RSU e com resíduos velhos desenterrados em diferentes estágios de decomposição. Esta autora observou que os resíduos novos apresentam a maior velocidade de degradação (k), seguida do resíduo com 3,5 anos e resíduo com 5 anos, e justifica que os resultados obtidos estavam coerentes com o estágio de degradação que se apresentavam as amostras, com o potencial de geração de CH₄ e também com a composição dos resíduos. A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos por essa autora.

Tabela 4 - Potencial de geração de metano (Lo), velocidade de degradação e geração de CH₄ (k), tempo de meia vida (t_{1/2}) e coeficiente de correlação experimental (R²).

Materiais	Lo – Potencial de geração de CH₄ (NmL/gS)	K (d⁻¹)	T_{1/2}(d)	R²
Novo	111,48	0,161	4,31	0,985
3,5 anos	66,11	0,143	4,85	0,830
5 anos	10,9	0,050	13,86	0,957

Fonte: Firmo, 2013.

3.4.5. Aplicações

Firmo (2013) ao utilizar os dados default recomendados pelos modelos de primeira ordem unicomponentes (EPA, 2005) e multicomponente (IPCC, 2006), observou que o modelo IPCC (2006) apresentou o menor erro relativo, representando bem o comportamento da geração de biogás. Verificando que modelo multicomponente pode ser melhor aplicado para análises da geração de biogás em aterros reais, desde que se tenha cautela nos parâmetros de entrada adotados. A autora também compilou dados de produção de biogás/CH₄ em condições ideais, como apresentado na Tabela 5.

Macedo (2019) utilizou os modelos de decaimento de primeira ordem do IPCC e do LandGEM da USEPA para avaliar o Potencial de Geração de Biogás no Aterro Controlado do Jóquei Clube de Brasília/DF. Os resultados obtidos da constante da taxa de geração (k) e do potencial de geração de metano (Lo), em relação a dois cenários de resíduos aterrados, variaram em um intervalo 18,6 Gg/ano (mínimo) a 57,1 Gg/ano (máximo) de metano e, em relação ao biogás total, de 75,4 Gg/ano (mínimo) a 231,2 Gg/ano (máximo) no período de 1967 a 2018.

Freire (2018) aplicou três a modelos matemáticos para estimar a quantidade total de biogás produzida pelo aterro sanitário no município de Brusque/SC: o Banco Mundial, o da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) e o do Painel Intergovernamental sobre Mudanças do Clima (IPCC, 1996). Após aplicação dos três modelos matemáticos, a estimativa a partir do modelo do Banco Mundial (Scholl-Canyon) foi determinado como a mais adequado para a finalidade do trabalho, mesmos sem garantia de que esse modelo fosse o mais próximo da realidade e com resultados mais conservadores em relação aos demais modelos utilizados. O valor máximo de biogás produzido, de acordo com esse modelo, seria de 83.524.480 m³CH₄, no ano de 2031, quando o aterro seria encerrado. A quantidade total de CH₄ produzida entre 1997 e 2097 seria de 2.527.690.843 m³CH₄, com média de 25.026.642 m³CH₄/ano. Além disso, a potência elétrica efetiva que poderia ser instalada no aterro, para aproveitamento de todo o biogás disponível, foi de em média 3,5 MW, atingindo seu valor máximo no ano de 2031, com 11,7 MW. A energia gerada nesse aterro por um sistema de 3,5 MW de potência seria capaz de atender continuamente 16.050 residências, entre os anos de 2012 e 2051, que representaria aproximadamente 48% das residências ocupadas no município de Brusque, onde o aterro se localiza.

Vieira e Candiani (2021) estimaram a geração de biogás/metano e o potencial energético, a partir dos RSU produzidos nos municípios da Região do ABC paulista utilizando o método de decaimento de primeira ordem, do IPCC (1996; 2000). Os resultados apresentados, em relação a emissão de metano, mostraram o valor máximo de 18.993,07 m³CH₄/h, com potencial de 32,84 MW, gerando 685,95 MWh de energia, somando todos os municípios da região, podendo abastecer uma população de até 268 mil habitantes, correspondendo a 8% da população estimada destes municípios no ano de 2047.

Tabela 5 - Estudos para determinação do potencial de geração de biogás/CH₄.

Autor	Condições experimentais	Tipo de Material	Geração de metano (m ³ /kg MS ¹)
Barlaz <i>et al.</i> 1989	56 reatores de 2 L e recirculação no processo.	RSU	0,077 – 0,152
Eleazer <i>et al.</i> 1997	Reatores com volume de 2 L preenchidos com resíduos triturados, com temperatura de 40°C, recirculação de lixiviado e adição de nutrientes. A duração do estudo foi até a não geração de biogás no qual variou conforme material de 80 a 660 dias.	Gramma	0,1444
		Folhas	0,0306
		Podas	0,0626
		Comida	0,3007
		Papel revestido	0,0844
		Papel velho	0,0743
		Papelão velho	0,1623
Wang <i>et al.</i> 1997	Reatores de 2,2 L, utilizou-se resíduo de comida, aprox. 500 g.	Resíduo de comida	0,301
Iglesias <i>et al.</i> 1999	Reator de PVC com diâmetro de 0,5 m e altura de 3,6 m, com temperatura de 36°C, recirculação de lixiviado. Duração de 780 dias.	RSU	0,093
Bonori <i>et al.</i> 2001	Reatores com volume de 1 L, resíduos com granulometria reduzida, temperatura de 40°C	Papel	0,184
		Cartão	0,161
		Res.de comida	0,281
		Res. de jardim	0,207
		Madeira	0,294
		Têxtil	0,222
Harries <i>et al.</i> (2001a)	Reatores com volume de 2 L preenchidos com resíduos processados e incubados a uma temperatura de 37°C.	Papel	0,93 – 0,249
		Cartão	0,183
		Res. De jardim	0,091 - 0,235
		comida+jardim	0,016 – 0,094
		Madeira	0,014 – 0,158
		Têxtil	0,094 – 0,142
Vignerón <i>et al.</i> (2005)	Reatores de 1,1 Litro, inoculados com lixiviado tratado anaerobiamente, temperatura de 35°C.	RSU	0,126 – 0,178
Radnidge <i>et al.</i> (2005)	Reatores com volume de 200 L e aprox. 65 kg de resíduo.	RSU	0,0025 – 0,068
Olivier <i>et al.</i> 2005	Ensaio BMP usando recipiente de 2 L, 30 g de resíduos e inoculado com 1400 mL de lodo anaeróbio e nutrientes, temperatura de 35°C. Sem informação da duração do ensaio.	Resíduos orgânicos	0,107 – 0,181
Erses <i>et al.</i> 2008	Reator de 96L, temperatura de 32°C, injeção de água, Duração de 640 dias	RSU	0,158
Alves (2008), Maciel (2011)	Reator com 250 mL, temperatura de 37,5°C, inoculados com lodo anaeróbio	RSU 7 anos	0,0115*
		RSU	0,1724 - 0,1127*
Achour (2008)	Reatores de 1 L com resíduos triturados, inoculados com lodo e nutrientes, T = 35°C, recirculação de líquidos. Duração de 90 dias.	RSU pré-tratado via TMB	0,169 – 0,324*
Dumas <i>et al.</i> 2009	Ensaio BMP de 5 L, inoculados com lodo anaeróbio, T= 55°C, recirculação de líquidos, amostras hidrolisadas para facilitar a degradação dos resíduos. Duração de 200 horas	Resíduos orgânicos	0,113
Yuan <i>et al.</i> 2012	Reatores de polipropileno contendo cerca de 800 g de resíduos triturados e inoculados com lodo anaeróbio, recirculação de lixiviado, temperatura de 37°C. Duração de 630 dias.	Resíduos bovinos	0,05 a 0,33

¹ MS- massa seca. * produção de biogás. Fonte: Adaptado de Firmo (2013).

Guedes (2018) identificou em sua pesquisa as usinas movidas a biogás de aterro sanitário em operação no Brasil, conforme apresentado na Tabela 6. A autora observou que as usinas são em sua maioria, localizadas na região Sudeste do país, identificando apenas uma usina instalada na região Nordeste, no Aterro Metropolitano Centro de Salvador BA, fora do perímetro do semiárido, em funcionamento desde o ano de 2011.

Tabela 6 - Usinas termelétricas movidas a biogás de aterro sanitário em operação no Brasil.

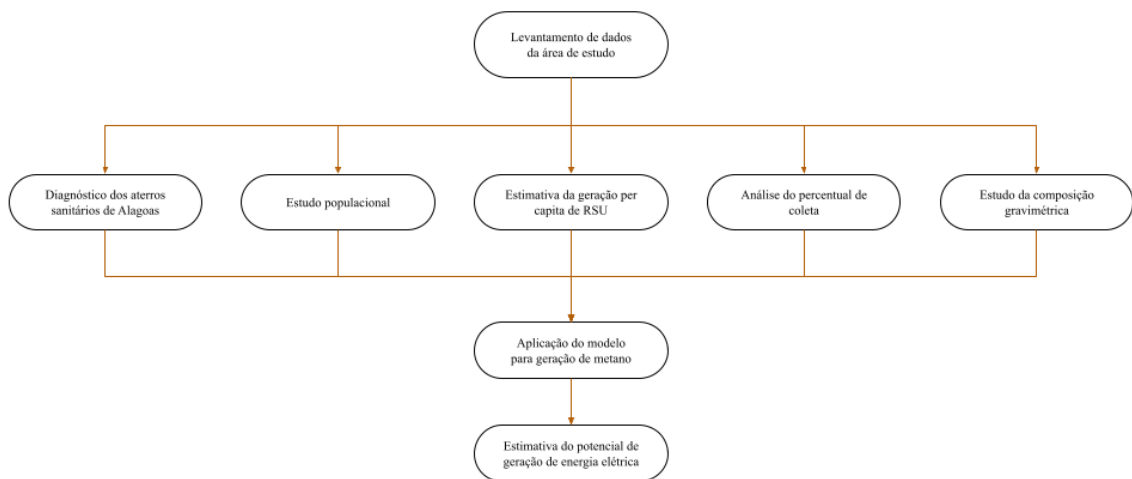
Aterro Sanitário	Município-Estado	Potência instalada	Ano de instalação	Produção média diária de biogás (m³.dia-1)	Recebimento médio de toneladas de RSU/dia
CTVA Caieiras	São Paulo-SP	29,50 MW	2016	45.600	-
Aterro São João	São Paulo-SP	21,56 MW	2008	360.000	-
Aterro Sanitário de Guatapar	Guatapar-SP	5,70 MW	2014	-	-
Aterro Sanitário Bandeirantes	São Paulo-SP	20,00 MW	2003	114.000	7.500
Aterro Sanitário Santana de Parnaíba	Santana de Parnaíba-SP	4,30 MW	2015	-	-
Aterro Sanitário de Barueri	Barueri-SP	30,00 KW	-	-	-
Aterro Metropolitano Centro de Salvador	Salvador-BA	19,73 MW	2011	12.000	-
Aterro Minas do Leão	Minas do Leão-RS	6,30 MW	2015	96.000	3.000
Aterro Sanitário de Uberlândia	Uberlândia-MG	-	2012	45.000	600
Aterro Sanitário da Canhanduba	Itajaí-SC	1,00 MW	2014	12.480	300
Aterro Sanitário Cascavel	Cascavel-PR	1,00 MW	2014	2.400	-
Aterro Sanitário de Juiz de Fora	Juiz de Fora-MG	2,85 MW	2015	10.024	-
Aterro Sanitário de Santa Maria	Santa Maria-RS	8,55 MW	2016	138.000	-
Aterro Sanitário de Belo Horizonte	Belo Horizonte-MG	4,90 MW	2010	120.000	-

Fonte: Adaptado de GUEDES, 2018 e NASCIMENTO, 2019.

4. METODOLOGIA

Para alcance dos objetivos propostos neste trabalho fez-se necessário o levantamento de informações da área de estudo visando a sua caracterização e obtenção dos dados de entrada dos modelos utilizados para a estimativa teórica de produção de biogás a partir dos aterros sanitários. Dentre os dados necessários para esse tipo de estudo, os mais relevantes são: diagnóstico da área de estudo e suas condições climáticas, a quantidade média de resíduos recebidos pelas centrais de tratamento e a composição gravimétrica dos RSU depositados nos aterros sanitários classe 2. Para melhor entendimento da sequência de ações, a estrutura analítica do projeto – EAP, está apresentada na Figura 4.

Figura 4 – Estrutura Analítica do Projeto.

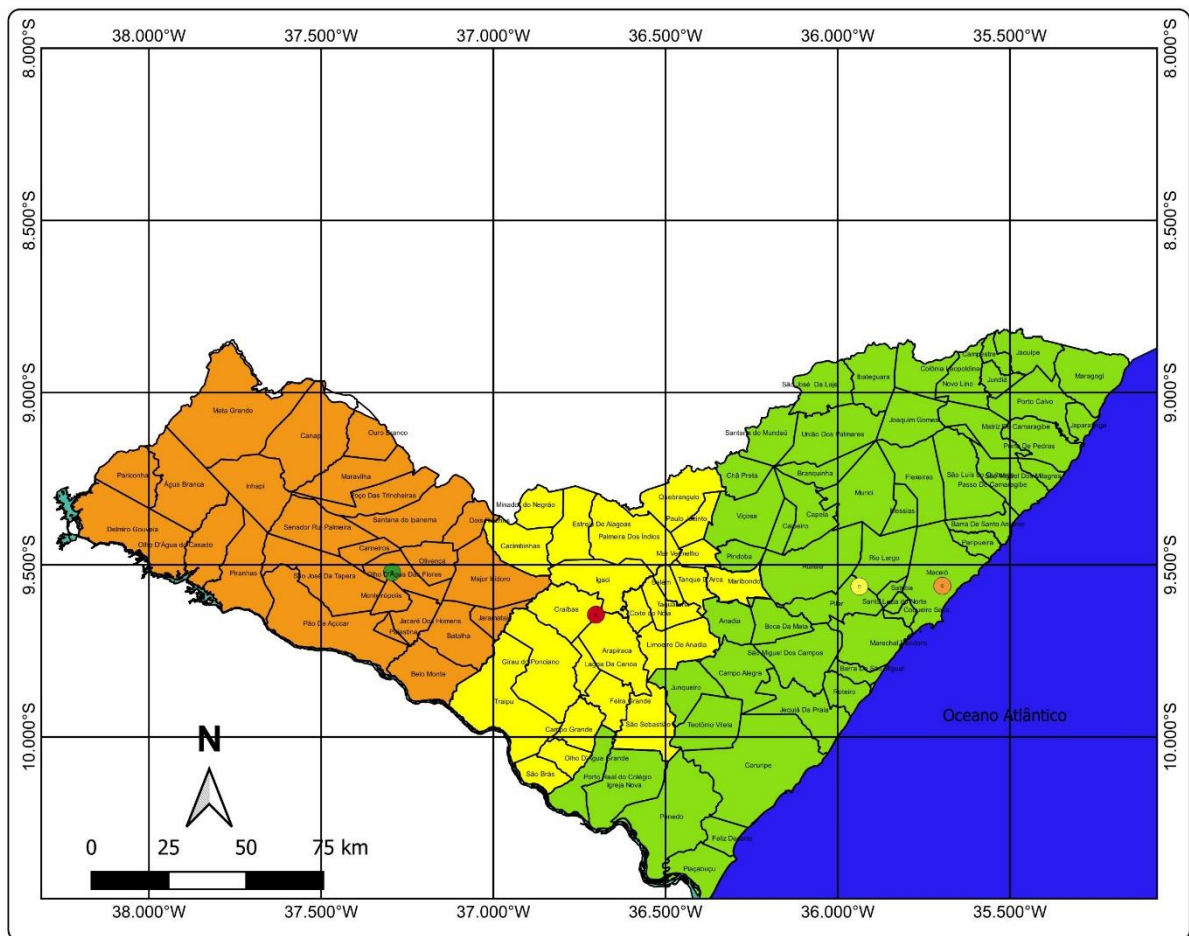


Fonte: Autora, 2021.

4.1. Diagnóstico da área de estudo

O alvo deste estudo é o estado de Alagoas que conta atualmente com 4 aterros sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos – RSU Classe II A, dois localizados na vertente do Rio São Francisco e dois localizadas na vertente do Atlântico como ilustrado na Figura 5.

Figura 5 - Localização das Centrais de Tratamento de Resíduos Sólidos de Alagoas.



Fonte: Autora, 2021.

Vertente do Oceano Atlântico:

- Aterro de Maceió integra a CTR de Maceió;
- Aterro Metropolitano integra a CTR Metropolitana do Consórcio Regional Metropolitano;

Vertente do Rio São Francisco:

- Aterro do CIGRES;
- Aterro integrante da CTR Agreste do CONAGRESTE.

O diagnóstico dos aterros sanitários classe II A, alvo deste estudo, foi feito por meio de visitas técnicas realizada em cada aterro e dados secundários, abordando:

- i) Aspectos regionais – localização, precipitação, clima, temperatura, tipo de solo;
- ii) Aspectos técnicos do aterro – levantados por meio de observação e entrevistas durante as visitas técnicas e por aplicação de questionário (ANEXO 1) enviado a administração dos aterros, envolvendo: o método de execução, classificação das células de recebimento dos resíduos, alcance de projeto (início, horizonte de operação e volume de resíduos), sistema de drenagem de águas pluviais, impermeabilização de base e cobertura, drenagem e tratamento de lixiviados, drenagem e tratamento de gases.
- iii) Aspectos ambientais - monitoramento do lixiviado e do biogás gerado;
- iv) Aspectos socioeconômicos da região – IDH, PIB per capita.

4.2. Estudo populacional

Para realização do cálculo da estimativa de geração dos RSU, além dos dados de geração per capita, fez-se necessário primeiramente, realizar o cálculo da estimativa populacional dos municípios que fazem parte da área de estudo, ou seja, aqueles que enviam seus RSU para os aterros sanitários do Estado de Alagoas, para cada ano de vida útil das CTRs.

Para tal, foram utilizados os dados dos Censos Demográficos dos anos de 1950, 1960, 1970, 1980, 1991, 2000 e 2010, as estimativas para 2017 a 2020 segundo estudo do Poder Judiciário de Alagoas e 2021 fornecido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Os municípios que integravam outro município e se emanciparam ao longo desse período, e que não possuem dados anteriores ao ano que foram desmembrados, para estes, foi feita uma estimativa com base na população do município de origem e descontada a estimativa da população do município desmembrado, do município de origem.

Aos dados foram aplicados aos métodos matemáticos de crescimento linear, geométrico, exponencial e logarítmico (Tabela 7), com o auxílio das ferramentas Google Colab e planilhas do Excel. Para verificar qual o método que apresentou o melhor ajuste, foi calculado o coeficiente de correlação (R^2), tendo sido adotada a equação de crescimento que apresentou coeficiente de correlação de Pearson mais próximo da unidade (melhor ajuste). A partir da curva de melhor ajuste foi feita a projeção da evolução populacional para o período de vida útil de cada CTR.

Tabela 7 - Equações matemáticas para estimativas de crescimento populacional.

Ajuste	Equação
Linear	$Y = A.X + B$
Geométrico	$Y = A.X^B$
Exponencial	$Y = A.e^{BX}$
Logarítmico	$Y = A.ln(X) + B$

4.3. Estimativa da geração *per capita* de RSU dos municípios (PCG)

Para o cálculo da estimativa de geração *per capita* de RSU (PCG) realizou-se primeiramente o levantamento de dados secundários através da série história do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento Básico – SNIS sobre Resíduos Sólidos entre os anos de 2001 e 2019 e Diagnóstico dos Resíduos Sólidos do estado de Alagoas realizado por Jucá (2002).

Em seguida foram solicitados dados de recebimento mensal de resíduos classe IIA que chegam a cada aterro, para o ano de 2020 e 2021. Com esses dados foi calculado o valor *percapita* de RSU coletado. Para o cálculo do valor *percapita* de RSU gerado, foi adicionado a cobertura do serviço de coleta fornecido pelo SNIS 2021 (com dados de 2020), como ilustrado na Equação 12.

$$PC \text{ gerado} = PC \text{ coletado} / \% \text{cobertura} \dots\dots\dots (12)$$

Com a série de dados de *percapita* levantada, tentou-se fazer uma análise de regressão para estimar o crescimento dos valores *percapita* para cada município do Estado de Alagoas ao longo do período de vida útil dos aterros. Entretanto, os dados não se apresentaram consistentes (coeficiente de correlação inferior a 0,1) o que impossibilitou a análise de regressão.

Diante disso, os dados de geração *percapita* levantados para 2020 e 2021 foram comparados com os dados constantes no levantamento realizado em 2000 por Jucá (2002), apresentado na Tabela 6, e verificou-se que em sua grande maioria (65%) ainda se encontravam dentro da estimativa proposta para cada faixa populacional. O erro relativo foi calculado pela razão entre o erro absoluto (valor fornecido pela CTR/SNIS – valor calculado) e o valor fornecido pela CTR/SNIS.

Tabela 8 - Taxa de Geração per Capita de resíduos sólidos urbanos por faixa de população.

Faixa Populacional	Estimativa de Geração Percapita (kg/hab/dia)								
	Domiciliar			Urbano			Total		
	Máx.	Mín.	Média	Máx.	Mín.	Média	Máx.	Mín.	Média
Menor que 10.000 hab.	0,75	0,4	0,57	0,63	0,04	0,3	1,16	0,54	0,87
Entre 10.000 e 20.000 hab.	0,87	0,43	0,6	0,91	0,01	0,35	1,38	0,60	0,88
Entre 20.000 e 50.000 hab.	0,88	0,47	0,61	0,61	0,04	0,33	1,35	0,55	0,94
Maior que 50.000 hab.	0,79	0,62	0,6	0,71	0,29	0,79	1,34	1,07	1,34

Fonte: JUCÁ, 2002.

Assim, para a projeção da evolução do valor de geração *percapita* de resíduos sólidos para o período de vida útil de cada aterro, foi adotada os valores levantados por Jucá (2002) apresentados na Tabela 8, tomando como referência, sempre que possível o *percapita* inicial levantado para 2021 ou o valor mínimo apresentado na Tabela 6, e como valor final do plano, o valor máximo levantado por Jucá (2002), com incremento anual calculado de acordo com a Equação 13.

$$TPCi = \frac{PCmax_i - PCmin_i}{H} \dots\dots\dots (13)$$

TPC = Taxa de crescimento de geração per capita de RSU do município com população i;

PCmax_i = geração per capita de RSU máxima do município com população i.

PCmin_i = geração per capita de RSU mínima do município com população i.

H = Horizonte médio restante até final de vida útil das CTR (20 ou 30 anos).

Para a CTR Maceió que recebe RSU somente de Maceió, utilizou-se a taxa de geração *percapita* anual. Para as 3 CTRs consorciadas que recebem resíduos de vários municípios, foi adotado o valor *percapita* anual calculado a partir da média ponderada dos valores *percapita* e a população de cada município envolvido, conforme Equação 14.

$$PCG = \sum_{i=1}^n \sum_{j=2022}^{2056} \frac{PCG_{ij} * P_{ij}}{P_{ij}} \dots\dots\dots (14)$$

Onde:

PCG = geração per capita anual da CTR no ano i

i = ano de projeção

j = municípios que destinam seus RSU para a CTR em questão.

P_{ij} = Projeção populacional no ano i do município j .

PCG_{ij} = geração per capita no ano i do município j .

4.4. Análise do percentual de coleta de RSU (R)

Este coeficiente estima a quantidade de RSU que são coletados e destinados as CTRs da área de estudo, que é de suma importância nas estimativas de produção de biogás e metano, tendo em vista que é o acúmulo de resíduos no aterro sanitário durante o seu período de operação, que resulta na geração do biogás o qual tende a decrescer nos anos posteriores ao seu fechamento.

Para as CTRs consorciadas, devido a fatores como distância média de transporte, custo do valor cobrado pelo recebimento do resíduo, entre outros, nem todo resíduo gerado é coletado e levado ao aterro sanitário. Assim o cálculo do coeficiente per capita de resíduos coletados pode apresentar valores significativamente diferentes nessas CTRs.

O levantamento do percentual de resíduos gerados que chegam ao aterro (R), ou seja, a quantidade RSU produzido que de fato é destinado aos aterros sanitários e aterrado, foi obtido utilizando-se os dados secundários do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS do ano de 2020 (Taxa de cobertura do serviço de coleta domiciliar direta IN014). Para a CTR Maceió que recebe RSU somente de Maceió, utilizou-se o R do ano de 2020. Para as 3 CTRs consorciadas que recebem resíduos de vários municípios, foi adotado o valor R calculado a partir da média ponderada dos valores Rs de cada município envolvido.

4.5. Cálculo da quantidade de RSU aterrado

A estimativa da quantidade de RSU que serão destinados aos aterros sanitários da área de estudo é de suma importância nas estimativas de produção de biogás e metano, tendo em vista que o acúmulo de resíduos no aterro sanitário durante o seu período de operação, resulta em maior geração do biogás e que sua geração decresce nos anos posteriores ao seu fechamento.

Após o cálculo da estimativa populacional, do *percapita* e do percentual de RSU aterrados, foi estimada a quantidade de resíduos sólidos que irão para os aterros sanitários da área deste estudo através da Equação 15.

$$G_{RSU} = \frac{Pop.PCG.R.365}{1000} \dots\dots\dots (15)$$

Em que,

G_{RSU} : geração anual de resíduos (ton./ano)

P_{op} : população no determinado ano considerado

PCG : geração per capita de resíduo do aterro (kg/hab.dia)

R : percentual de resíduos aterrados (%).

4.6. Levantamento da composição gravimétrica dos RSU dos aterros sanitários

O conhecimento da composição gravimétrica dos RSU que são depositados nos aterros sanitários é de suma importância para o cálculo do COD e conseqüentemente do Lo. Para este estudo utilizou-se dados secundários obtidos de trabalhos desenvolvidos nos aterros sanitários da área de estudo, a saber:

- CTR Maceió – Utilizou-se o estudo de Silva *et al.*, 2020, cuja caracterização dos resíduos ocorreu entre os anos de 2017 e 2018;
- CTR Metropolitana e aterro do CIGRES - Utilizou-se como referência os estudos apresentados nos PIGIRS (2017), cuja caracterização dos resíduos ocorreu entre agosto e novembro de 2015;
- CTR Agreste – Utilizou-se o estudo realizado por Santana (2020), cuja caracterização dos resíduos ocorreu durante o mês de janeiro/2020 (período seco) e mês de julho/2019 (período chuvoso).

4.7. Hipóteses assumidas na aplicação do modelo adotado

Tendo em vista os dados disponíveis, parâmetros intrínsecos em cada modelo, as características locais da área de estudo e estudos na literatura que constataram que o modelo de primeira ordem multifásico forneceu melhores previsões da produção de biogás com erro médio de 18% (COOPS. *et. al.*,1995; MACIEL, 2009 e FIRMO, 2013), foi adotado o modelo

matemático IPCC (2006) opção multifásico ou multicomponentes como mais adequado para a estimativa teórica de produção de metano da área de estudo. Para aplicação do modelo utilizou-se a planilha disponibilizada no site do IPCC no formato Microsoft Office Excel, tendo como base as Equações 3 e 4.

Os dados de entrada adotados no estudo tiveram como referência os valores recomendados pelo IPCC (2006) e ajustados por Maciel (2009) e Firmo (2013) ao compararem a aplicação do IPCC (2006) com os dados experimentais. Os valores da constante cinética de degradação (k) para cada material i foram adotados de acordo com os valores máximos recomendado pelo IPCC (2006) para a CTR Agreste e aterro do CIGRES, com base na precipitação anual média e temperatura da região. Entretanto para as CTRs Maceió e Metropolitana foram adotados os valores otimizados aplicados por Firmo (2013) de k_i em um aterro sanitário nacional com características semelhantes. Em relação à fração de Carbono Orgânico Degradável (COD_i) para cada material i , foram adotados para todos os aterros sanitários, os valores máximos recomendados pelo IPCC (2006), utilizados por Maciel (2009) e Firmo (2013), admitindo que o teor de carbono orgânico degradável de cada material não varia muito, em culturas alimentares semelhantes, conforme apresentado na Tabela 9.

Tabela 9 - Fração de carbono orgânico degradável nos diversos componentes dos RSU.

Componente RSU	Aterros: Agreste e CIGRES		Aterros: Maceió e Metropolitanano	
	COD _i IPCC (2006)	k_i IPCC (2006)	COD _i IPCC (2006)	k_i FIRMO (2013)
Papel/papelão	0,450	0,060	0,450	0,100
Têxteis	0,400	0,060	0,400	0,085
Matéria orgânica	0,200	0,100	0,200	1,400
Madeira	0,460	0,040	0,460	0,050
Jardim e parques	0,320	0,080	0,320	0,170
Resíduos sanitários	0,320	0,080	0,320	0,170

Metal e vidro contêm algum carbono de origem fóssil. No entanto a combustão de quantidades significativas de vidro ou metal não é comum (IPCC,2006).

Fonte: Adaptado de IPCC, 2006; Maciel, 2009 e Firmo, 2013.

A fração de carbono orgânico degradável dissociada (COD_f), ou seja, de difícil degradação que não contribui para a conversão do carbono á biogás, como a lignina, foi estimada relacionando-a com a temperatura (T) na zona anaeróbia de um aterro, pela Equação 16 (TABAZARAN,1986):

$$\text{COD}_f = 0,014 \cdot T + 0,28 \dots\dots\dots(16)$$

Sendo:

COD_f: fração de COD dissociada [%];

T: temperatura na zona anaeróbia [°C]

Para o cálculo do parâmetro COD_f, foi considerado a temperatura como sendo 35°C, assumindo que a temperatura na zona anaeróbia de um local de disposição de resíduos sólidos permanece por volta dos 35°C (BIRGEMER E CRUTZEN,1987), resultando em COD_f 0,77. Para a fração de metano F, foi adotado o valor padrão de 0,5, para todos os aterros sanitários analisados.

O fator de correção do carbono (MCF) reflete a forma como os resíduos são gerenciados e o efeito da estrutura do local e práticas de gerenciamento na geração de CH₄. A adoção deste parâmetro tomou como referência os valores recomendados pelo IPCC (2006), conforme Tabela 10.

Tabela 10 - Valores recomendados do fator de correção do carbono (MCF).

Local	Valores Padrão do Fator de Correção de Metano (MCF)
Gerenciado - anaeróbio ¹	1,0
Gerenciado - semi-aeróbio ²	0,5
Não gerenciado, profundo ³	0,8
Não gerenciado, superficial ⁴	0,4
Sem categoria ⁵	0,6

1 Locais de disposição de resíduos sólidos gerenciados anaeróbios: devem ter a disposição controlada de resíduos (ou seja, resíduos direcionados a áreas de deposição, um grau de controle de limpeza e um grau de controle de incêndios) e incluirá pelo menos um dos seguintes: (i) material de cobertura; (ii) compactação mecânica; ou (iii) nivelamento dos resíduos.

2 Locais de disposição de resíduos sólidos gerenciados semi-aeróbios: Devem ter disposição controlada de resíduos e incluirão as seguintes estruturas para introdução de ar na camada de resíduos: (i) material de cobertura permeável; (ii) sistema de drenagem de lixiviados; (iii) regulando lagoa; e (iv) sistema de ventilação de gás.

3 Locais de disposição de resíduos sólidos não gerenciados – profundos e/ou com lençol freático alto: Todos os SWDS não atendem aos critérios de SWDS gerenciados e que tenham profundidades maiores ou iguais a 5 metros e/ou lençol freático alto próximo ao nível do solo. Esta última situação corresponde a enchimento de águas interiores, como lagoas, rios ou zonas húmidas, por resíduos.

4 Locais de disposição de resíduos sólidos rasos não gerenciados; Todos os SWDS que não atendem aos critérios de SWDS gerenciados e que possuem profundidades de do que 5 metros.

5 Locais de disposição de resíduos sólidos não categorizados: somente se os países não puderem categorizar seus SWDS nas quatro categorias acima de SWDS não gerenciado, o MCF para esta categoria pode ser usado.

Fonte: Adaptado de IPCC, 2006.

A fração do metano representada por F varia bastante nos aterros sanitários, pois depende de diversos fatores como já citado anteriormente. Segundo Persson *et al.* (2006), o percentual de metano em sua composição fica entre 35 e 65 %. Segundo IPCC, 2001 pode variar

entre 0,4 a 0,6, geralmente considerado igual a 0,5, valor este adotado para todos os aterros sanitários deste estudo (FIRMO, 2013).

O biogás gerado nos aterros sanitários é medido através de vazão volumétrica. Assim, conhecendo a densidade do gás metano ($\rho_{CH_4} = \frac{0,717 \text{ kg}}{m^3}$) nas CNTP e a massa de CH₄ estimada pelo modelo, pode-se estimar a vazão volumétrica de metano (QCH₄ⁱ(t)).

O modelo também leva em conta o atraso real observado na decomposição de resíduos por bactérias metanogênicas, fornecendo um atraso médio de seis meses até que a geração de CH₄ substancial comece (o tempo que leva para que as condições anaeróbicas se tornem bem estabelecidas), logo, o tempo de defasagem adotado nas simulações foi de seis meses (US EPA, 2005; IPCC, 2006; BIRGEMER&CRUTZEN,1987).

O quadro 8 apresenta os dados de entrada do modelo IPCC (2006) multicomponentes.

Quadro 8 - Parâmetros de entrada no modelo IPCC (2006) multicomponentes.

Parâmetros de entrada no modelo IPCC (2006) multicomponentes
Projeção população anual até o final de vida útil do aterro sanitário
Estimativa de Geração per capita de RSU até o final de vida útil do aterro sanitário
Percentual de coleta de RSU (constante ao longo dos anos)
Composição dos RSU (constante ao longo dos anos)
DOC _i - Carbono orgânico degradável cada componente i do RSU
k _i - constante cinética de degradação de cada componente i do RSU
MCF- Fator de Correção de Metano = 1 para todos os aterros
DOC _f - Fração de DOC em decomposição em condições anaeróbicas = 0,77 para todos os aterros
F - Fração de CH ₄ por volume no gás de aterro gerado = 0,5 para todos os aterros
M - Mês de início da reação (= tempo de atraso + 7) = 13 meses

Fonte: Autora, 2022.

4.8. Avaliação da interferência das características dos aterros na produção de biogás

Essa avaliação foi feita em função da análise dos parâmetros adotados para cada simulação teórica de geração de biogás, em função da composição de resíduos, pluviometria, temperatura, etc., comparado os dados obtidos entre si e entre outros trabalhos relatados na literatura científica.

4.9. Verificação do potencial de geração de energia elétrica em cada CTR

Para a estimativa da potência disponível a partir do biogás gerado nos aterros sanitários em estudo, utilizou-se Equação 17, que expressa a relação entre a quantidade de gás metano (vazão do metano), poder calorífico do gás metano e eficiência do grupo gerador (CETESB, 2006). Para a vazão de metano ($\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{h}$) estimada pelo modelo IPCC (2006) para cada ano do período analisado, foi considerado um percentual de coleta de gás de 100 %, tendo em vista o objetivo desse trabalho é analisar o potencial total. O poder calorífico inferior do biogás (50% de CH_4) adotado foi de $17,92 \text{ MJ}/\text{m}^3 \text{CH}_4$ (CETESB, 2006; IANNICELLI, 2008) e a eficiência da planta do motor de combustão interna foi de 33 % (EPA, 1996).

$$P = \frac{Qc.PC_i.\eta}{31536} \quad (17)$$

Onde:

P = Potência disponível a cada ano (KW);

Qc = Vazão do metano coletado a cada ano (m^3 de CH_4/ano);

PCi = poder calorífico do metano ($\text{MJ}/\text{m}^3 \text{CH}_4$)

η = eficiência da tecnologia de conversão (%);

A energia disponível em cada aterro sanitário foi calculada através da Equação 18 (IPCC, 1996), o rendimento adotado foi de 87 % (motores operando a plena carga) e o tempo de operação de 7884 horas/ano (que é equivalente a 90% do ano).

$$E = P .\text{Rend} .\text{Tempo de operação} \quad (18)$$

Onde:

E = energia disponível (KWh/ano)

P = Potência Disponível (KW);

Rend = Rendimento de motores operando a plena carga (estimado em 0,87);

T = Tempo de operação dos motores (horas/ano).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Diagnóstico das áreas de estudo

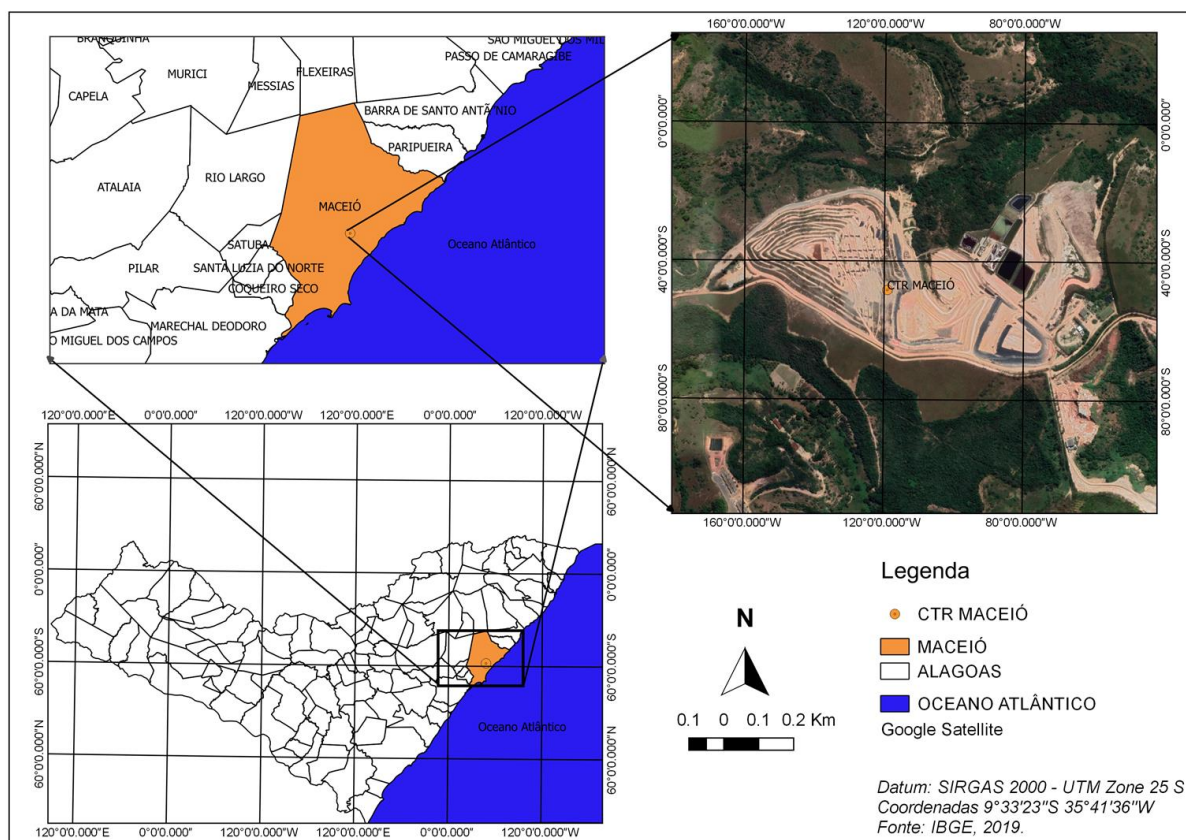
5.1.1. CTR Maceió

5.1.1.1. Aspectos regionais

Localização

A Central de Tratamento de Resíduos de Maceió está localizada no bairro do Benedito Bentes, parte alta da cidade de Maceió, sob as coordenadas central de Latitude $9^{\circ}33'23''\text{S}$ e longitude $35^{\circ}41'36''\text{W}$, possuindo uma área de aproximadamente de 114 ha. Existem dois acessos ao aterro, um pelo litoral norte, planície da cidade e outro pelo bairro do Benedito Bentes, tabuleiro da cidade. A Figura 6 apresenta o mapa de localização e uma vista aérea da referida CTR.

Figura 6 - Mapa de localização e vista aérea da CTR Maceió.

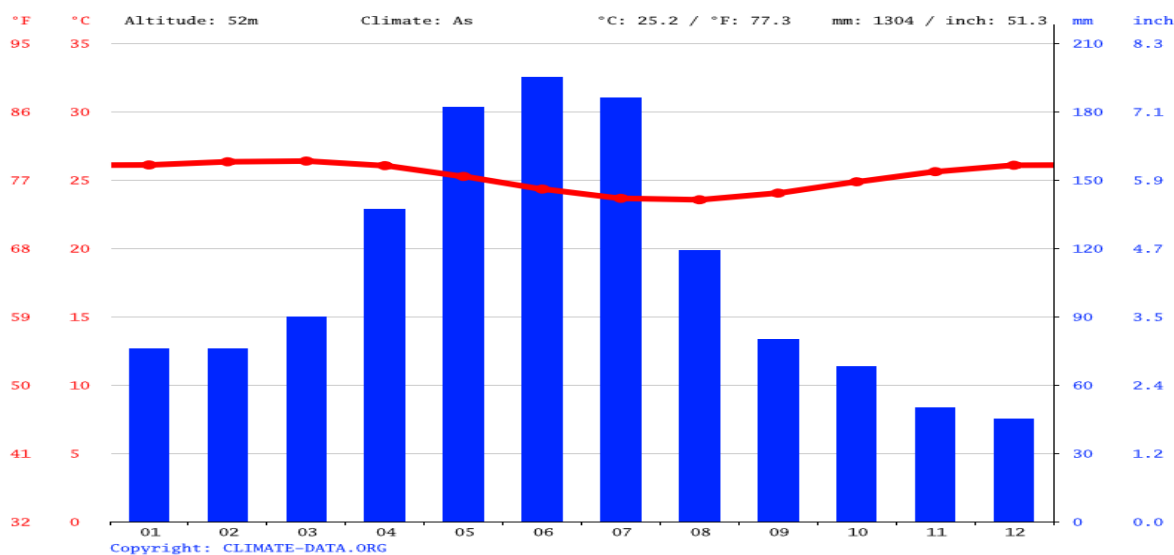


Fonte: Autora, 2022.

Clima, temperatura e precipitação

Devido sua localização na metade oriental do estado, que corresponde a parte Leste Alagoana, Maceió possui clima do tipo As' segundo Köppen, ou seja, tropical e quente, com precipitação pluviométrica de outono/inverno entre 1.000 mm a 1.500 mm. A diferença de precipitação entre o mês mais seco e o mês mais chuvoso é 150 mm, cuja pluviosidade média anual é de 1304 mm. Em Maceió a temperatura média é 25,2 °C, com à temperatura média do ar, variando, no litoral, entre 23°C e 28°C. A maior umidade relativa do ar é medida em Junho (82.35 %) e a menor em Dezembro (74.76 %). A Figura 7 apresenta a série histórica de temperatura e precipitação da área em que a CTR Maceió está localizada.

Figura 7 - Precipitação acumulada mensal e temperaturas médias de Maceió.



Fonte: <https://pt.climate-data.org/americas-do-sul/brasil/alagoas/maceio-2193/>

5.1.1.2. Aspectos Técnicos

Alcance de projeto (início, horizonte de operação e volume de resíduos)

A operação da CTR/Maceió, iniciou no dia 30 de abril de 2010, a partir do encerramento do antigo lixão da cidade, com período de operação previsto para 20 anos (2010-2029), mas a expectativa é de que esse período de alcance se estenda por mais 10 anos (2039).

Recebe apenas os resíduos gerados apenas na cidade de Maceió, atingindo uma média de cerca de **2.000 toneladas/dia** de RSU (classe IIA).

Drenagem e tratamento de gases

No aterro sanitário há queimadores em circunferências de 1.20m, estruturado com tela, pedra, tubo e flare, no entanto não há aproveitamento.

5.1.1.3. Aspectos socioeconômicos da região – IDH, PIB per capita.

Na Tabela 11 estão apresentados alguns dos principais indicadores socioeconômicos de Maceió. Nota-se que o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), segundo o último Censo realizado em 2010, foi de 0,721, considerado alto e superior ao IDHM de Alagoas de 0,631.

A renda per capita da região foi de R\$ 792,54, superior à média do Estado (R\$ 432,56) no ano de 2010. Segundo a última estimativa realizada em 2019, o PIB per capita da capital foi de cerca de 23 mil reais, representando 40 % do PIB de Alagoas, no qual o setor de Serviços é o principal componente do PIB de Maceió.

Tabela 11 – Indicadores socioeconômicos de Maceió.

IDHM 2010	IDHM Renda 2010	Renda per capita 2010	PIB per capita, a preços correntes (R\$ 1,00) 2019
0,721	0,739	792,54	22976,51

Escala do IDH-M :- Muito Baixo = 0 a 0,499 / Baixo= 0,500 a 0,599 / Médio= 0,600 a 0,699

/ Alto= 0,700 a 0,799 / Muito Alto = 0,800 a 1,000.

Fonte: Altas, 2020 e Seplag, 2022.

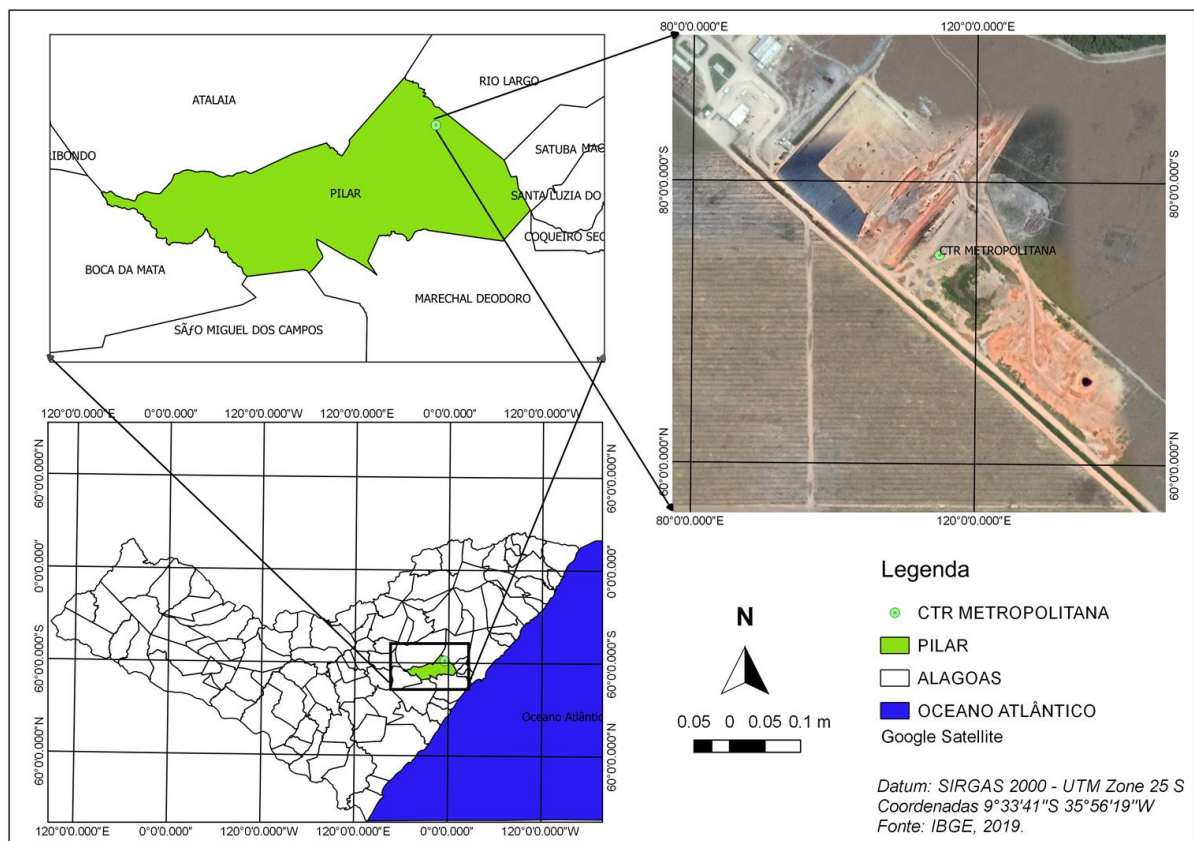
5.1.2. CTR Metropolitana

5.1.2.1. Aspectos Regionais

Localização

A Central de Tratamento de Resíduos Metropolitana fica localizada no Município do Pilar/AL, inserido na mesorregião do Leste Alagoano e na microrregião de Maceió, sob as coordenadas central de Latitude $9^{\circ}33'41''\text{S}$ e longitude $35^{\circ}56'19''\text{W}$. A CTR Metropolitana detém uma área de cerca de 104 hectares, possuindo uma unidade de transbordo localizado na cidade de Porto Calvo. A Figura 8 apresenta o mapa de localização e uma vista aérea da referida CTR.

Figura 8 - Mapa de localização e vista aérea da CTR Metropolitana.

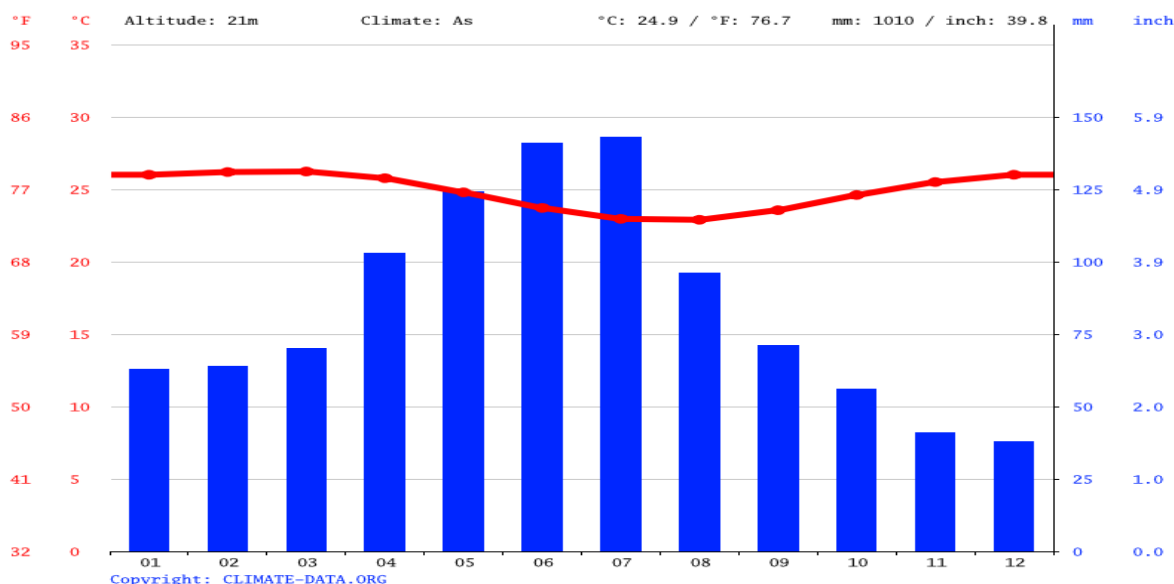


Fonte: Autora, 2022.

Clima, temperatura e precipitação

Devido sua localização na região Leste Alagoana, assim como Maceió, o município de Pilar possui clima tropical e quente segundo Köppen e Geiger, com precipitação pluviométrica de outono/inverno entre 1.000 mm a 1.500 mm. A diferença de precipitação entre o mês mais seco e o mês mais chuvoso é 105 mm, cuja pluviosidade média anual é de 1010 mm. Em Pilar a temperatura média é 24,9 °C, com à temperatura média do ar, variando, entre 22,9°C e 26,2°C. A maior umidade relativa do ar é medida em Junho (84,37 %) e a menor em Dezembro (73,88 %). A Figura 9 apresenta a série histórica de temperatura e precipitação da área em que a CTR Metropolitana está localizada.

Figura 9 - Precipitação acumulada mensal e temperaturas médias de Pilar.



Fonte: <https://pt.climate-data.org/americas-do-sul/brasil/alagoas/pilar-43094/>.

5.1.2.2. Aspectos Técnicos

Alcance de projeto (início, horizonte de operação e volume de resíduos)

As operações iniciaram-se em 2015 e possui horizonte de operação de 30 (trinta) anos. Recebe em média **750 toneladas/dia** (setecentos e cinquenta toneladas de resíduos por dia), proveniente de 42 Municípios.

O Quadro 9 mostra a lista de municípios que destinam seus resíduos para a CTR Metropolitana atualmente.

Quadro 9 - Lista de municípios que destinam seus resíduos para a CTR Metropolitana.

Municípios	
Anadia	Matriz de Camaragibe
Atalaia	Messias
Barra de Santo Antônio	Murici
Barra de São Miguel	Novo Lino
Boca da Mata	Paripueira
Branquinha	Passo de Camaragibe
Cajueiro	Pilar
Campestre	Pindoba
Capela	Porto Calvo
Chã Preta	Porto de Pedras
Colônia Leopoldina	Rio Largo
Coqueiro Seco	Roteiro
Coruripe	Santa Luzia do Norte
Feliz Deserto	Santana do Mundaú
Flexeiras	São José da Laje
Ibateguara	São Luís do Quitunde
Jequiá da Praia	São Miguel dos Campos
Joaquim Gomes	São Miguel dos Milagres
Jundiá	Satuba
Mar Vermelho	União dos Palmares
Marechal Deodoro	Viçosa

Fonte: Alagoas Ambiental, 2021.

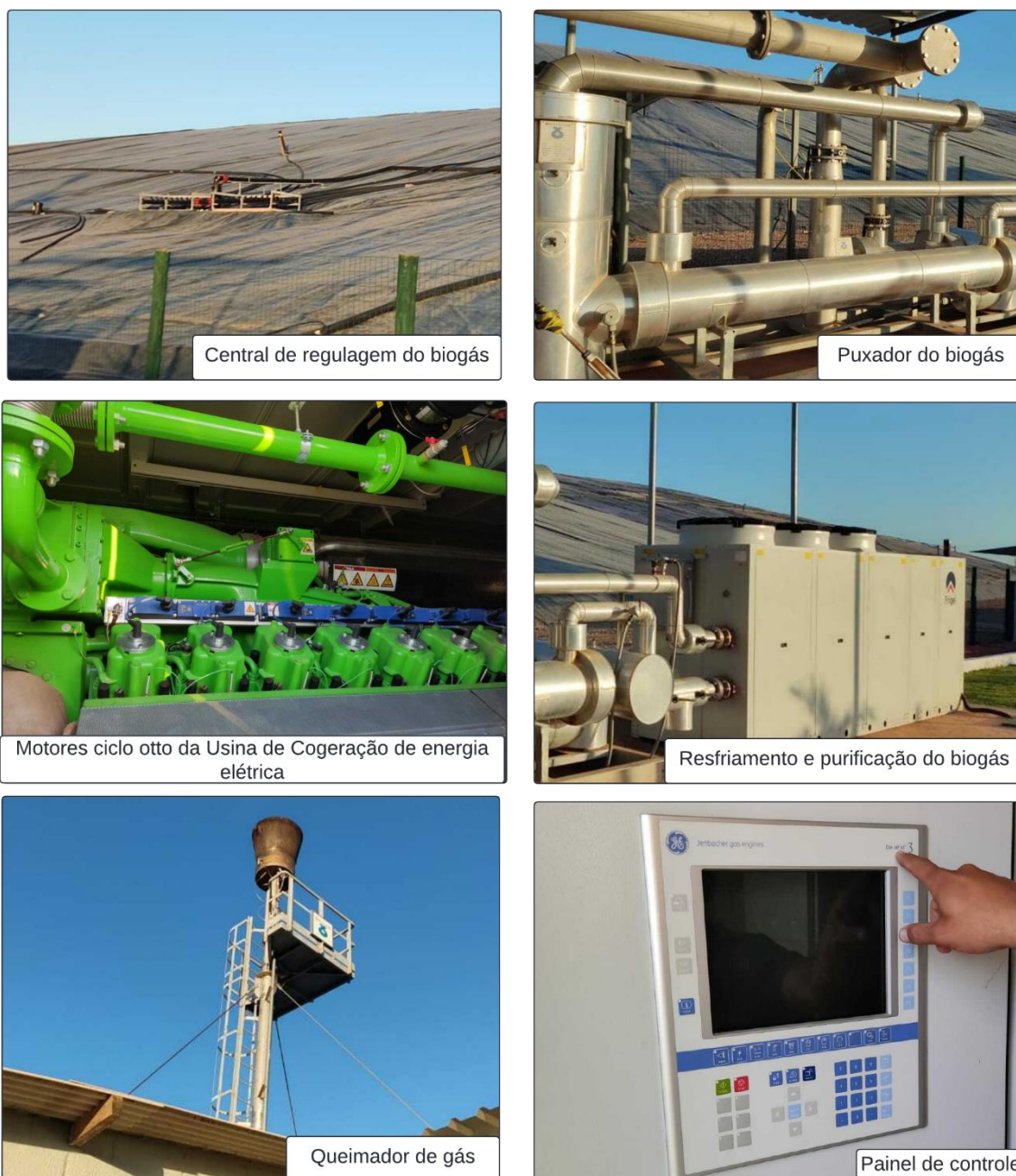
Drenagem e tratamento de gases

O biogás gerado no aterro sanitário de Pilar é capturado e aproveitado para geração de energia elétrica e posterior comercialização pelo sistema de compensação na rede elétrica da cidade. O sistema de coleta do biogás possui 40 drenos circunferenciado (estrutura: tela, pedra, tubo), sendo 33 deles conectados à usina de cogeração de energia elétrica e 7 desconectados com flare onde o gás é queimado.

O biogás coletado é monitorado pela sala de comandos através da central de medição e controle, a fim de garantir que biogás tenha pelo menos 50 % de CH₄ e no máximo 2% de O₂ antes de entrar na usina. Após a captura e regulagem do biogás, o mesmo segue para o processo de resfriamento e purificação, em seguida para o processo de geração de energia, composto pela flage de alimentação do biogás, motores ciclo otto projetados para a utilização de combustíveis

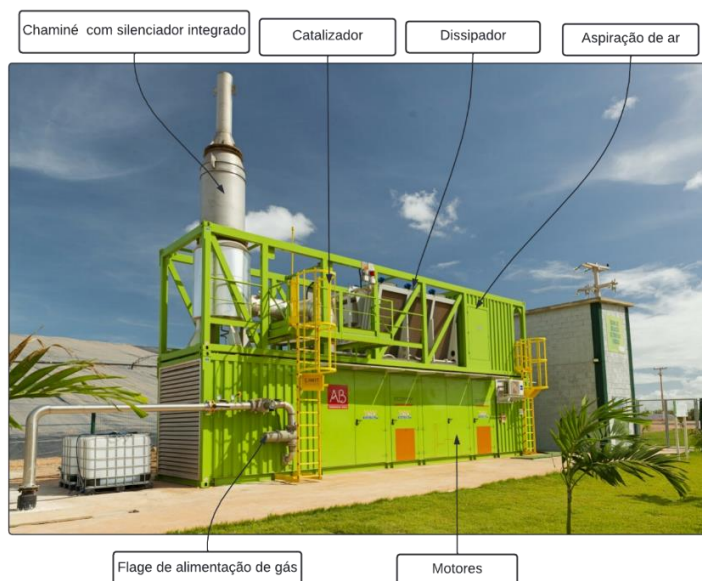
gasosos (biogás) e alternador acoplado ao motor para a conversão da potência mecânica fornecida em potência elétrica. A usina de cogeração de energia elétrica através do biogás tem capacidade para gerar 1 MWh (Figura 10 e Figura 11).

Figura 10 - Componentes da Usina de cogeração de energia elétrica através do biogás



Fonte: Dados originais da pesquisa, 2022.

Figura 11 - Planta de cogeração de energia elétrica através do biogás gerado no aterro de Pilar.



Fonte: A autora, 2022.

5.1.2.3. Aspectos socioeconômicos da região – IDH, PIB per capita.

Na Tabela 12 estão apresentados valores médios de alguns dos principais indicadores socioeconômicos dos municípios que destinam seus RSU para a CTR Metropolitana. Nota-se que o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), segundo o último Censo realizado em 2010, foi em média 0,58, considerado baixo e inferior ao IDHM de Alagoas de 0,631, visto que a escala do IDH-M classifica: Muito Baixo = 0 a 0,499 / Baixo= 0,500 a 0,599 / Médio= 0,600 a 0,699 / Alto= 0,700 a 0,799 / Muito Alto = 0,800 a 1,000.

A renda per capita média da região foi de R\$ 284,56, também inferior à média do Estado (R\$ 432,56) no ano de 2010. Segundo a última estimativa realizada em 2019, o PIB per capita da região foi de cerca de 20,6 mil reais, no qual as atividades com maior valor adicionado bruto foram: administração, agricultura, defesa, educação e saúde públicas e seguridade social.

Tabela 12 – Indicadores socioeconômicos dos municípios integram a CTR Metropolitana.

CTR Metropolitana	IDHM 2010	IDHM Renda 2010	Renda per capita 2010	PIB per capita, a preços correntes (R\$ 1,00) 2019
Média ponderada dos municípios	0,58	0,57	284,56	20580,91
Escala do IDH-M :- Muito Baixo = 0 a 0,499 / Baixo= 0,500 a 0,599 / Médio= 0,600 a 0,699 / Alto= 0,700 a 0,799 / Muito Alto = 0,800 a 1,000.				

Fonte: Altas, 2020 e Seplag, 2022.

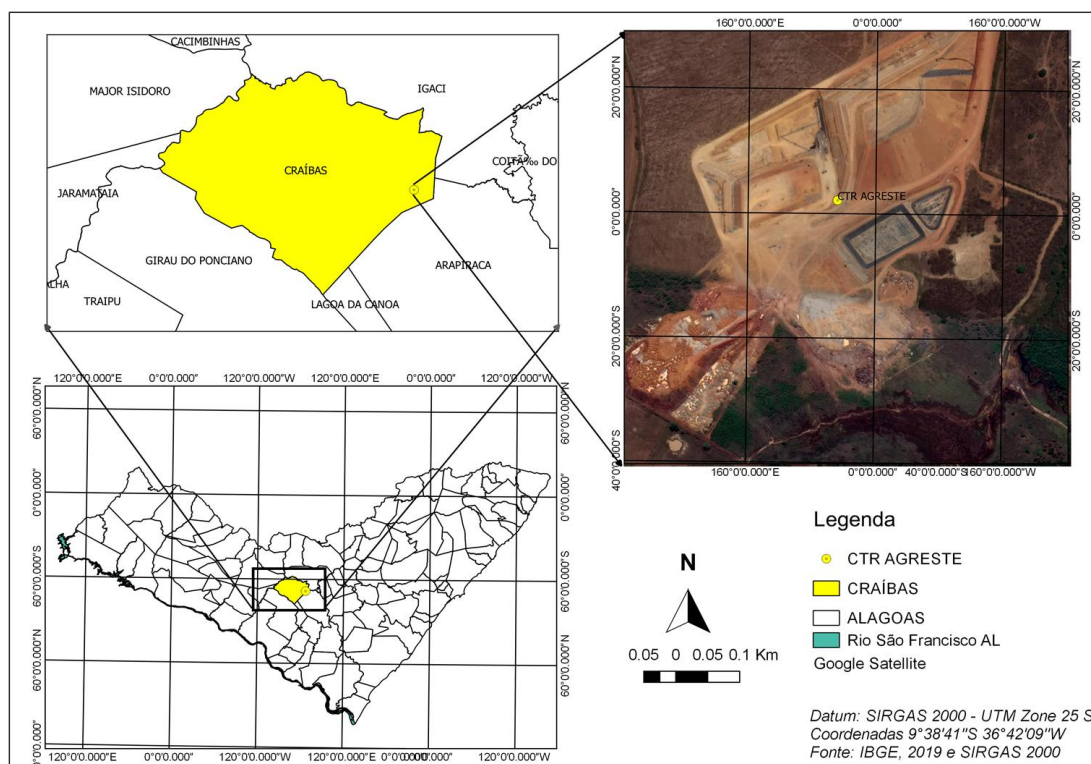
5.1.3. CTR Agreste

5.1.3.1. Aspectos Regionais

Localização

A Central de Tratamento de Resíduos do Agreste localiza-se no estado de Alagoas, entre os municípios de Arapiraca e Craíbas, inserida na mesorregião do Agreste Alagoano e na microrregião de Arapiraca, sob as coordenadas central de Latitude $9^{\circ}38'41''\text{S}$ e Longitude $36^{\circ}42'09''\text{W}$. Cerca de 13 km do centro da principal cidade do agreste alagoano, Arapiraca, e 140 km da capital do estado, Maceió, o acesso principal se dá pela rodovia AL-115. A CTR Agreste detém uma área de cerca de 81 hectares. A presença de núcleos habitacionais em um raio menor que 1km é um sério agravante sócio ambiental deste local. A Figura 12 apresenta o mapa de localização e uma vista aérea da referida CTR.

Figura 12 - Mapa de localização e vista aérea da CTR do Agreste Alagoano.

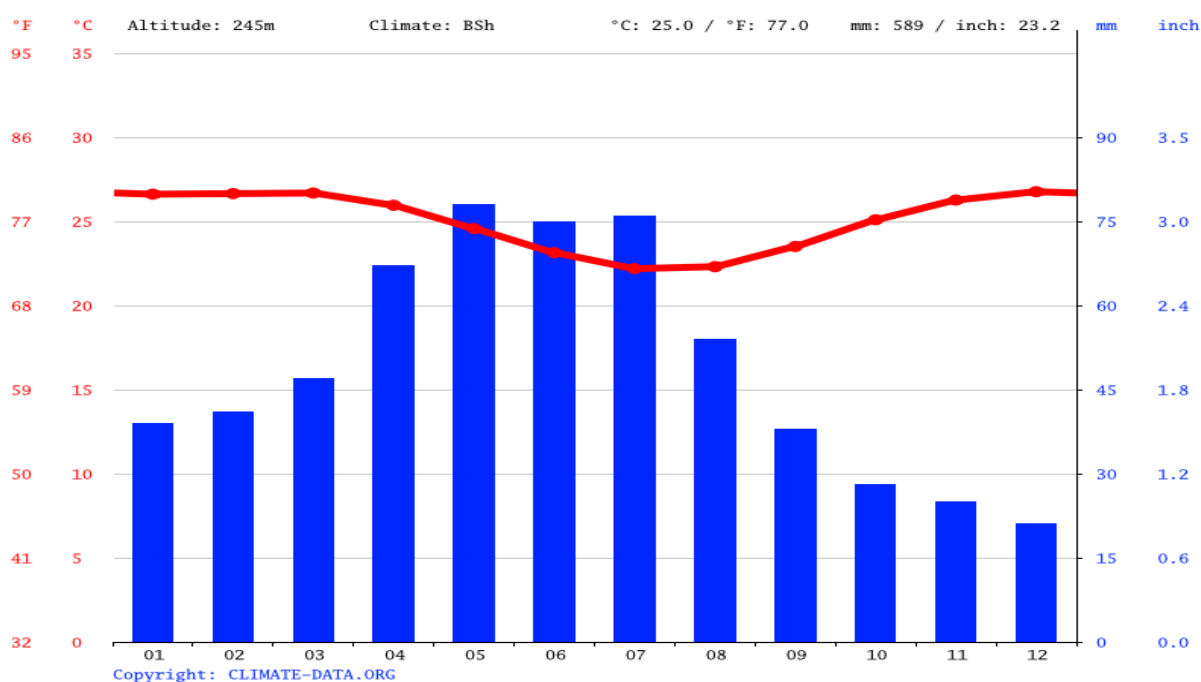


Fonte: Autora, 2022.

Clima, temperatura e precipitação

Devido sua localização na Região do Agreste Alagoano, na metade ocidental do estado, o município de Craíbas apresenta condições semiáridas, com clima BSh segundo Köppen e Geiger, isto é, seco e quente, com precipitação pluviométrica anual entre 600 mm e 900 mm. A diferença de precipitação entre o mês mais seco e o mês mais chuvoso é 57 mm, cuja pluviosidade média anual é de 589 mm. Em Craíbas a temperatura média é 25 °C, com a temperatura média do ar, variando, entre 22,2°C e 26,8°C. A maior umidade relativa do ar é medida em Junho (80.69 %) e a menor em Dezembro (62.12 %). A Figura 13 apresenta a série histórica de temperatura e precipitação da área em que a CTR Agreste está localizada.

Figura 13 - Precipitação acumulada mensal e temperaturas médias de Craíbas.



Fonte: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/alagoas/craibas-43005/>

5.1.3.2. Aspectos técnicos

Alcance de projeto (início, horizonte de operação e volume de resíduos)

As operações iniciaram-se em 2016 e possui horizonte de operação de 30 (trinta) anos. Recebe em média 570 toneladas de resíduos por dia (setecentos e cinquenta toneladas de resíduos por dia), proveniente de 29 Municípios e empresas privadas de diversos seguimentos.

O Quadro 10 mostra a lista de municípios que destinam os resíduos para a CTR Agreste.

Quadro 10 - Lista de municípios que destinam seus resíduos para a CTR Agreste.

Municípios	
Arapiraca	Minador do Negrão
Belém	Olho d'Água Grande
Campo Alegre	Palmeira dos Índios
Campo Grande	Paulo Jacinto
Coité do Nóia	Penedo
Craíbas	Piaçabuçu
Estrela de Alagoas	Porto Real do Colégio
Feira Grande	Quebrangulo
Girau do Ponciano	São Brás
Igaci	São Sebastião
Igreja Nova	Tanque d'Arca
Junqueiro	Taquarana
Lagoa da Canoa	Teotônio Vilela
Limoeiro de Anadia	Traipu
Maribondo	

Fonte: Alagoas Ambiental, 2022.

Drenagem e tratamento de gases

Atualmente é feito apenas a queima do gás através de 44 queimadores circunferenciado a 1.20m, estruturado com tela, pedra, tubo e flare (Figura 14). No entanto não está sendo realizado o aproveitamento do biogás, mas existe intuito deste projeto em breve com a implantação de geradores de energia.

Figura 14 - Drenagem de chorume e de gases do aterro sanitário do Agreste.



Fonte: Operadora do aterro, 2022.

5.1.3.3. Aspectos socioeconômicos da região – IDH, PIB per capita.

Na estão apresentados na Tabela 13 a média de alguns dos principais indicadores socioeconômicos dos municípios que destinam seus RSU para a CTR Agreste.

Nota-se que o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), segundo o último Censo realizado em 2010, foi em média 0,591, considerado baixo e inferior ao IDHM de Alagoas de 0,631. A renda per capita média da região foi de R\$ 297,63, também inferior à média do Estado (R\$ 432,56) no ano de 2010. Segundo a última estimativa realizada em 2019, o PIB per capita da região foi de cerca de 14,8 mil reais, no qual as atividades com maior valor adicionado bruto foram: administração, agricultura, defesa, educação e saúde públicas e seguridade social.

Tabela 13 – Indicadores socioeconômicos dos municípios que integram a CTR Agreste.

CTR Agreste	IDHM 2010	IDHM Renda 2010	Renda per capita 2010	PIB per capita, a preços correntes (R\$ 1,00) 2019
Média ponderada dos municípios	0,591	0,573	297,63	14785,68

Fonte: Atlas, 2020.

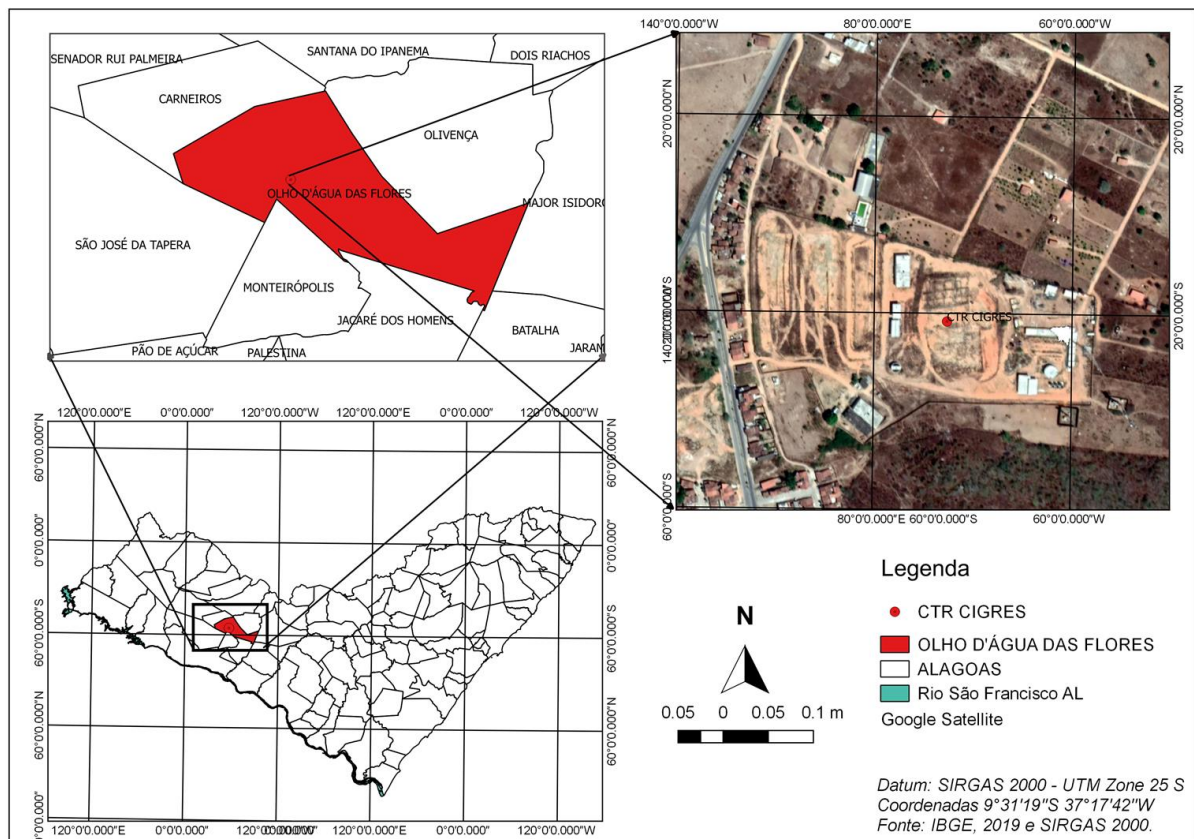
5.1.4. Aterro do CIGRES

5.1.4.1. Aspectos Regionais

Localização

O Consórcio do CIGRES é um único que não se constitui em CTR, é dotado apenas de aterro de resíduos implantado na Zona Rural do Município de Olho D'água das Flores, na região centro-oeste do Estado de Alagoas conhecida como Bacia Leiteira, inserido na mesorregião Sertão Alagoano e na microrregião Batalha, sob as coordenadas central de Latitude $9^{\circ}31'19''S$ e $37^{\circ}17'42''$ Longitude W. O acesso a partir de Maceió é feito através da rodovia pavimentada BR-316 e AL-130, com percurso total em torno de 207 km. A Figura 15 apresenta o mapa de localização e uma vista aérea da referida CTR.

Figura 15 - Mapa de localização e vista aérea do aterro do CIGRES.

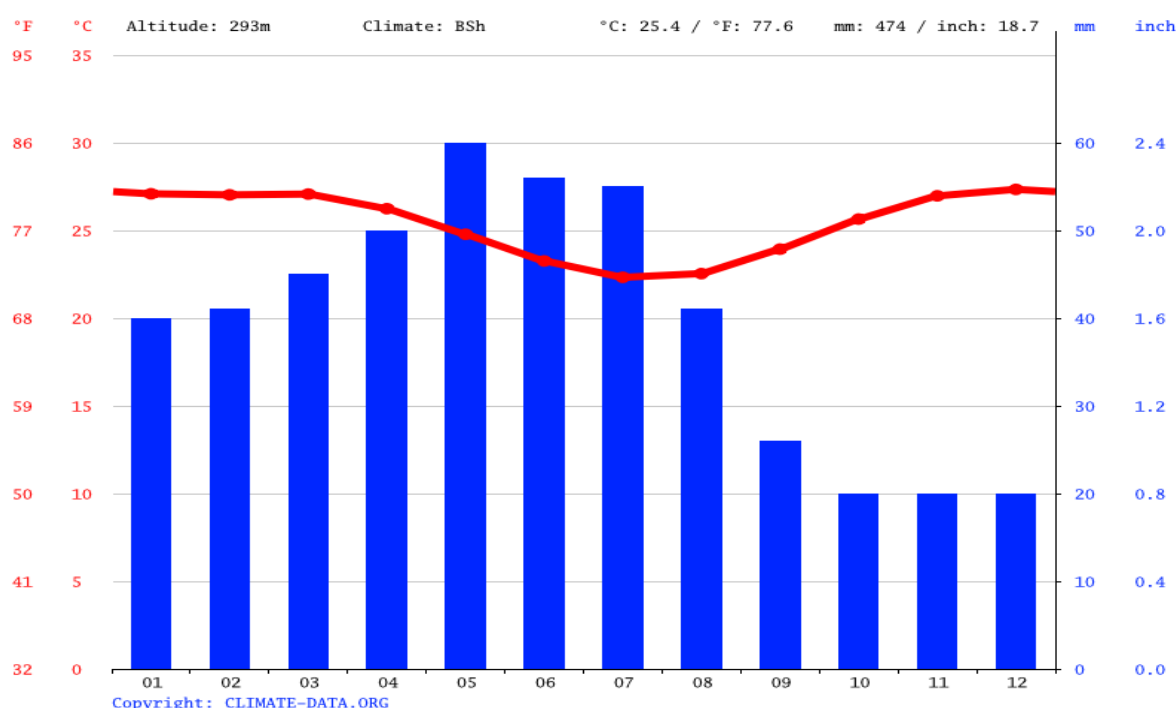


Fonte: Autora, 2021.

Clima, temperatura e precipitação

Devido sua localização na Região do Sertão Alagoano, na metade ocidental do estado, o município de Olho D'água das Flores apresenta condições semiáridas, com clima BSh segundo Köppen e Geiger, isto é, seco e quente, com precipitação pluviométrica anual entre 600 mm e 900 mm. A diferença de precipitação entre o mês mais seco e o mês mais chuvoso é 40 mm, cuja pluviosidade média anual é de 474 mm. Em Olho D'Água das Flores a temperatura média é 25,4 °C, com à temperatura média do ar, variando, entre 22,3°C e 27,3°C. A maior umidade relativa do ar é medida em Junho (77,8 %) e a menor em Novembro (56,52 %). A Figura 16 apresenta a série histórica de temperatura e precipitação da área do aterro do CIGRES está localizada.

Figura 16 - Precipitação acumulada mensal e temperaturas médias de Olho D'água das Flores.



Fonte: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/alagoas/olho-d-agua-das-flores-42983/>

5.1.4.2. Aspectos técnicos

Alcance de projeto (início, horizonte de operação e volume de resíduos)

A operação do aterro foi iniciada em 2016, com previsão de atividade pelo prazo de 20 (vinte) anos. O aterro sanitário foi construído para atender ao Consorcio Regional

de Resíduos Sólidos da Bacia Leiteira (CIGRES) e está atendendo a 26 municípios que produzem aproximadamente **100 toneladas/dia** de RSU classe IIA. O Quadro 11 mostra a lista de municípios que destinam seus resíduos para o aterro do CIGRES.

Quadro 11 - Lista de municípios que destinam seus resíduos para a aterro do CIGRES.

Municípios	
Água Branca	Mata Grande
Batalha	Monteirópolis
Belo Monte	Olho d'Água do Casado
Cacimbinhas	Oliveira
Canapi	Ouro Branco
Carneiros	Palestina
Dois Riachos	Pão de Açúcar
Inhapi	Pariconha
Jacaré dos Homens	Piranhas
Jaramataia	Poço das Trincheiras
Major Isidoro	Santana do Ipanema
Maravilha	São José da Tapera
Olho d'Água das Flores	Senador Rui Palmeira

Fonte: CIGRES, 2022.

Drenagem e tratamento de gases

Existem alguns drenos de biogás com flare, mas não há cobertura e nem captura do biogás conforme mostra a Figura 17.

Figura 17 – Drenos de biogás do aterro do CIGRES.



Fonte: Autora, 2022.

5.1.4.3. Aspectos socioeconômicos da região – IDH, PIB per capita.

Estão apresentados na Tabela 14 a média de alguns dos principais indicadores socioeconômicos dos municípios que destinam seus RSU para a aterro do CIGRES. Nota-se que o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), segundo o último Censo realizado em 2010, foi em média 0,548, considerado baixo e inferior ao IDHM de Alagoas de 0,631.

A renda per capita média da região foi de R\$ 224,01, também inferior à média do Estado (R\$ 432,56) no ano de 2010. Segundo a última estimativa realizada em 2019, o PIB per capita da região foi de cerca de 9,4 mil reais, no qual as atividades com maior valor adicionado bruto foram: administração, agricultura, defesa, educação e saúde públicas e seguridade social.

Tabela 14 - Indicadores socioeconômicos dos municípios que destinam seus RSU para o aterro do CIGRES.

Município	IDHM 2010	IDHM Renda 2010	Renda per capita 2010	PIB per capita, a preços correntes (R\$ 1,00) 2019
Média ponderada da CTR	0,548	0,533	224,01	9370,27

Escala do IDH-M - Muito Baixo = 0 a 0,499 / Baixo= 0,500 a 0,599 / Médio= 0,600 a 0,699 / Alto= 0,700 a 0,799 / Muito Alto = 0,800 a 1,000.

Fonte: Atlas, 2020.

5.1.5. Considerações gerais sobre os aterros

No Estado de Alagoas, na configuração atual, o aterro do CIGRES recebe os RSU da Mesoregião do Sertão Alagoano e a CTR Agreste recebe os RSU da Mesoregião do Agreste do Estado, ambas localizadas na vertente do Rio São Francisco. Enquanto a CTR Metropolitana e CTR Maceió recebem os RSU da Mesoregião do Leste Alagoano, localizadas na vertente do Atlântico.

A pluviosidade média anual na região onde estão inseridas as CTR Maceió e CTR Metropolitana supera os 1000 mm, diferente das CTR Agreste e CTR CIGRES que é inferior aos 600 mm. Quanto a temperatura média, a região de todas as CTRs fica em torno de 25 °C, mas Maceió possui a maior umidade relativa do ar variando de 82.35 % a 74.76 %, enquanto Olho d'Água das Flores tem a menor umidade relativa do ar entre 77,8 % e 56,52 %.

Em relação ao início de operação, a CTR Maceió é a mais antiga, iniciando sua operação em 2010, seguida da CTR Metropolitana em 2015; CTR Agreste e CTR CIGRES em 2016. Quanto ao horizonte de operação, com exceção da CTR CIGRES com 20 anos, as demais CTRs tem expectativa de 30 anos de vida útil.

A quantidade de RSU recebidos em média diariamente pelas CTRs: Maceió, Metropolitana, Agreste e CIGRES, segundo seus operadoras, são de 2.000, 750, 570 e 100 toneladas, respectivamente. Com exceção da CTR Maceió que recebe resíduos apenas de Maceió, as demais CTRs: Metropolitana, Agreste e CIGRES, recebem resíduos de 42, 29 e 27 municípios, respectivamente.

Todas as CTRs são dotadas de unidades de recebimento de resíduos Classe IIA (RSU). Somente as CTRs Maceió e Agreste possuem células de recepção de resíduos Classe IIB (Inertes). Quanto aos RCC Classe A, apenas as CTRs Maceió e Metropolitana possuem células de recepção desses resíduos. A CTR Metropolitana é a única, atualmente, que possui autorização para recebimento de resíduos perigosos (Classe I).

No que concerne ao biogás gerado, apenas na CTR Metropolitana é realizada a captura e aproveitado para cogeração de energia elétrica e posterior comercialização pelo sistema de compensação na rede elétrica da cidade. Na CTR Agreste o talude definitivo com drenos de gás está coberto com manta PEAD, no entanto, atualmente é feito apenas a queima do gás, não sendo realizado o aproveitamento do biogás por enquanto, mas existe intuito deste projeto em breve com a implantação de geradores de energia, similar a CTR Metropolitana, tendo em vista ser a mesma operadora. A CTR Maceió e o aterro do CIGRES também não possuem aproveitamento do biogás, no entanto, todas possuem drenos com flare para queima do biogás.

O lixiviado gerado é monitorado e tratado por meio de processos biológicos (lagoas) e físico-químicos (filtração ou coagulação/floculação/decantação) nas CTRs: Maceió, Metropolitana e Agreste. O aterro do CIGRES possui apenas tratamento biológico, aparentemente sem monitoramento. Vale ressaltar que tanto o sistema de drenagem de lixiviado quanto de águas pluviais do aterro sanitário do CIGRES aparenta não ser funcional, tendo em vista que estavam obstruídos.

Em relação aos aspectos socioeconômicos das regiões estudadas, verificou-se que apenas Maceió, segundo o último Censo realizado em 2010, possui IDHM considerado alto, inclusive acima do IDHM de Alagoas, considerado médio. No entanto, as demais regiões possuem IDHM considerado baixo, no período analisado. Quanto ao PIB per capita, segundo a última estimativa realizada em 2019, foi de 23 mil, 20,6 mil, 14,8 mil e

9,4 mil reais para Maceió, a região da CTR Metropolitana, Agreste e CIGRES, respectivamente.

A Tabela 15 apresenta a síntese das principais características dos aterros estudados, mais informações no Apêndice.

Tabela 15 – Síntese da principais características dos aterros estudados

	Vertente São Francisco		Vertente do Atlântico	
	Aterro CIGRES	CTR Agreste	CTR Metropolitana	CTR Maceió
Clima			Tropical quente e úmido - AS	Tropical quente e úmido - AS
Pluviosidade média anual (mm)	474	589	1010	1304
Temperatura média (°C)	25,4	25	24,9	25,2
Umidade (%)	56,52 - 77,8	62,12 - 80,69	73,88 - 84,37	74,76 - 82,35
IDM	0,55	0,59	0,58	0,74
Tipo de solo	Neossolo Litólico Eutrófico	Latossolo Amarelo Distrófico	Latossolo Amarelo Distrocóeso	Latossolo Amarelo Distrocóeso
Quant. Municípios atendidos	27	29	42	1
Resíduos aterrados (ton./dia)	100	540	750	2000
Início da operação	2016	2016	2015	2020
Horizonte de operação	20	30	30	30
Células de recebimento	Classe IIA	<ul style="list-style-type: none"> • Célula para Resíduos Classe IIA, • Célula para Resíduos Classe IIB • Armazenamento temporário de resíduos Classe I 	<ul style="list-style-type: none"> • Célula para Resíduos Classe IIA, • Célula para Resíduos Perigosos (Classe I), impermeabilizada e coberta; • Usina de reciclagem para recebimento de Resíduos da Construção Civil (RCC) Classe A; • Autoclave para tratamento de Resíduos de Serviço de Saúde (RSS); 	<ul style="list-style-type: none"> • Células para Resíduos Classe IIA e • Célula para Resíduos Classe IIB • Célula de recepção de animais mortos • Célula de recepção de resíduos vegetais oriundos das podas urbanas. • Usina de reciclagem para recebimento de Resíduos da Construção Civil (RCC);
Tratamento do lixiviado	Biológico (Lagoas)	Biológico (lagoas) + Filtração por membrana (Osmose reversa)	Biológico (lagoas) + Filtração por membrana (Osmose reversa)	Biológico (lagoas) + físico-químico + filtração por carvão ativado + Filtração por membrana (nanofiltração e osmose reversa)
Drenagem de águas pluviais	Possui, mas aparenta não ser funcional	Possui	Possui	Possui

	Vertente São Francisco		Vertente do Atlântico	
	Aterro CIGRES	CTR Agreste	CTR Metropolitana	CTR Maceió
Tratamento do biogás	Não possuem aproveitamento do biogás, no entanto, todas possuem drenos com flare para queima do biogás.	Projeto em breve com a implantação de geradores de energia	Capturado e aproveitado para cogeração de energia elétrica e posterior comercialização pelo sistema de compensação na rede elétrica da cidade	Não possuem aproveitamento do biogás, no entanto, todas possuem drenos com flare para queima do biogás.
Monitoramento do biogás	Não existem informações a respeito	Acompanhamento dos drenos se estão acesos ou não.	Monitorado pela sala de comandos através da central de medição e controle, a fim de garantir que biogás tenha pelo menos 50 % de CH ₄ e no máximo 2% de O ₂ antes de entrar na usina	Análises periódicas do volume e composição dos gases realizado por empresa terceirizada.
Impermeabilização da base	Manta PEAD, sobre a qual foi colocada uma proteção mecânica em argila compactada. A cobertura diária é feita com o solo da região.			

Fonte: Autora, 2022.

5.2. Estudo Populacional

5.2.1. CTR Maceió

A equação de crescimento que apresentou o melhor ajuste e que foi utilizada para o cálculo de projeção populacional de Maceió, bem como o coeficiente de correlação (R^2) estão apresentados na Tabela 16.

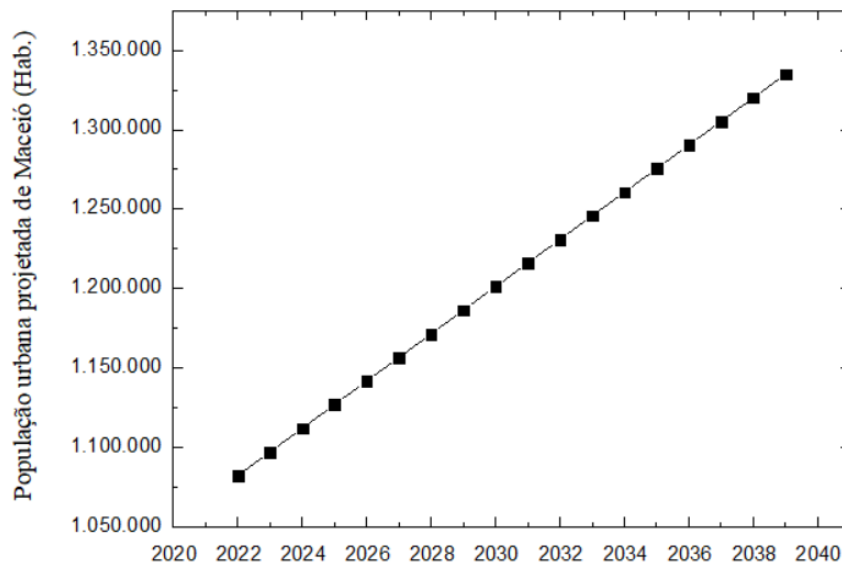
Tabela 16 – Equação de crescimento populacional de melhor ajuste aos dados de Maceió.

Município	Ajuste	Equação	R^2
Maceió	Linear	$(1,49E+04).X + (-28987483,83)$	0,985

Fonte: Autora, 2022.

A população urbana projetada de Maceió obteve um crescimento de 25 % no período analisado de 2022 a 2039, com taxa média de incremento de 1,31 % ao ano. Para o ano de 2022 a população urbana foi estimada em mais de 1,08 milhões de habitantes e a expectativa é que a CTR Maceió atenda até o final de sua vida útil, mais de 1,3 milhões de habitantes, conforme mostra o Gráfico 1.

Gráfico 1 - Projeção populacional urbana de Maceió no período de 2022 a 2039.



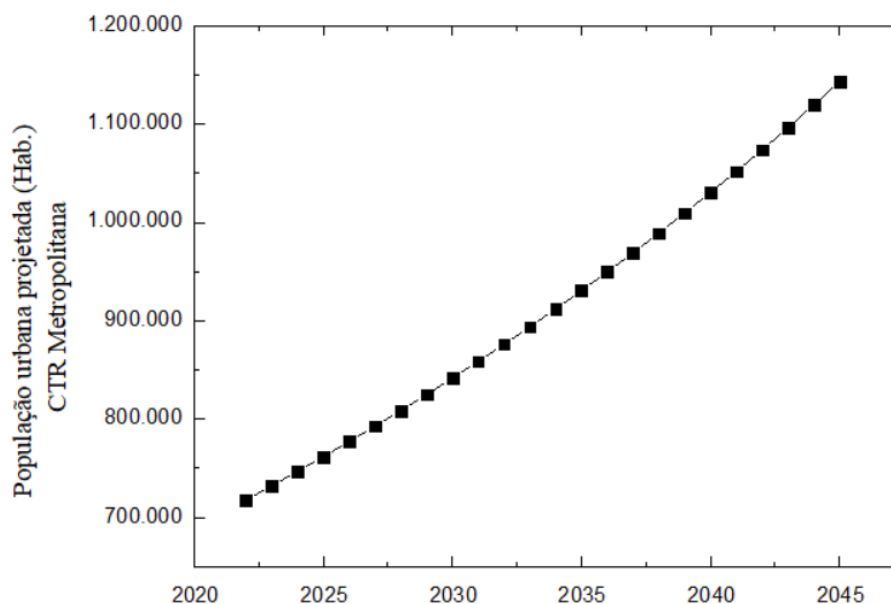
Fonte: Autora, 2022.

5.2.2. CTR Metropolitana

Verifica-se que os ajustes geométrico e logarítmico melhor representaram o crescimento populacional dos municípios analisados em de cerca de 35,7 % cada, seguido do ajuste linear em 21,4%. As equações de crescimento que apresentaram o melhor ajuste e que foram utilizadas para o cálculo de projeção populacional dos municípios que destinam seus RSU para CTR Metropolitana, bem como os coeficientes de correlação (R^2) estão apresentados no Apêndice.

A população urbana projetada dos municípios que destinam seus RSU para a CTR Metropolitana obteve um crescimento de 59 % no período analisado de 2022 a 2045, com taxa média de incremento de 2,05 % ao ano. Para o ano de 2022 a população urbana foi estimada em mais de 718 mil habitantes e a expectativa é que a CTR Metropolitana atenda até o final de sua vida útil, mais de 1,14 milhões de habitantes, conforme mostra o Gráfico 2.

Gráfico 2 - Projeção populacional urbana referente aos municípios que destinam seus RSU para CTR Metropolitana no período de 2022 a 2045.



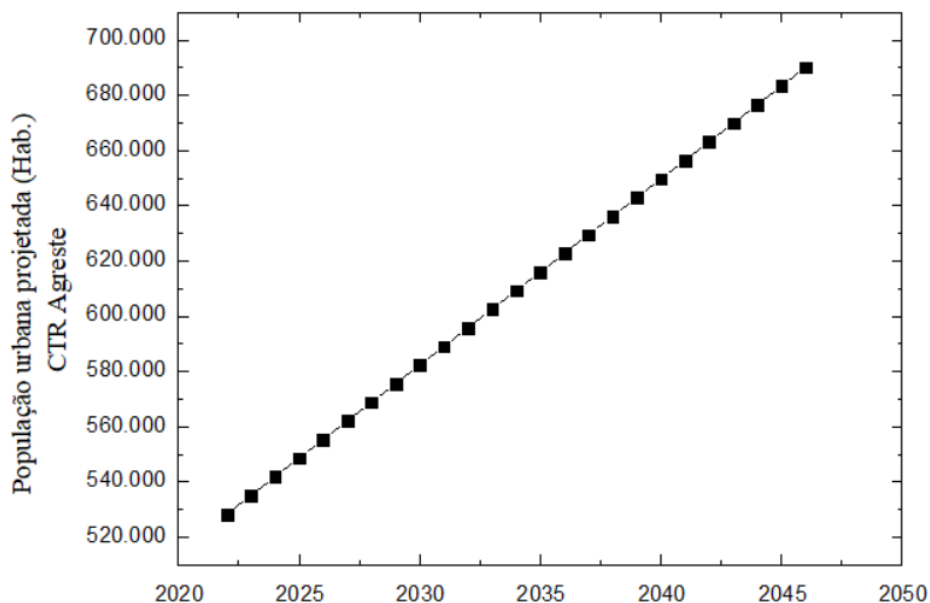
Fonte: Autora, 2022.

5.2.3. CTR Agreste

Verifica-se que o ajuste logarítmico melhor representou o crescimento populacional de cerca de 72 % dos municípios analisados. As equações de crescimento que apresentaram o melhor ajuste e que foram utilizada para o cálculo de projeção populacional dos municípios que destinam seus RSU para CTR Agreste, bem como os seus coeficientes de correlação (R^2) estão apresentados no Apêndice.

A população urbana projetada dos municípios que destinam seus RSU para a CTR Agreste obteve um crescimento de 31 % no período analisado de 2022 a 2046, com taxa média de incremento de 1,12 % ao ano. Para o ano de 2022 a população urbana foi estimada em mais de 528 mil habitantes e a expectativa é que a CTR Agreste atenda até o final de sua vida útil, mais de 690 mil habitantes, conforme mostra o Gráfico 3.

Gráfico 3 - Projeção populacional urbana referente aos municípios que destinam seus RSU para CTR Agreste no período de 2022 a 2046.



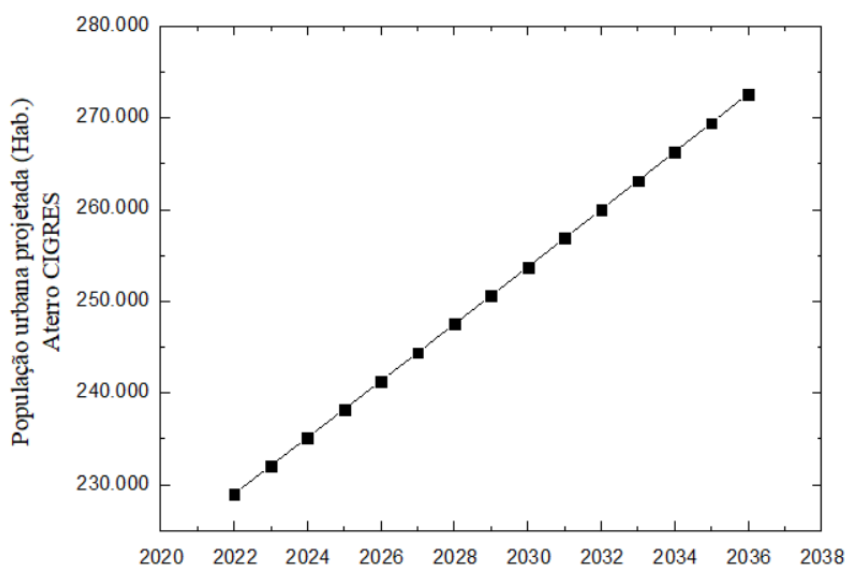
Fonte: Autora, 2022.

5.2.4. Aterro do CIGRES

Verifica-se que o ajuste logarítmico melhor representou o crescimento populacional de cerca de 65 % dos municípios analisados. As equações de crescimento que apresentaram o melhor ajuste e que foram utilizadas para o cálculo de projeção populacional dos municípios que destinam seus RSU para o aterro do CIGRES, bem como os coeficientes de correlação (R^2) estão apresentados no Apêndice.

A população urbana projetada dos municípios que destinam seus RSU para a CTR CIGRES obteve um crescimento de 19 % no período analisado de 2022 a 2036, com taxa média de incremento de 1,25 % ao ano. Para o ano de 2022 a população urbana foi estimada em mais de 186 mil habitantes e a expectativa é que a CTR CIGRES atenda até o final de sua vida útil, mais de 222 mil habitantes, conforme mostra o Gráfico 4.

Gráfico 4 - Projeção populacional urbana referente aos municípios que destinam seus RSU para o Aterro CIGRES no período de 2022 a 2036.



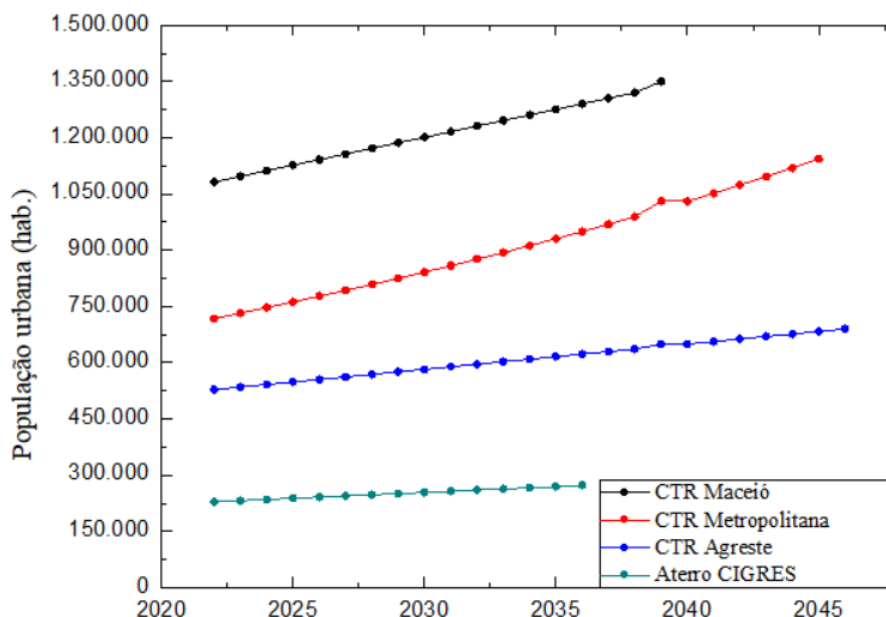
Fonte: Autora, 2022.

5.2.5. Considerações gerais sobre o Estudo Populacional

O Gráfico 5 apresenta o resumo da população urbana projetada dos municípios que destinam seus RSU para as CTRs do Estado de Alagoas de 2022 até o final da vida útil de cada CTR. Nota-se que embora a CTR Maceió receba RSU apenas do próprio município, a população urbana estimada, supera as populações urbanas totais das demais CTRs do Estado, embora recebam RSU de vários municípios. Pode-se observar também, que a CTR Metropolitana atende o segundo maior número de habitantes, tendo em vista que atende 42 municípios.

Ao longo do período analisado, a CTR Metropolitana obteve a maior taxa média de incremento populacional ao ano, com 2,05 % entre os anos de 2022 e 2045, seguida da CTR Maceió com cerca de 1,31 % entre os anos de 2022 e 2039, a aterro do CIGRES com 1,25 % entre 2022 e 2036 e a CTR Agreste com 1,12 % entre 2022 e 2046. Esses resultados refletirão na quantidade de resíduos sólidos urbanos gerados nessas regiões, que posteriormente contribuirão com a quantidade de resíduos aterrados nos aterros sanitários em estudo.

Gráfico 5 – Curva de crescimento da População urbana das CTRs do Estado de Alagoas.



Fonte: Autora, 2022.

5.3. Estimativa da geração per capita de RSU

5.3.1. CTR Maceió

Estão apresentados nas Tabelas Tabela 18 e Tabela 17 os dados mensais levantados quantidade (toneladas) de resíduo Classe IIA pesados na balança da CTR Maceió no ano de 2020 e 2021, bem como o *percapita* calculado a partir desses dados. Observa-se que a CTR Maceió recebeu em média cerca de 1.135 toneladas de RSU por dia, resultando em 1,11 kg/hab/dia no ano de 2020 e em média cerca de 1.057 toneladas por dia de RSU, resultando em 1,03 kg/hab/dia no ano de 2021.

Tabela 17 - Relatório mensal da quantidade (toneladas) e *per capita* de resíduo Classe II A destinados à CTR Maceió de janeiro e fevereiro de 2021.

Mês	Peso (ton.)	Público (ton.)	Privado (ton.)	Geração diária (ton./dia)	Percapita (kg/hab.dia)
jan/21	33.453,22	31.990,57	1.462,65	1115,11	1,08
fev/21	30.002,07	28.591,18	1.410,89	1000,07	0,97
Total	63.455,29	60.581,75	2.873,54	1.057,59	1,03

Fonte: Estre, 2022.

Tabela 18 - Relatório mensal da quantidade (toneladas) e *percapita* de resíduo Classe II
A destinados à CTR Maceió no ano de 2020.

Mês	Peso (ton)	Público (ton)	Privado (ton)	Geração diária (ton/dia)	Per capita (kg/hab.dia)
jan/20	36.093,95	34.649,45	1.444,50	1.203,13	1,17
fev/20	32.532,16	31.130,59	1.401,57	1.084,41	1,06
mar/20	36.571,89	35.344,61	1.227,28	1.219,06	1,19
abr/20	33.930,09	32.774,77	1.155,32	1.131,00	1,10
mai/20	33.404,21	32.720,38	683,83	1.113,47	1,09
jun/20	32.611,96	31.846,37	765,59	1.087,07	1,06
jul/20	35.211,59	34.042,06	1.169,53	1.173,72	1,15
ago/20	33.900,55	33.131,66	768,89	1.130,02	1,10
set/20	32.356,96	31.311,63	1.045,33	1.078,57	1,05
out/20	33.800,64	31.556,28	2.244,36	1.126,69	1,10
nov/20	32.151,89	30.562,68	1.589,21	1.071,73	1,05
dez/20	36.136,08	34.556,44	1.579,64	1.204,54	1,18
Total	408.701,97	393.626,92	15.075,05	1.135,28	1,11

Fonte: Estre, 2022.

Na Tabela 19 pode-se verificar o *per capita* dos anos de 2001 a 2021 obtidos a partir de fontes secundárias como Jucá, 2002 e o SNIS, utilizados para a análise de regressão e cálculo da estimativa do *percapita* futuro, expurgando-se os valores dos anos de 2001, 2013 e 2015, discrepantes. Entretanto, nota-se pelo Gráfico 6, que o R^2 não representa bem a curva e que o *per capita* estimado para o ano 2022 obteve erro relativo de 24 % em relação à média *per capita* dos últimos cinco anos. Enquanto o *percapita* estimado para o mesmo ano utilizando-se como referência a Tabela 8 proposta por Jucá (2002), resultou em erro relativo de apenas 2,8 %, como evidencia a Tabela 20.

Tabela 19 – Dados anuais da geração *per capita* de RSU de 2001 a 2021 de Maceió.

Ano	<i>Per capita</i> (kg/hab.dia)	Ano	<i>Per capita</i> (kg/hab.dia)
2001	1,34	2012	1,7
2002	0,65	2013	2,03
2003	0,75	2014	1,39
2004	0,73	2015	2,34
2005	1,43	2016	1,14
2006	1,68	2017	1,02
2007	1,57	2018	1,04
2008	1,55	2019	1,04
2009	1,58	2020	1,13
2010	1,48	2021	1,07
2011	1,65	-	-

Fonte: Jucá, 2002 e SNIS, 2022.

Gráfico 6 – Ajuste da taxa per capita de Maceió.

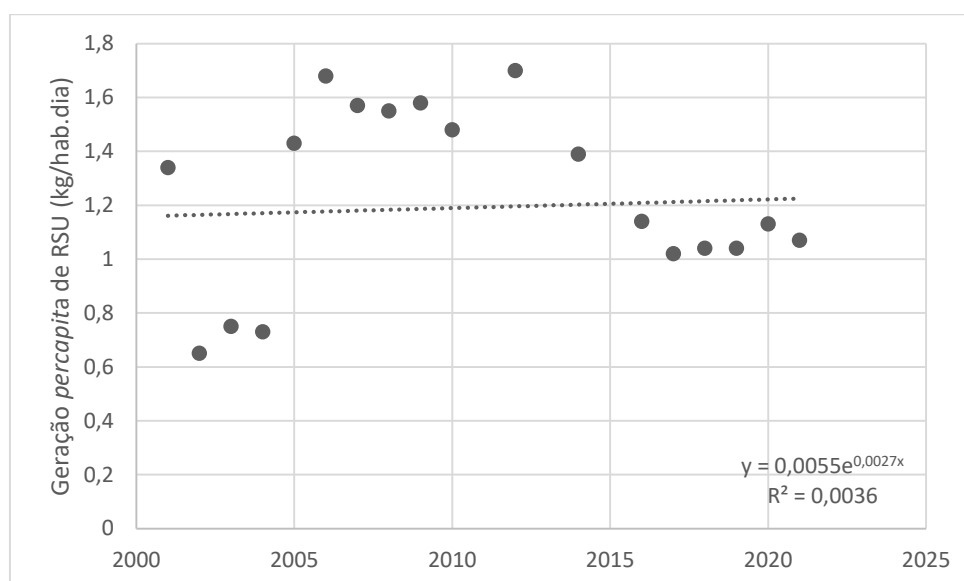


Tabela 20 – Comparativo da estimativa de per capita de Maceió.

Per capita	Média de 2017 a 2021 (kg/hab.dia)	Projeção de 2022 (kg/hab.dia)	Erro relativo (%)
Regressão	1,05	1,30	24
Jucá (2002)	1,05	1,08	2,8

Fonte: Autora, 2022.

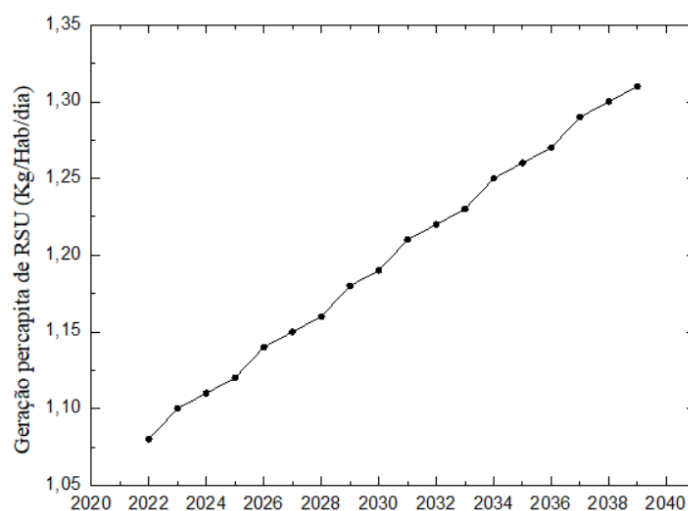
Optou-se portanto, por utilizar o estudo de Jucá (2002) para estimar o per capita futuro de Maceió, conforme a Tabela 21 e Gráfico 7. Pode-se observar que a geração per capita de RSU para Maceió obteve crescimento de 21 % no período analisado de 2022 a 2039, com taxa média de incremento de 1,14 % ao ano, acompanhando o crescimento populacional.

Tabela 21 – Crescimento de geração per capita de RSU para Maceió entre 2022 e 2039.

Ano	População	Per capita (Kg/Hab/dia)	Ano	População	Per capita (Kg/Hab/dia)
2022	1.082.317	1,08	2031	1.216.159	1,21
2023	1.097.188	1,10	2032	1.231.030	1,22
2024	1.112.060	1,11	2033	1.245.901	1,23
2025	1.126.931	1,12	2034	1.260.773	1,25
2026	1.141.802	1,14	2035	1.275.644	1,26
2027	1.156.673	1,15	2036	1.290.515	1,27
2028	1.171.545	1,16	2037	1.305.387	1,29
2029	1.186.416	1,18	2038	1.320.258	1,30
2030	1.201.287	1,19	2039	1.335.129	1,31

Fonte: Autora, 2022.

Gráfico 7 - Crescimento de geração per capita de RSU para Maceió entre 2022 e 2039.



Fonte: Autora, 2022.

5.3.2. CTR Metropolitana

Estão apresentados na Tabela 22 os dados anuais levantados de quantidade (toneladas) de resíduo Classe IIA pesados na balança da CTR Metropolitana no ano de 2020 e 2021, bem como o *per capita* calculado a partir desses dados.

Observa-se que a CTR Metropolitana recebeu em média cerca de 605 e 627 toneladas de RSU por dia no ano 2020 e 2021 respectivamente, considerando somente os RSU de responsabilidade dos municípios. Verifica-se que os principais geradores de RSU no período analisado foram os municípios de Pilar, Rio Largo e Marechal Deodoro, representando cerca de 30% do total de RSU destinados à CTR Metropolitana.

Além dos resíduos municipais, a CTR recebeu de empresas privadas mais de 27 mil e 31,7 mil toneladas de resíduos classe IIA nos anos de 2020 e 2021, respectivamente, representando cerca de 12% (2020) e 14 % (2021) no total de resíduo desse tipo que é destinado à CTR.

Analisando-se a geração per capita de RSU calculado à partir desses dados, nota-se que alguns municípios como Pilar, Barra de São Miguel, Jequiá da Praia, Porto de Pedras e principalmente São Miguel dos Milagres (5,45 kg/hab.dia em 2021), obtiveram valores de per capita elevados e incoerentes com a realidade local, se consideramos somente a população urbana.

Buscou-se então, averiguar a correlação entre o PIB desses municípios com a

geração *percapita* de RSU, tendo em vista que o PIB também está atrelado ao maior consumo e maior poder aquisitivo da população e que a produção maior de resíduos cresce de acordo com o poder aquisitivo e não mais somente pelo crescimento populacional. No entanto, a ausência de dados restringiu essa análise, sendo possível realizá-la apenas para os municípios de Barra de São Miguel e Jequiá da Praia.

A análise da correlação entre os per capita desses dois municípios, foi de 0,6 para Barra de São Miguel e 0,14 para Jequiá da Praia, indicando baixa correlação, principalmente para Jequiá da Praia. Nota-se também, que a curva de geração per capita de RSU da Barra de São Miguel somente tem um crescimento significativo e similar a curva de crescimento do PIB per capita entre os anos de 2018 e 2019.

Tabela 22 - Relatório da quantidade (toneladas) e *per capita* de resíduo Classe II A destinados à CTR Metropolitana no ano de 2020 e 2021.

Município	População Urbana 2020	Massa RSU (ton.) 2020	<i>Per capita</i> (kg/hab.dia)	População Urbana 2021	Massa RSU (ton.) 2021	<i>Per capita</i> (kg/hab/dia)
Anadia	11.024	2.958	0,735	8.963	2.887	0,883
Atalaia	23.849	8.295	0,953	22.549	10.200	1,239
B. de Santo Antônio	16.648	3.841	0,632	14.372	4.842	0,923
B.de São Miguel	7.179	4.825	1,841	7.096	4.931	1,904
Boca da Mata	19.679	5.275	0,734	18.009	5.085	0,774
Branquinha	7.552	1.257	0,456	5.996	1.247	0,570
Cajueiro	18.372	3.730	0,556	16.561	3.599	0,595
Campestre	5.700	1.257	0,604	5.573	1.337	0,657
Capela	13.227	3.131	0,648	11.791	3.028	0,703
Chã Preta	4.697	840	0,490	4.026	824	0,561
Colônia Leopoldina	15.926	3.294	0,567	15.548	3.183	0,561
Coqueiro Seco	5.488	2.043	1,020	5.268	1.647	0,856
Coruripe	53.518	11.004	0,563	38.543	10.758	0,765
Feliz Deserto	3.873	708	0,501	3.713	599	0,442
Flexeiras	8.253	1.815	0,602	7.746	1.756	0,621
Ibateguara	10.235	2.698	0,722	9.107	2.571	0,773
Jequiá da Praia	3.197	1.685	1,444	2.750	1.814	1,807
Joaquim Gomes	15.939	3.114	0,535	14.836	3.014	0,557
Jundiá	3.084	437	0,389	2.331	578	0,679
Mar Vermelho	1.615	499	0,846	1.405	476	0,929
Marechal Deodoro	50.178	21.620	1,180	46.911	22.683	1,325
Matriz de Camaragibe	23.060	5.727	0,680	20.804	5.904	0,778
Messias	23.660	3.476	0,402	15.527	3.196	0,564
Murici	25.638	4.365	0,466	21.841	4.160	0,522
Novo Lino	7.604	1.548	0,558	7.201	1.616	0,615
Paripueira	13.744	4.695	0,936	11.904	5.258	1,210
Passo de Camaragibe	6.829	3.353	1,345	6.928	3.719	1,471

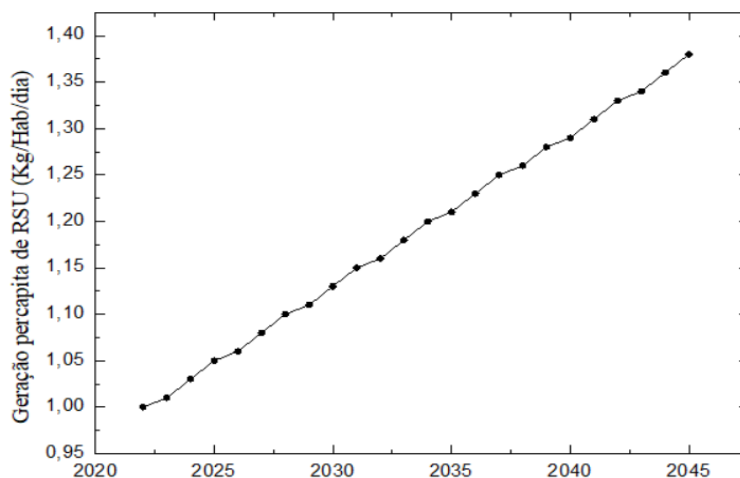
Município	População Urbana 2020	Massa RSU (ton.) 2020	Per capita (kg/hab.dia)	População Urbana 2021	Massa RSU (ton.) 2021	Per capita (kg/hab/dia)
Pilar	39.677	20.086	1,387	32.792	24.462	2,044
Pindoba	1.550	361	0,637	1.489	392	0,721
Porto Calvo	21.550	6.521	0,829	19.281	6.601	0,938
Porto de Pedras	4.786	2.106	1,206	4.105	2.560	1,709
Rio Largo	65.870	23.501	0,977	61.104	22.523	1,010
Roteiro	6.320	1.797	0,779	5.506	1.745	0,868
Santa Luzia do Norte	7.967	2.033	0,699	6.418	1.978	0,844
Santana do Mundaú	6.639	1.495	0,617	5.596	1.465	0,717
São José da Laje	16.502	4.210	0,699	15.311	4.285	0,767
São Luís do Quitunde	21.699	6.941	0,876	21.388	6.704	0,859
São Miguel dos Campos	62.990	16.235	0,706	51.433	15.696	0,836
São Miguel dos Milagres	2.313	2.879	3,411	2.474	4.921	5,449
Satuba	16.650	5.387	0,886	11.728	5.407	1,263
União dos Palmares	58.438	14.803	0,694	46.492	14.128	0,833
Viçosa	20.312	4.961	0,669	17.834	4.936	0,758
TOTAL	753.032	220.806	-	650.250	228.714	-

Fonte: Adaptado de Alagoas Ambiental, 2022.

Diante da ausência e/ou incoerência dos dados obtidos do levantamento dos valores de geração per capita de RSU do SNIS entre os anos de 2002 e 2019 para a maioria dos municípios, bem como a incoerência do per capita calculado a partir dos dados fornecidos pela CTR para alguns municípios, como já citado anteriormente, a projeção dessa taxa para os anos de projeção através da análise de regressão foi descartada.

Optou-se, portanto, utilizar como referência o estudo de Jucá, 2002, como mostra a Tabela 23 e Gráfico 8. Pode-se observar que a geração per capita de RSU referente a CTR Metropolitana obteve crescimento de 38 % no período analisado de 2022 a 2045, com taxa média de incremento de 1,41 % ao ano, coerente com o crescimento populacional.

Gráfico 8 - Crescimento da taxa per capita de geração de RSU referente a CTR Metropolitana de 2022 a 2045.



Fonte: Autora, 2022.

Tabela 23 - Crescimento de geração per capita de RSU referente a CTR Metropolitana entre 2022 e 2045.

Ano	População	Per capita (Kg/Hab./dia)	Ano	População	Per capita (Kg/Hab./dia)
2022	717.843	1,00	2034	912.119	1,20
2023	732.254	1,01	2035	930.715	1,21
2024	746.954	1,03	2036	949.744	1,23
2025	761.951	1,05	2037	969.218	1,25
2026	777.255	1,06	2038	989.155	1,26
2027	792.878	1,08	2039	1.009.570	1,28
2028	808.831	1,10	2040	1.030.480	1,29
2029	825.123	1,11	2041	1.051.902	1,31
2030	841.768	1,13	2042	1.073.854	1,33
2031	858.778	1,15	2043	1.096.354	1,34
2032	876.164	1,16	2044	1.119.421	1,36
2033	893.940	1,18	2045	1.143.076	1,38

Fonte: Autora, 2022.

5.3.3. CTR Agreste

Estão apresentados nas Tabela 24 os dados mensais levantados quantidade (toneladas) de resíduo Classe IIA pesados na balança da CTR Agreste no ano de 2020 e 2021, bem como o *per capita* calculado a partir desses dados. Observa-se que a CTR

Agreste recebeu em média cerca de 406 e 476 toneladas de RSU por dia no ano 2020 e 2021 respectivamente, considerando somente os RSU de responsabilidade dos municípios. Verifica-se que o município de Arapiraca foi o principal gerador, representando cerca de 44% do total de RSU destinados à CTR Agreste.

Além dos resíduos municipais, a CTR recebeu de empresas privadas mais de 5,9 mil toneladas de resíduos classe IIA nos anos de 2020 e 2021, representando cerca de 4% no total de resíduo desse tipo que é destinado à CTR.

Analisando-se a geração per capita de RSU calculado à partir desses dados, nota-se que alguns municípios como Belém, Feira Grande, Junqueiro, Igreja Nova e principalmente Limoeiro de Anadia (3,7 kg/hab/dia em 2021), obtiveram valores de per capita elevados e incoerentes com a realidade local, se consideramos somente a população. Buscou-se então, averiguar a correlação entre o PIB desses municípios com o geração per capita de RSU, tendo em vista que o PIB também está atrelado ao maior consumo e maior poder aquisitivo da população e que a produção maior de resíduos cresce de acordo com o poder aquisitivo e não mais somente pelo crescimento populacional. No entanto, a ausência de dados desses municípios de geração per capita de RSU impossibilitou essa análise.

Tabela 24 - Relatório da quantidade (toneladas) de resíduo Classe II A destinados à CTR Agreste no ano de 2020 e 2021.

Município	População Urbana 2020	Massa RSU (ton.) 2020	Per capita (kg/hab/dia)	População Urbana 2021	Massa RSU (ton.) 2021	Per capita (kg/hab/dia)
Arapiraca	197.628	73.528	1,019	186.937	71.543	1,049
Belém	1.329	726	1,496	1.545	687	1,218
Campo Alegre	25.092	6.893	0,753	24.105	7.187	0,817
Campo Grande	4.433	1.113	0,688	4.256	1.108	0,713
Coité do Nóia	3.640	841	0,633	3.020	975	0,885
Craíbas	7.868	3.288	1,145	7.933	3.155	1,090
Estrela de Alagoas	4.263	1.280	0,822	4.023	1.365	0,930
Feira Grande	3.559	1.951	1,502	3.714	2.137	1,576
Girau do Ponciano	12.729	3.802	0,818	12.683	4.043	0,873
Igaci	6.288	2.394	1,043	6.226	2.566	1,129
Igreja Nova	5.040	2.822	1,534	5.134	2.772	1,479
Junqueiro	8.093	4.443	1,504	7.838	4.410	1,542
Lagoa da Canoa	8.924	2.685	0,824	8.642	2.595	0,823
Limoeiro de Anadia	2.553	3.115	3,343	2.476	3.346	3,703
Maribondo	9.666	2.885	0,818	9.364	2.900	0,849

Minador do Negrão	2.272	472	0,569	2.119	446	0,577
Olho d'Água Grande	1.244	329	0,723	1.216	400	0,901
Palmeira dos Índios	53.788	16.189	0,825	54.263	14.324	0,723
Paulo Jacinto	4.997	1.104	0,605	4.960	1.218	0,673
Penedo	47.606	12.623	0,726	47.938	12.557	0,718
Piaçabuçu	10.827	3.207	0,812	11.024	2.917	0,725
Porto Real do Colégio	6.972	2.445	0,961	6.815	2.418	0,972
Quebrangulo	6.343	1.690	0,730	6.241	1.582	0,695
São Brás	3.302	1.005	0,834	3.322	1.037	0,856
São Sebastião	13.186	4.872	1,012	12.324	4.850	1,078
Tanque d'Arca	2.146	702	0,896	2.132	752	0,967
Taquarana	7.719	2.802	0,995	6.505	2.737	1,153
Teotônio Vilela	37.507	7.547	0,551	37.252	8.764	0,645
Traipu	8.690	1.365	0,430	8.740	1.246	0,391
TOTAL	507.705	168.119	-	492.745	166.041	-

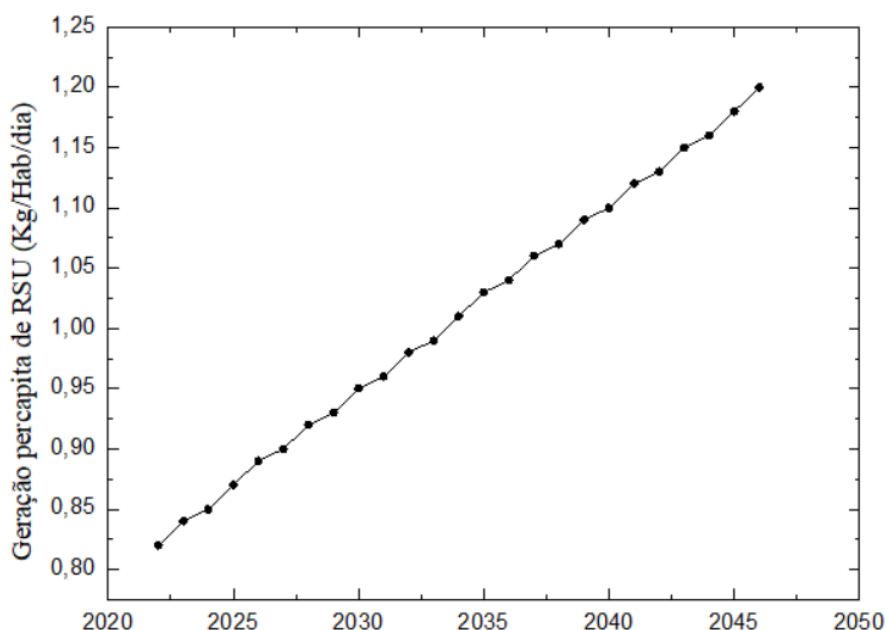
Fonte: Adaptado de Alagoas Ambiental, 2022.

Tabela 25 - Crescimento de geração per capita de RSU referente a CTR Agreste entre 2022 e 2046.

Ano	População	Per capita (Kg/Hab/dia)	Ano	População	Per capita (Kg/Hab/dia)
2022	528.447	0,82	2035	616.075	1,03
2023	535.193	0,84	2036	622.809	1,04
2024	541.939	0,85	2037	629.543	1,06
2025	548.683	0,87	2038	636.275	1,07
2026	555.427	0,89	2039	643.007	1,09
2027	562.169	0,90	2040	649.739	1,10
2028	568.911	0,92	2041	656.469	1,12
2029	575.651	0,93	2042	663.199	1,13
2030	582.391	0,95	2043	669.929	1,15
2031	589.129	0,96	2044	676.658	1,16
2032	595.867	0,98	2045	683.386	1,18
2033	602.604	0,99	2046	690.113	1,20
2034	609.340	1,01	-	-	-

Fonte: Autora, 2022.

Gráfico 9 - Crescimento de geração per capita de RSU referente a CTR Agreste entre 2022 e 2046.



Fonte: Autora, 2022.

Diante da ausência e/ou incoerência dos dados obtidos do levantamento dos valores de geração per capita de RSU do SNIS entre os anos de 2002 e 2019 para a maioria dos municípios, bem como a incoerência do per capita calculado a partir dos dados fornecidos pela CTR para alguns municípios, como já citado anteriormente, impossibilitou a análise de regressão. Optou-se portanto, utilizar como referência o estudo de Jucá (2002) para realizar a projeção, como mostra a Tabela 25 e Gráfico 9. Pode-se observar que a geração per capita de RSU referente a CTR Agreste obteve crescimento de 45 % no período analisado de 2022 a 2046, com taxa média de incremento de 1,57 % ao ano, acompanhando o crescimento populacional.

5.3.4. Aterro do CIGRES

Diante da ausência e/ou incoerência dos dados obtidos do levantamento dos valores de geração *percapita* de RSU do SNIS entre os anos de 2002 e 2019 para a maioria dos municípios, bem como o não fornecimento dos dados de geração per capita de RSU pela CTR, impossibilitou a análise de regressão. Optou-se portanto, utilizar como referência o estudo de Jucá (2002) para realizar a projeção, como mostra a Tabela 26 Tabela 25 e Gráfico 10 Gráfico 9. Pode-se observar que a geração per capita de RSU referente ao aterro do CIGRES obteve crescimento de 41 % no período analisado de 2022

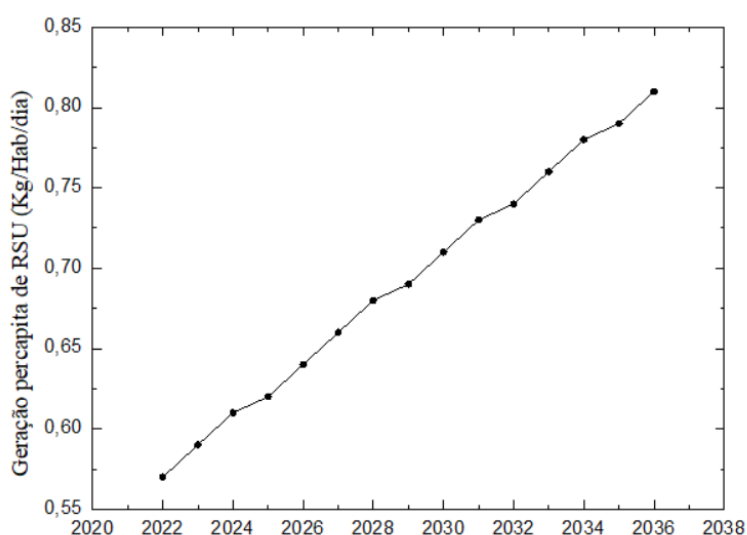
a 2036, com taxa média de incremento de 2,49 % ao ano.

Tabela 26 - Crescimento de geração per capita de RSU referente a CTR CIGRES entre 2022 e 2036.

Ano	População	Per capita (Kg/Hab/dia)	Ano	População	Per capita (Kg/Hab/dia)
2022	229.012	0,57	2030	253.749	0,71
2023	232.081	0,59	2031	256.873	0,73
2024	235.157	0,61	2032	260.004	0,74
2025	238.239	0,62	2033	263.144	0,76
2026	241.327	0,64	2034	266.291	0,78
2027	244.422	0,66	2035	269.447	0,79
2028	247.524	0,68	2036	272.612	0,81
2029	250.633	0,69	-	-	-

Fonte: Autora, 2022.

Gráfico 10 - Crescimento de geração per capita de RSU referente a CTR CIGRES entre 2022 e 2036.



Fonte: Autora, 2022.

5.3.5. Considerações gerais sobre a Estimativa da geração per capita de RSU

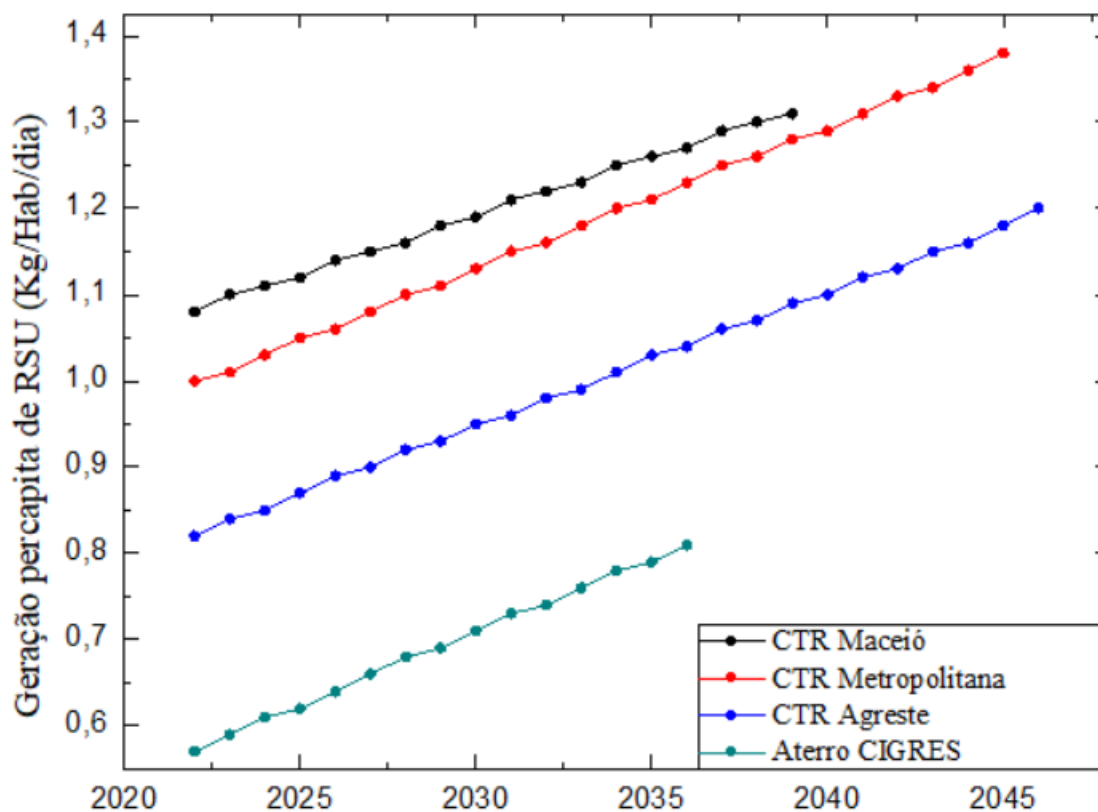
O Gráfico 11 apresenta um comparativo da geração *percapita* de RSU referentes aos aterros sanitários do Estado de Alagoas de 2022 até o final da vida útil de cada aterro.

Nota-se que projeção de geração *percapita* de RSU de Maceió durante seu período de vida útil superou as demais, seguida da CTR Metropolitana, CTR Agreste e aterro do CIGRES.

O resultado apresentado corrobora com o estudo de NORBETO *et al.* (2021) que indicou a existência de correlação positiva alta das variáveis PIB e geração de resíduos

per capita na região Nordeste do Brasil. Como visto anteriormente, o PIB per capita da capital representa 40 % do PIB de Alagoas, segundo a última estimativa realizada em 2019, maior dentre as médias das demais regiões analisadas, evidenciando a relação entre os aspectos socioeconômicos da população, com a quantidade de resíduos gerados por habitante.

Gráfico 11 - Geração *percapita de RSU* referente as CTRs.



Fonte: Autora, 2022.

5.4. Quantidade de RSU Aterrados

5.4.1. CTR Maceió

Pode-se estimar a geração de RSU anual referente à CTR Maceió conhecida a população projetada calculada anteriormente (item 5.2) até o ano de 2039, levando em consideração que a previsão de encerramento se estenda por mais 10 anos. Bem como, conhecida também a taxa de geração per capita de RSU estimada para cada ano de projeção populacional.

A geração de RSU variou de mais de 420 mil toneladas no ano de 2022 à mais de

639 mil toneladas no ano de 2039, resultando em um crescimento de 49 % na quantidade de RSU gerados nesse período. Posteriormente, a quantidade RSU aterrados na CTR Maceió foi estimada levando-se em consideração o percentual anual de coleta de RSU de 96,03%, resultando em um valor estimado de mais de 9 milhões de toneladas de RSU aterrados na CTR Maceió no período analisado de 2022 à 2039, conforme apresentado na Tabela 27.

Tabela 27 - Quantidade de RSU aterrados na CTR Maceió entre os anos de 2022 e 2039.

Ano	CTR MACEIÓ				
	População	Per capita (Kg/Hab.dia)	Geração (Ton)	Percentual de coleta de RSU - R (%)	Quant. RSU aterrados (Ton.)
2022	1.082.317	1,08	428.032	96,03	411.039
2023	1.097.188	1,10	439.320	96,03	421.879
2024	1.112.060	1,11	450.754	96,03	432.859
2025	1.126.931	1,12	462.335	96,03	443.980
2026	1.141.802	1,14	474.062	96,03	455.242
2027	1.156.673	1,15	485.936	96,03	466.644
2028	1.171.545	1,16	497.956	96,03	478.187
2029	1.186.416	1,18	510.123	96,03	489.871
2030	1.201.287	1,19	522.437	96,03	501.696
2031	1.216.159	1,21	534.897	96,03	513.662
2032	1.231.030	1,22	547.504	96,03	525.768
2033	1.245.901	1,23	560.257	96,03	538.015
2034	1.260.773	1,25	573.157	96,03	550.402
2035	1.275.644	1,26	586.203	96,03	562.931
2036	1.290.515	1,27	599.396	96,03	575.600
2037	1.305.387	1,29	612.735	96,03	588.410
2038	1.320.258	1,30	626.221	96,03	601.360
2039	1.335.129	1,31	639.854	96,03	614.452

Fonte: Autora, 2022.

5.4.2. CTR Metropolitana

Sabido a população projetada (item 5.2) até o ano de encerramento da CTR Metropolitana, ou seja, ano de 2045, bem como a taxa de geração per capita de RSU estimada para cada ano de projeção populacional, pode-se estimar a geração de RSU anual referente à esta CTR.

A geração de RSU variou de mais de 260 mil toneladas no ano de 2022 à mais de 574 mil toneladas no ano de 2045, resultando em um crescimento de mais de 100 % na quantidade de RSU gerados nesse período. Posteriormente, a quantidade RSU aterrados

na CTR Metropolitana foi estimada levando-se em consideração o percentual anual de coleta de RSU de 95,99%, resultando em um valor estimado de 10 milhões de toneladas de RSU aterrados na CTR Metropolitana no período analisado de 2022 à 2045, conforme apresentado na Tabela 28.

Tabela 28 – Quantidade de RSU aterrados na CTR Metropolitana entre os anos de 2022 e 2045.

Ano	CTR Metropolitana				
	População	Per capita (Kg/Hab/dia)	Geração (Ton.)	Percentual de coleta de RSU - R (%)	Quant. RSU aterrados (Ton.)
2022	717.843	1,00	261.400	95,99	283.537
2023	732.254	1,01	271.046	95,99	293.999
2024	746.954	1,03	280.974	95,99	304.768
2025	761.951	1,05	291.195	95,99	315.854
2026	777.255	1,06	301.716	95,99	327.267
2027	792.878	1,08	312.550	95,99	339.018
2028	808.831	1,10	323.705	95,99	351.118
2029	825.123	1,11	335.192	95,99	363.578
2030	841.768	1,13	347.023	95,99	376.411
2031	858.778	1,15	359.210	95,99	389.630
2032	876.164	1,16	371.764	95,99	403.247
2033	893.940	1,18	384.698	95,99	417.276
2034	912.119	1,20	398.026	95,99	431.732
2035	930.715	1,21	411.760	95,99	446.630
2036	949.744	1,23	425.916	95,99	461.985
2037	969.218	1,25	440.509	95,99	477.813
2038	989.155	1,26	455.553	95,99	494.132
2039	1.009.570	1,28	471.066	95,99	510.958
2040	1.030.480	1,29	487.063	95,99	528.310
2041	1.051.902	1,31	503.564	95,99	546.208
2042	1.073.854	1,33	520.585	95,99	564.671
2043	1.096.354	1,34	538.147	95,99	583.720
2044	1.119.421	1,36	556.269	95,99	603.376
2045	1.143.076	1,38	574.971	95,99	623.663

Fonte: Autora, 2022.

5.4.3. CTR Agreste

Sabido a população projetada (item 5.2) até o ano de encerramento da CTR Agreste, ou seja, ano de 2046, bem como a taxa de geração per capita de RSU estimada para cada ano de projeção populacional, pode-se estimar a geração de RSU anual referente à esta CTR.

A geração de RSU variou de mais de 158 mil toneladas no ano de 2022 à mais de 301 mil toneladas no ano de 2046, resultando em um crescimento de 90% na quantidade

de RSU gerados nesse período. Posteriormente, a quantidade RSU aterrados na CTR Agreste foi estimada levando-se em consideração o percentual anual de coleta de RSU de 91%, resultando em um valor estimado de 5,6 milhões de toneladas de RSU aterrados na CTR Agreste no período analisado de 2022 à 2046, conforme apresentado na Tabela 29.

Tabela 29 - Quantidade de RSU aterrados na CTR Agreste entre os anos de 2022 e 2046.

Ano	CTR Agreste				
	População	Per capita (Kg/Hab./dia)	Geração (Ton.)	Percentual de coleta de RSU - R (%)	Quant. RSU aterrados (Ton.)
2022	528.447	0,82	158.737	95,35	157.410
2023	535.193	0,84	163.803	95,35	162.434
2024	541.939	0,85	168.945	95,35	167.533
2025	548.683	0,87	174.163	95,35	172.707
2026	555.427	0,89	179.456	95,35	177.956
2027	562.169	0,90	184.826	95,35	183.281
2028	568.911	0,92	190.271	95,35	188.680
2029	575.651	0,93	195.792	95,35	194.155
2030	582.391	0,95	201.389	95,35	199.705
2031	589.129	0,96	207.062	95,35	205.331
2032	595.867	0,98	212.810	95,35	211.031
2033	602.604	0,99	218.634	95,35	216.806
2034	609.340	1,01	224.534	95,35	222.657
2035	616.075	1,03	230.510	95,35	228.583
2036	622.809	1,04	236.562	95,35	234.584
2037	629.543	1,06	242.689	95,35	240.660
2038	636.275	1,07	248.892	95,35	246.812
2039	643.007	1,09	255.171	95,35	253.038
2040	649.739	1,10	261.526	95,35	259.340
2041	656.469	1,12	267.957	95,35	265.716
2042	663.199	1,13	274.463	95,35	272.168
2043	669.929	1,15	281.045	95,35	278.695
2044	676.658	1,16	287.703	95,35	285.297
2045	683.386	1,18	294.436	95,35	291.975
2046	690.113	1,20	301.246	95,35	298.727

Fonte: Autora, 2022.

5.4.4. Aterro do CIGRES

Sabido a população projetada (item 5.2) até o ano de encerramento do aterro do CIGRES, ou seja, ano de 2036, bem como a taxa de geração per capita de RSU estimada para cada ano de projeção populacional, pode-se estimar a geração de RSU anual referente à este aterro.

A geração de RSU variou de mais de 48 mil toneladas no ano de 2022 à mais de

80 mil toneladas no ano de 2036, resultando em um crescimento de 68% na quantidade de RSU gerados nesse período. Posteriormente, a quantidade RSU aterrados na CTR CIGRES foi estimada levando-se em consideração o percentual anual de coleta de RSU de 80,76 %, resultando em um valor estimado de 771 mil toneladas de RSU aterrados no aterro do CIGRES no período analisado de 2022 à 2036, conforme apresentado na Tabela 30.

Tabela 30 - Quantidade de RSU aterrados no aterro do CIGRES entre os anos de 2022 e 2036.

Ano	Aterro do CIGRES				
	População	Per capita (Kg/Hab./dia)	Geração (Ton.)	Percentual de coleta de RSU - R (%)	Quant. RSU aterrados (Ton.)
2022	229.012	0,57	48.010	80,76	38.774
2023	232.081	0,59	50.081	80,76	40.447
2024	235.157	0,61	52.191	80,76	42.151
2025	238.239	0,62	54.340	80,76	43.887
2026	241.327	0,64	56.529	80,76	45.654
2027	244.422	0,66	58.756	80,76	47.454
2028	247.524	0,68	61.024	80,76	49.285
2029	250.633	0,69	63.331	80,76	51.148
2030	253.749	0,71	65.678	80,76	53.044
2031	256.873	0,73	68.066	80,76	54.972
2032	260.004	0,74	70.493	80,76	56.933
2033	263.144	0,76	72.961	80,76	58.926
2034	266.291	0,78	75.470	80,76	60.952
2035	269.447	0,79	78.020	80,76	63.012
2036	272.612	0,81	80.612	80,76	65.105

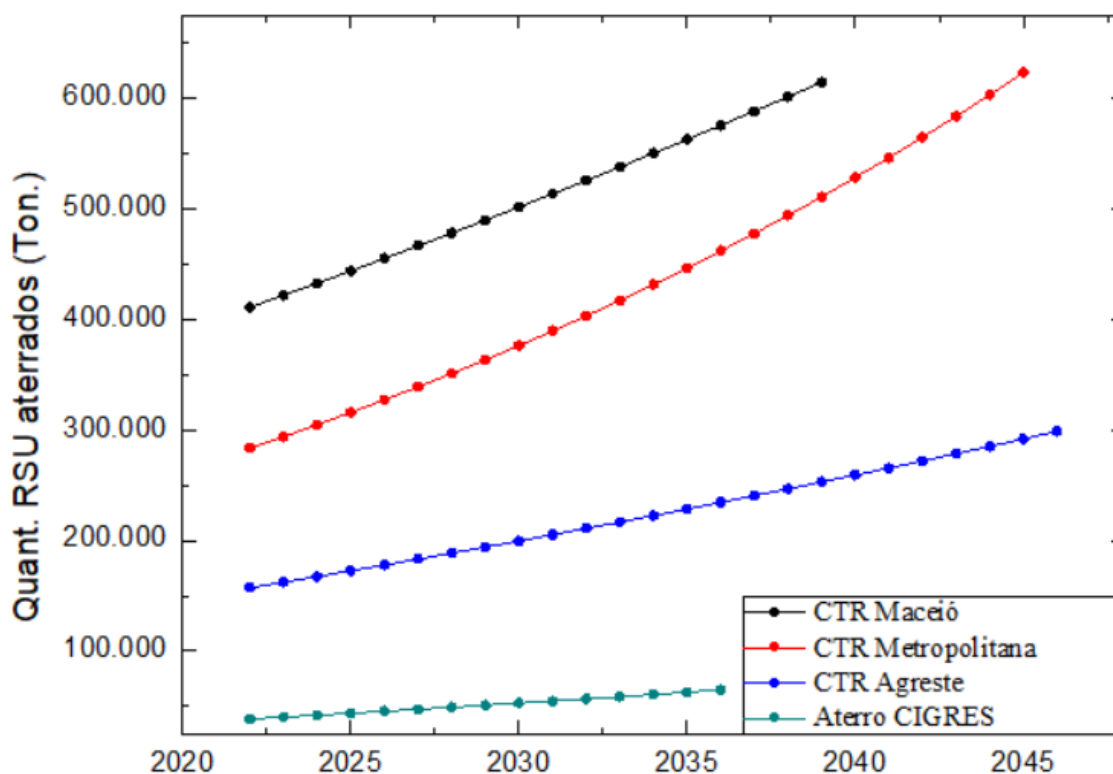
Fonte: Autora, 2022.

5.4.5. Considerações gerais sobre a Quantidade de RSU Aterrados

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e Gráfico 12 apresentam o comparativo da quantidade de RSU aterrados nas CTRs do Estado de Alagoas de 2022 até o final da vida útil de cada CTR. Nota-se que a quantidade estimada de resíduos aterrados da CTR Maceió supera as demais CTRs do Estado, embora recebam RSU de vários municípios. Tendo em vista a população atendida pela CTR Maceió, em relação as demais, bem como a superioridade no percentual de coleta de resíduos (R), era esperado que a quantidade de RSU aterrados também fosse superior.

A quantidade de resíduos aterrados ao longo dos anos de vida útil dos aterros sanitários afeta diretamente a produção de biogás, sendo portanto, um parâmetro de grande peso na aplicação dos modelos matemáticos, como o IPCC (2006), nas estimativas de geração de metano. No entanto, os aspectos qualitativos também são importantes, como a caracterização gravimétrica dos resíduos, principalmente no modelo IPCC (2006) multicomponentes.

Gráfico 12 - Quantidade de RSU aterrados nas CTRs.



Fonte: Autora, 2022.

5.5. Composição Gravimétrica

5.5.1. CTR Maceió

O percentual de matéria orgânica presente nos resíduos sólidos urbanos da CTR Maceió é a parcela mais significativa na composição desses resíduos, com 67,45 %, valor acima da média nacional (45,3 %).

Os resíduos inertes como metal, vidro e plástico também tiveram uma participação representativa na composição dos RSU dessa região, com 11,75 %. Entretanto, esse tipo de resíduo não contribui para a estimativa de produção de biogás.

Em relação ao papel, sua presença nos RSU da CTR Maceió foi de 8,75%, abaixo da média nacional (10,4 %). Os resíduos sanitários como fraudas, papel higiênico e absorventes, representaram cerca de 5 % da composição dos RSU dessa região, bem como os resíduos têxteis. Os demais componentes obtiveram valores em torno de 1%. No entanto, esses componentes também possuem potencial de geração de metano, embora presentes em menores quantidades nos RSU, apresentam teor de DOC relevante.

Logo, pode-se dizer que 88,27% dos RSU da CTR Maceió possuem potencial para gerar metano. Principalmente a matéria orgânica, devido sua representatividade na composição dos resíduos e o papel, resíduos sanitários e têxteis, devido ao DOC.

A Tabela 31 apresenta caracterização gravimétrica dos RSU destinados à CTR Maceió.

Tabela 31 - Caracterização gravimétrica dos RSU destinados à CTR Maceió.

Papel (%)	Jardim (%)	Matéria orgânica (%)	Têxteis (%)	Madeira (%)	Resíduos sanitários (%)	Inertes (%)	Outros (%)
8,75%	0,83%	67,45%	4,63%	1,51%	5,10%	11,75%	1,23%

Fonte: Adaptado de Silva *et al.* (2020).

5.5.2. CTR Metropolitana

Observa-se que a matéria orgânica é a fração mais significativa desses resíduos, com percentual de 67,53 %, valor acima da média nacional (45,3 %).

Os resíduos inertes como metal, vidro e plástico também tiveram uma participação representativa na composição dos RSU dessa região, com 16,35%.

Em relação ao papel, sua presença nos RSU da CTR Metropolitana foi de 4,81%,

abaixo da média nacional (10,4 %). Os resíduos sanitários como fraudas, papel higiênico e absorventes, representaram cerca de 3,22 % da composição dos RSU dessa região, seguido dos resíduos têxteis com 2,92 %. Os resíduos de jardim e de madeira juntos obtiveram valores inferiores a 1%. No entanto, esses componentes também possuem potencial de geração de metano, embora presentes em menores quantidades nos RSU, apresentam teor de DOC relevante.

Logo, pode-se dizer que 79,96% dos RSU da CTR Metropolitana possuem potencial para gerar metano. Principalmente a matéria orgânica, devido sua representatividade na composição dos resíduos e o papel, resíduos sanitários e têxteis, devido ao DOC. A média ponderada da composição gravimétrica dos RSU da CTR Metropolitana está apresentada na Tabela 32.

Tabela 32 - Composição gravimétrica média dos RSU da CTR Metropolitana.

Papel (%)	Jardim (%)	Matéria orgânica (%)	Têxteis (%)	Madeira (%)	Resíduos sanitários (%)	Inertes (%)	Outros (%)
4,81	0,52	67,53	2,92	0,95	3,22	16,35	3,70

Fonte: Adaptado de PIGIRS, 2017 e Silva *et al.* (2020).

5.5.3. CTR Agreste

Observa-se que a matéria orgânica é a fração mais significativa desses resíduos, com percentual de 48,27 %, valor acima da média nacional (45,3 %).

Os resíduos inertes como metal, vidro e plástico também tiveram uma participação representativa na composição dos RSU dessa região, com 26,24%.

Em relação ao papel, sua presença nos RSU da CTR Metropolitana foi de 8,55%, abaixo da média nacional (10,4 %). Os resíduos sanitários como fraudas, papel higiênico e absorventes, representaram cerca de 10,76 % da composição dos RSU dessa região. Os resíduos têxteis representaram 2,92 %, seguido dos resíduos de jardim com 2,45 %. Os resíduos de madeira obtive valor inferiores a 0,5%. No entanto, esses componentes também possuem potencial de geração de metano, embora presentes em menores quantidades nos RSU, apresentam teor de DOC relevante.

Logo, pode-se dizer que 72,97% dos RSU da CTR Agreste possuem potencial para gerar metano. Principalmente a matéria orgânica, devido sua representatividade na composição dos resíduos e o papel, resíduos sanitários, têxteis e jardins devido ao DOC.

A Tabela 33 apresenta caracterização gravimétrica dos municípios que destinam seus resíduos sólidos urbanos para a CTR Agreste.

Tabela 33 - Composição gravimétrica média dos RSU da CTR Agreste.

Papel (%)	Jardim (%)	Matéria orgânica (%)	Têxteis (%)	Madeira (%)	Resíduos sanitários (%)	Inertes (%)	Outros (%)
8,55	2,45	48,27	2,71	0,23	10,76	26,24	0,79

Fonte: Adaptado de Santana, 2020.

5.5.4. Aterro do CIGRES

Observa-se que a matéria orgânica é a fração mais significativa desses resíduos, com percentual de 59,59 %, valor acima da média nacional (45,3 %).

Os resíduos inertes como metal, vidro e plástico também tiveram uma participação representativa na composição dos RSU dessa região, com 17,58 %.

Em relação ao papel, sua presença nos RSU da CTR Metropolitana foi de 8,47%, abaixo da média nacional (10,4 %). Os resíduos sanitários como fraudas, papel higiênico e absorventes, representaram cerca de 3,76 % da composição dos RSU dessa região. Os resíduos têxteis, resíduos de jardim e madeira apresentaram valores inferiores 1%. No entanto, esses componentes também possuem potencial de geração de metano, embora presentes em menores quantidades nos RSU, apresentam teor de DOC relevante.

Logo, pode-se dizer que 73,62% dos RSU do aterro do CIGRES possuem potencial para gerar metano. Principalmente a matéria orgânica, devido sua representatividade na composição dos resíduos e o papel e resíduos sanitários devido ao DOC.

A média ponderada da composição gravimétrica dos RSU do aterro do CIGRES está apresentada na Tabela 34.

Tabela 34 - Composição gravimétrica média dos RSU do aterro do CIGRES.

Papel (%)	Jardim (%)	Matéria orgânica (%)	Tecido (%)	Madeira (%)	Resíduos sanitários (%)	Inertes (%)	Outros (%)
8,47	0,86	59,59	0,95	0,01	3,76	17,58	8,01

Fonte: Adaptado de PIGIRS, 2017 e Santana, 2020.

5.5.5. Considerações gerais sobre a composição dos RSU

A caracterização gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos gerados e depositados nos aterros sanitários classe IIA do Estado de Alagoas está apresentada no Gráfico 13 e 14. Observa-se que a matéria orgânica representa a maior fração na composição dos RSU do Estado, cerca de 62,84 % em média, superando a média nacional de 45,3 %. O aterro sanitário da CTR Metropolitana obteve o maior percentual de matéria orgânica (67,53%), seguido da CTR Maceió (67,45%), aterro do CIGRES (59,59%) e CTR Agreste (48,27 %), todos acima da média nacional.

O resultado obtido evidencia também que o estado Alagoano possui um potencial considerável de resíduos sólidos domiciliares passíveis de reaproveitamento e reciclagem, tais como vidro, metal e plásticos (inertes), em média 16,51 % do total de RSU.

Em relação ao papel, nota-se que foi o terceiro componente com maior representatividade na composição dos RSU de Alagoas, em média 7,6 %, seguido dos resíduos sanitários com 5,68 % em média.

Tais resultam apontam para um potencial relevante de geração de metano a partir desses aterros sanitários, tendo em vista a significativa fração de matéria orgânica dos resíduos. Além disso, com exceção dos resíduos inertes (vidro, plástico e metal), os demais componentes com nos RSU, seja de fácil ou difícil degradação, também possuem potencial de geração de metano. Embora presentes em menores quantidades nos RSU que a matéria orgânica, tais componentes apresentam teor de DOC relevante, conforme apresentado na Tabela 36.

Pode-se dizer que o teor de DOC dos RSU representa o peso desses componentes para a contribuição de geração total do metano. Assim, nota-se que a matéria orgânica, embora seja um resíduo de rápida degradação e presente em maior quantidade nos RSU, apresenta DOC de 0,2 ou 20%, menor peso dentre os componentes. Enquanto que o papel, a madeira e o tecido, apresentam o dobro do peso.

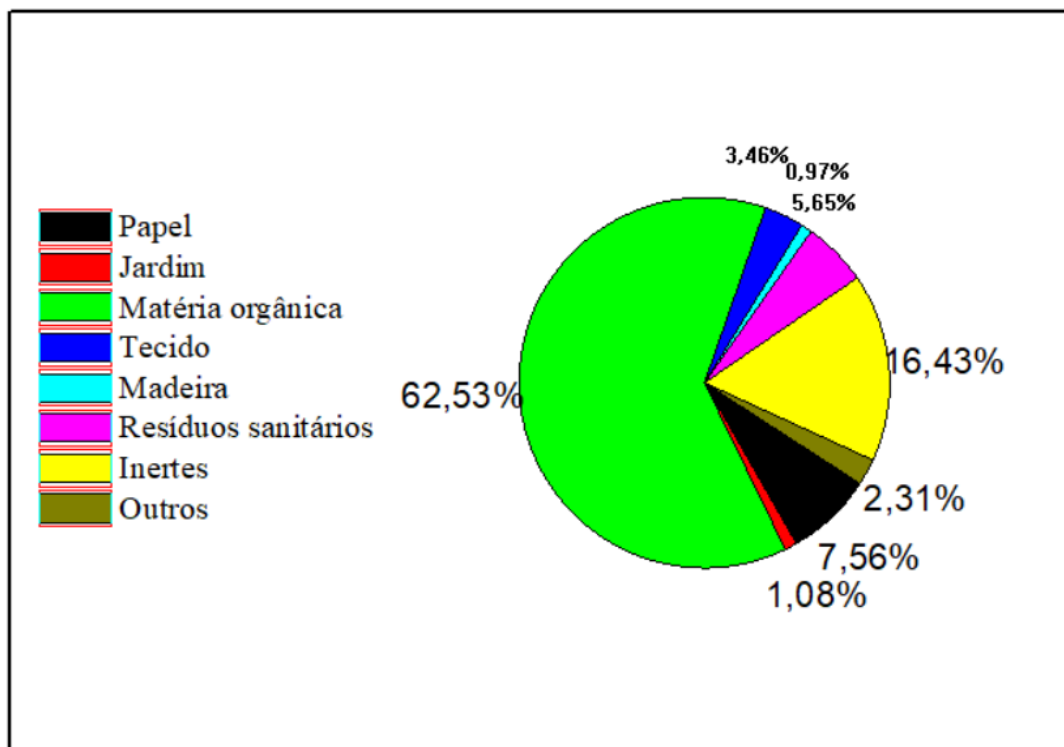
Tabela 35 - Relação entre a composição gravimétrica e o teor de DOC dos RSU.

Componente do RSU	Teor de DOC	Composição Gravimétrica (%)			
		CTR Maceió	CTR Metropolitana	CTR Agreste	Aterro CIGRES
Papel	0,45	8,75	4,81	8,55	8,47

Jardim	0,32	0,83	0,52	2,45	0,86
M.O.	0,2	67,45	67,53	48,27	59,59
Tecido	0,4	4,63	2,92	2,71	0,95
Madeira	0,46	1,51	0,95	0,23	0,01
R. sanitários	0,32	5,10	3,22	10,76	3,76
Total	-	88,27	79,96	72,97	73,62

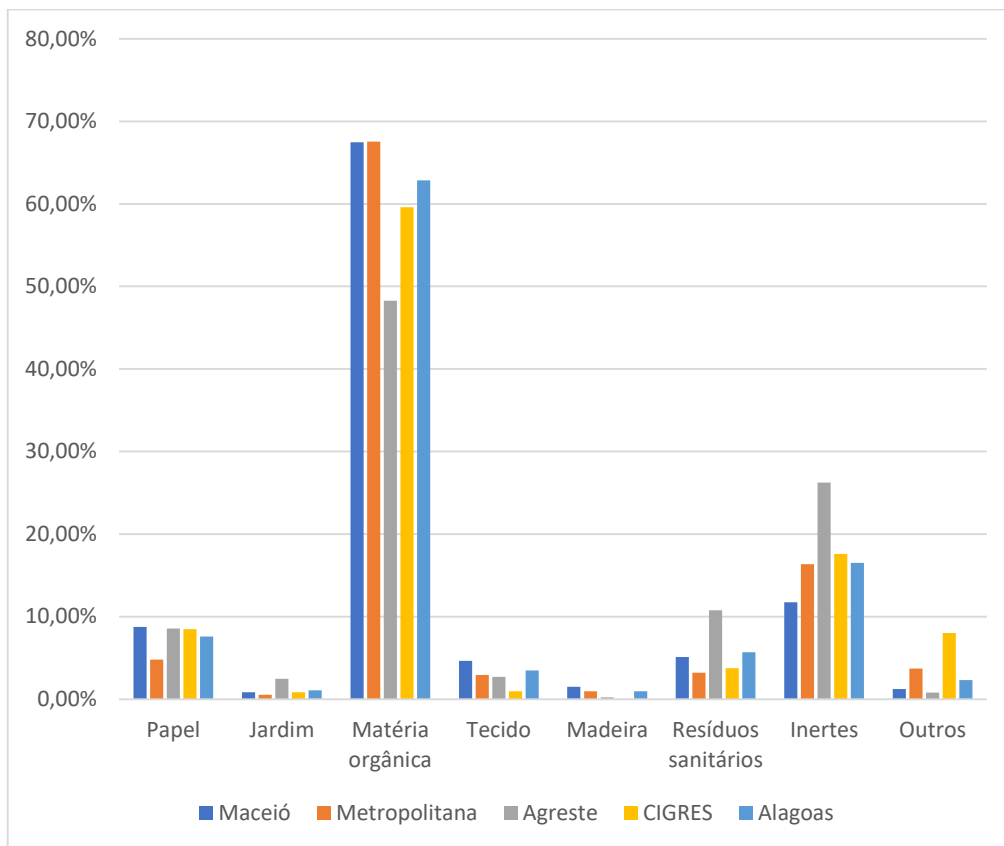
Fonte: Adaptado de IPCC, 2006, PIGIRS, 2017, Silva *et al.*,2020 e Santana, 2020.

Gráfico 13 – Composição gravimétrica dos RSU de Alagoas.



Fonte: Adaptado de PIGIRS, 2017, Silva *et al.*,2020 e Santana, 2020.

Gráfico 14 – Comparação entre a composição gravimétrica dos RSU dos aterros sanitários de Alagoas.



Fonte: Adaptado de PIGIRS, 2017, Silva *et al.*, 2020 e Santana, 2020.

5.6. Geração de Metano

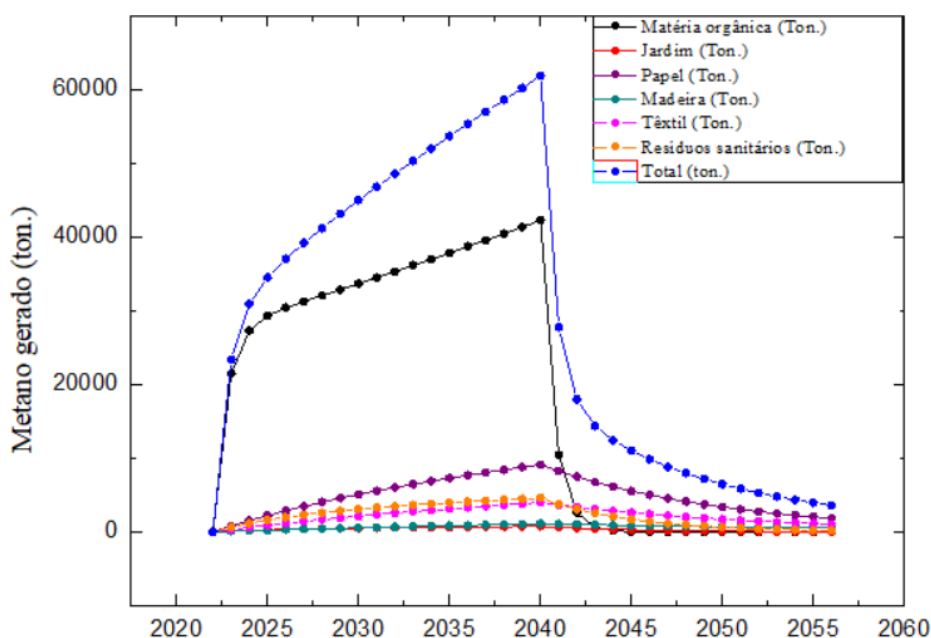
5.6.1. CTR Maceió

O Gráfico 15 apresenta a quantidade de CH₄ gerada a partir do DOC decomposto estimado pelo modelo IPCC (2006) para cada componente dos RSU e o valor total, bem como a vazão de CH₄.

Observa-se que a maior quantidade de metano estimado no período analisado foi de 61.818 ton.CH₄ e ocorreu no ano de 2040, 1 ano após a previsão de encerramento da CTR Maceió, devido ao atraso médio considerado pelo modelo do início do aterramento dos RSU até a geração substancial de CH₄.

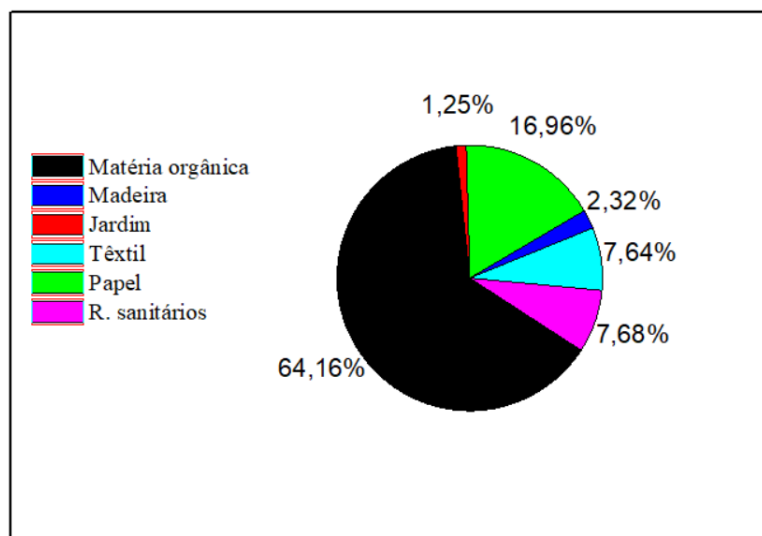
Em média, a geração metano no período analisado foi de 28.286 toneladas, com geração mínima de 23.351 toneladas. A contribuição percentual de cada componente dos RSU na geração de metano pode ser vista no Gráfico 15.

Gráfico 15 - Quantidade de metano gerado estimado pelo modelo IPCC (2006) na CTR Maceió entre os anos de 2022 e 2056.



Fonte: Autora, 2022.

Gráfico 16 - Contribuição média de cada componente dos RSU na geração total de metano na CTR Maceió entre os anos de 2022 e 2056.



Fonte: Autora, 2022.

Verifica-se que a matéria orgânica foi responsável pela maior geração de metano no período analisado, mais de 18 mil toneladas de metano, responsável em média, por 64 % do total gerado, atingindo até cerca de 91,8 % no início do período. O que já era esperado, visto que esse componente representa 67,45% da composição dos RSU e possui o teor de DOC em % de resíduos úmidos entre 8 e 20%.

O rápido crescimento da curva de geração de metano (Gráfico 15) e expressivo decaimento após o encerramento do aterramento dos RSU, é notório e justificado pela taxa de geração de metano (k) de 1,4, considerado um resíduo de rápida degradação (FIRMO, 2013; IPCC, 2006). Resultando também, no maior percentual de decréscimo de metano gerado após do ano de 2040 dentre todos os componentes dos RSU analisados, reflexo do maior valor do parâmetro k desse componente.

O papel foi o segundo maior gerador de metano com 4.797 ton. CH_4 em média no período analisado. Tal comportamento pode ser justificado tanto por ser o segundo maior componente presente na composição dos RSU (8,75 %) com potencial de gerar metano, como pelo teor de DOC em % de resíduos úmidos 40 %, embora possua uma taxa de geração de metano de 0,1, considerado um resíduo de lenta degradação (FIRMO, 2013; IPCC, 2006).

Nota-se que os resíduos sanitários e os têxteis também tiveram uma contribuição significativa na geração total de metano, em média 2.171 e 2.161 ton. CH_4 ,

respectivamente, no período analisado. A superioridade de geração dos resíduos sanitários em comparação com os têxteis, embora pequena, pode ser justificada pela maior presença desse tipo de resíduo na composição dos RSU, tendo em vista também, que os têxteis possuem o teor de DOC em % de resíduos úmidos superior. Verifica-se também, que a constante de decaimento k , superior para os resíduos sanitários, pode explicar o comportamento da curva de geração de metano, superada ligeiramente pelos têxteis no final do período analisado.

Verifica-se também que mesmo após o encerramento do aterramento dos resíduos, a CTR Maceió tem potencial de gerar 213.371 ton.CH₄ entre os anos de 2040 e 2056, totalizando 990.004 ton. CH₄ entre os anos de 2022 e 2056.

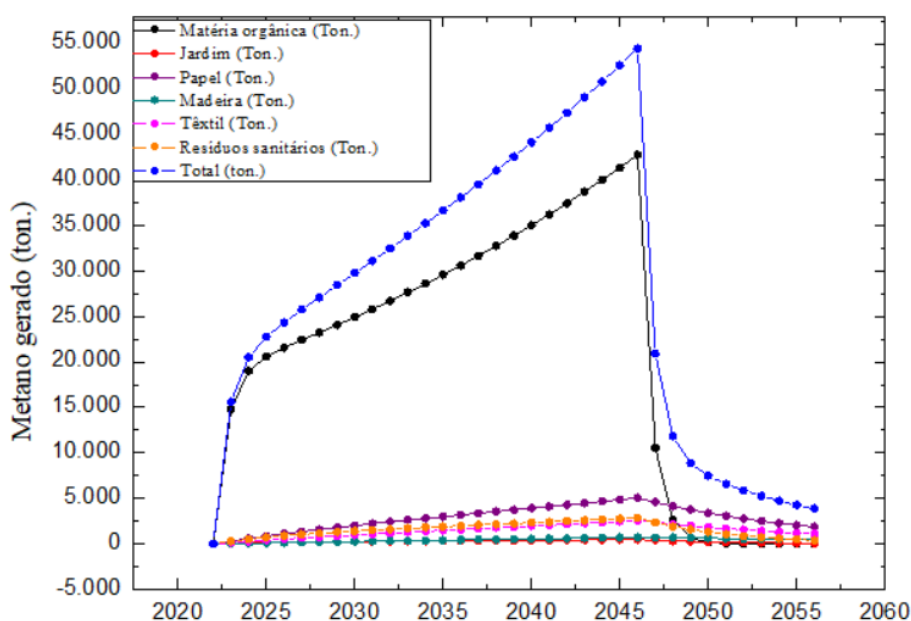
5.6.2. CTR Metropolitana

A quantidade de CH₄ gerada a partir do DOC decomposto estimado pelo modelo IPCC (2006) para cada componente dos RSU e o valor total, bem como a vazão de CH₄ estão apresentados no Gráfico 17.

Observa-se que a maior quantidade de metano estimado no período analisado foi de 54.475 ton.CH₄ e ocorreu no ano de 2046, 1 ano após a previsão de encerramento da CTR Metropolitana, devido ao atraso médio considerado pelo modelo do início do aterramento dos RSU até a geração substancial de CH₄.

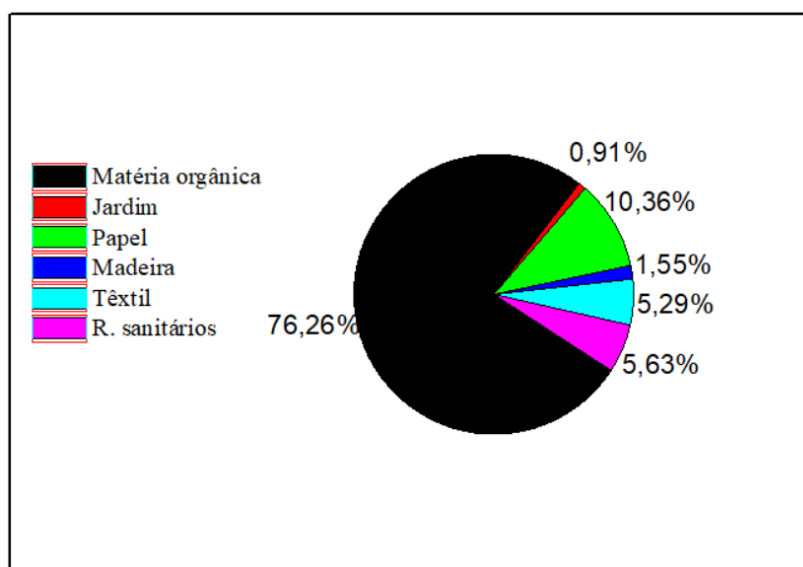
Em média, a geração metano no período analisado é de 27.115 toneladas, com geração mínima de 15.595 toneladas. A contribuição percentual de cada componente dos RSU na geração de metano pode ser vista no Gráfico 18.

Gráfico 17 - Quantidade de metano gerado estimado pelo modelo IPCC (2006) na CTR Metropolitana entre os anos de 2022 e 2056.



Fonte: Autora, 2022.

Gráfico 18 – Contribuição média de cada componente dos RSU na geração total de metano na CTR Metropolitana entre os anos de 2022 e 2056.



Fonte: Autora, 2022.

Verifica-se que a matéria orgânica foi responsável pela maior geração de metano no período analisado, responsável em média, por 76 % do total gerado (Gráfico 18) ou mais de 20,7 mil ton.CH₄, atingindo até cerca de 95 % no início do período. O que já era esperado, visto que esse componente representa 67,53% da composição dos RSU,

possui o teor de DOC em % de resíduos úmidos entre 8 e 20 %, é considerado um resíduo de rápida degradação com taxa de geração de metano de 1,4 (FIRMO, 2013).

O papel foi o segundo maior gerador de metano com 2,8 mil ton. CH₄ em média no período analisado. Tal comportamento pode ser justificado tanto por ser o segundo maior componente presente na composição dos RSU (4,81 %) com potencial de gerar metano, como pelo teor de DOC em % de resíduos úmidos 40 %, embora possua uma taxa de geração de metano de 0,1, considerado um resíduo de lenta degradação (FIRMO, 2013; IPCC, 2006).

Nota-se que os resíduos sanitários e os têxteis somados representam cerca de 10 % na geração total de metano, em média mais de 1,5 e 1,4 mil ton.CH₄, respectivamente, no período analisado. Os resíduos de madeira e jardim, representou em média menos de 5 % da geração total de metano.

Observa-se também, que a quantidade de metano gerado estimado pelo modelo IPCC (2006) pela fração de matéria orgânica presente nos RSU resultou no maior percentual de decréscimo de metano gerado após do ano de 2045 dentre todos os componentes dos RSU analisados, reflexo do maior valor do parâmetro k desse componente.

Verifica-se também que mesmo após o encerramento do aterramento dos resíduos, a CTR Metropolitana tem potencial de gerar 134.116 ton.CH₄ entre os anos de 2046 e 2056, totalizando 949.040 ton. CH₄ entre os anos de 2022 e 2056.

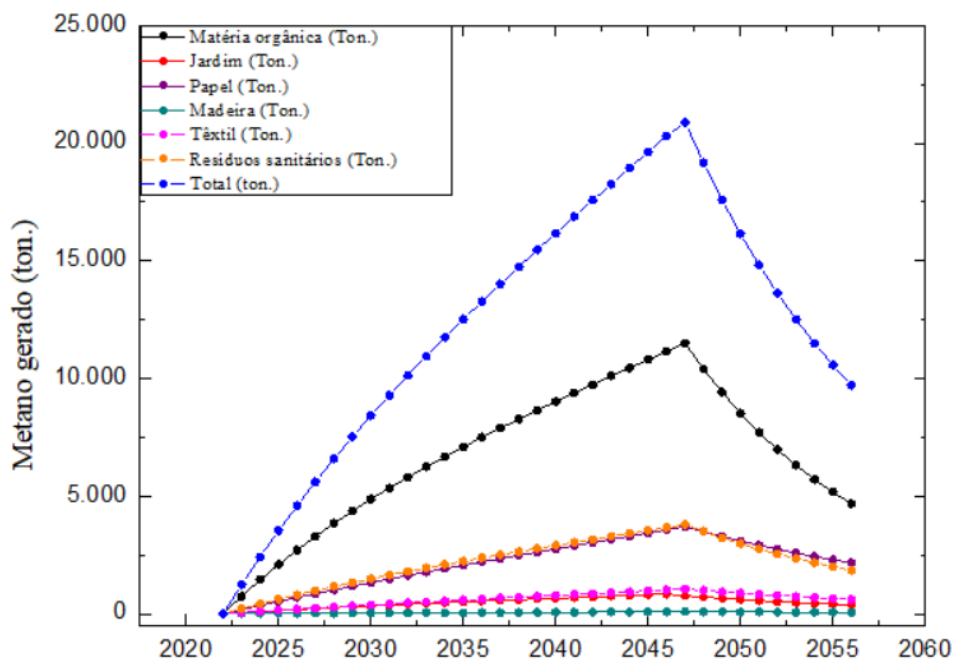
5.6.3. CTR Agreste

O Gráfico 20 apresentam a quantidade de CH₄ gerada a partir do DOC decomposto estimado pelo modelo IPCC (2006) para cada componente dos RSU e o valor total, bem como a vazão diária de CH₄.

Observa-se que a maior quantidade de metano estimado no período analisado foi de 20.886 ton.CH₄ e ocorreu no ano de 2047, 1 ano após a previsão de encerramento da CTR Agreste, devido ao atraso médio considerado pelo modelo do início do aterramento dos RSU até a geração substancial de CH₄.

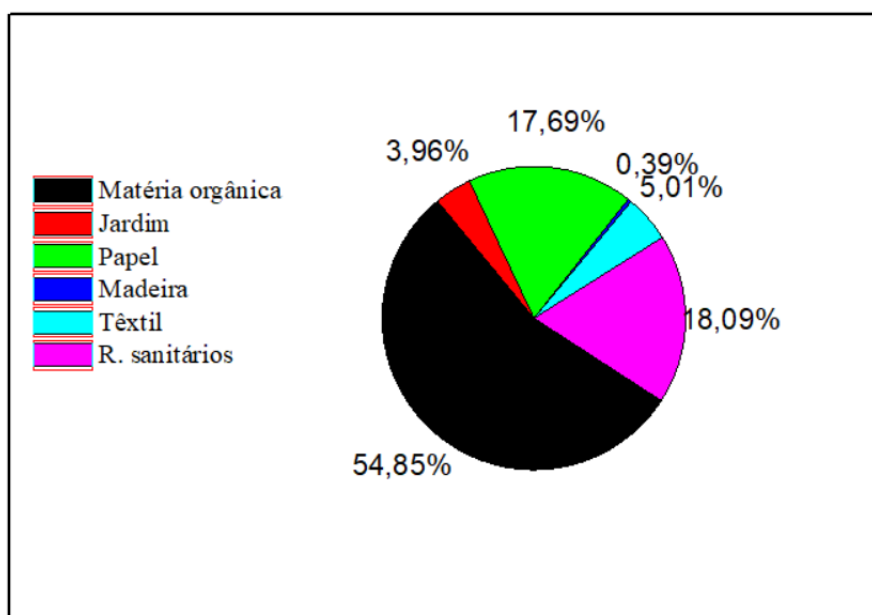
Em média, a geração metano no período analisado é 12.179 toneladas, com geração mínima de 1.239 toneladas no início do período. A contribuição percentual de cada componente dos RSU na geração de metano pode ser vista no Gráfico 20.

Gráfico 19 - Quantidade de metano gerado estimado pelo modelo IPCC (2006) na CTR Agreste entre os anos de 2022 e 2056.



Fonte: Autora, 2022.

Gráfico 20 - Contribuição média de cada componente dos RSU na geração total de metano na CTR Agreste entre os anos de 2022 e 2056.



Fonte: Autora, 2022.

Verifica-se que a matéria orgânica foi responsável pela maior geração de metano no período analisado, responsável em média, por 55 % do total gerado (Gráfico 20) ou 6,6 mil ton.CH₄, atingindo até cerca de 60 % no início do período. O que já era esperado, visto que esse componente representa 48,27% da composição dos RSU.

Nota-se também, que depois da matéria orgânica, o papel e os resíduos sanitários foram os componentes que mais geraram metano (36%), embora sem diferir muito quantitativamente um do outro. Em média, a geração de metano a partir dos componentes de papel e dos resíduos sanitários foi de 2,2 mil ton.CH₄, cada.

Observa-se também, que a quantidade de metano gerado estimado pelo modelo IPCC (2006) pela fração de matéria orgânica presente nos RSU resultou no maior decaimento de metano gerado após do ano de 2046 dentre todos os componentes dos RSU analisados, reflexo do maior valor do parâmetro k desse componente.

Verifica-se também que mesmo após o encerramento do aterramento dos resíduos, a CTR Agreste tem potencial de gerar 146.492 ton.CH₄ entre os anos de 2047 e 2056, totalizando 426.262 ton. CH₄ entre os anos de 2022 e 2056.

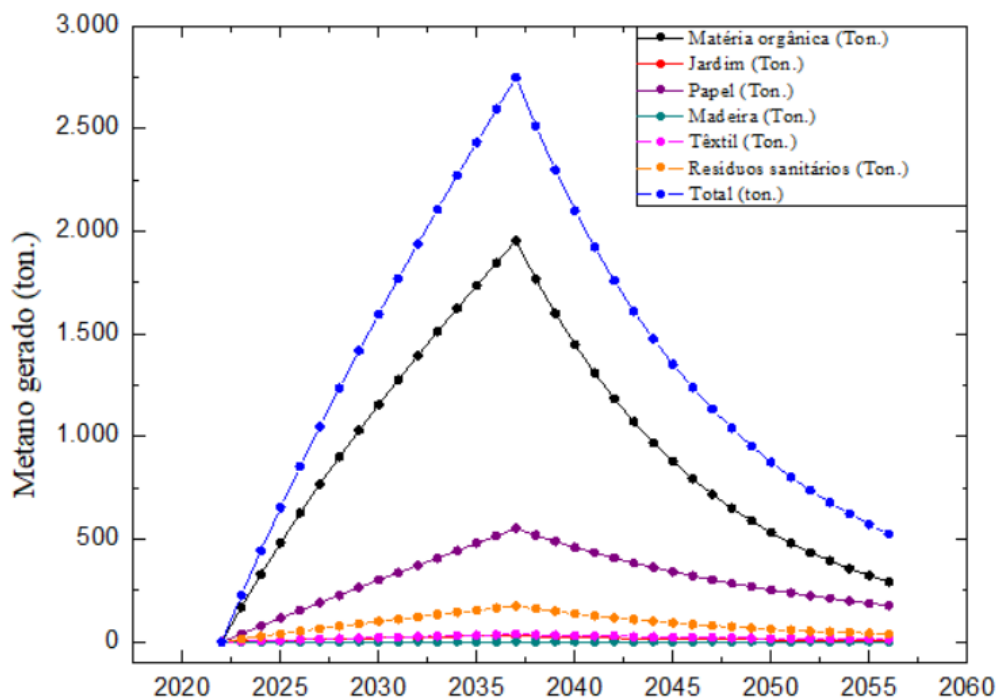
5.6.4. Aterro do CIGRES

O Gráfico 22 apresenta a quantidade de CH₄ gerada a partir do DOC decomposto estimado pelo modelo IPCC (2006) para cada componente dos RSU e o valor total, bem como a vazão diária de CH₄.

Observa-se que a maior quantidade de metano estimado no período analisado foi de 3.572 ton.CH₄ e ocorreu no ano de 2037, 1 ano após a previsão de encerramento do aterro CIGRES, devido ao atraso médio considerado pelo modelo do início do aterramento dos RSU até a geração substancial de CH₄.

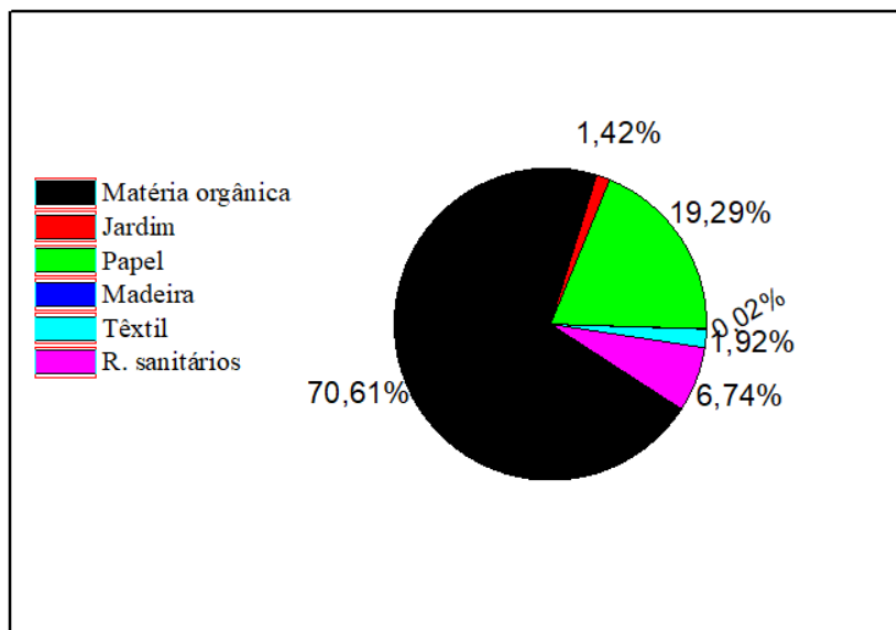
Em média, a geração metano no período analisado é 1.760 toneladas, com geração mínima de 297 toneladas no início do período. A contribuição percentual de cada componente dos RSU na geração de metano pode ser vista no Gráfico 22.

Gráfico 21 - Quantidade de metano gerado estimado pelo modelo IPCC (2006) no aterro do CIGRES - 2022 e 2056.



Fonte: Autora, 2022.

Gráfico 22 - Contribuição média dos componentes dos RSU na geração de metano no aterro do CIGRES - 2022 e 2056.



Fonte: Autora, 2022.

Verifica-se que a matéria orgânica foi responsável pela maior geração de metano no período analisado, responsável em média, por 71 % do total gerado (Gráfico 22) ou 12 mil ton.CH₄, atingindo até cerca de 76 % no início do período. O que já era esperado, visto que esse componente representa 59,59% da composição dos RSU.

O papel foi o segundo maior gerador de metano, cerca de 19%, com 340 ton. CH₄ em média no período analisado. Tal comportamento pode ser justificado tanto por ser o segundo maior componente presente na composição dos RSU (8,47 %) com potencial de gerar metano, como pelo seu teor de DOC.

Nota-se que os resíduos sanitários representam cerca de 7 % na geração total de metano. Os resíduos de madeira, têxteis e jardim, representou em média menos de 5 % da geração total de metano.

Observa-se também, que a quantidade de metano gerado estimado pelo modelo IPCC (2006) pela fração de matéria orgânica presente nos RSU resultou no maior decaimento de metano gerado após do ano de 2046 dentre todos os componentes dos RSU analisados, reflexo do maior valor do parâmetro k desse componente.

Verifica-se também que mesmo após o encerramento do aterramento dos resíduos, o aterro do CIGRES tem potencial de gerar 34.809 ton.CH₄ entre os anos de 2037 e 2056, totalizando 61.614 ton. CH₄ entre os anos de 2022 e 2056.

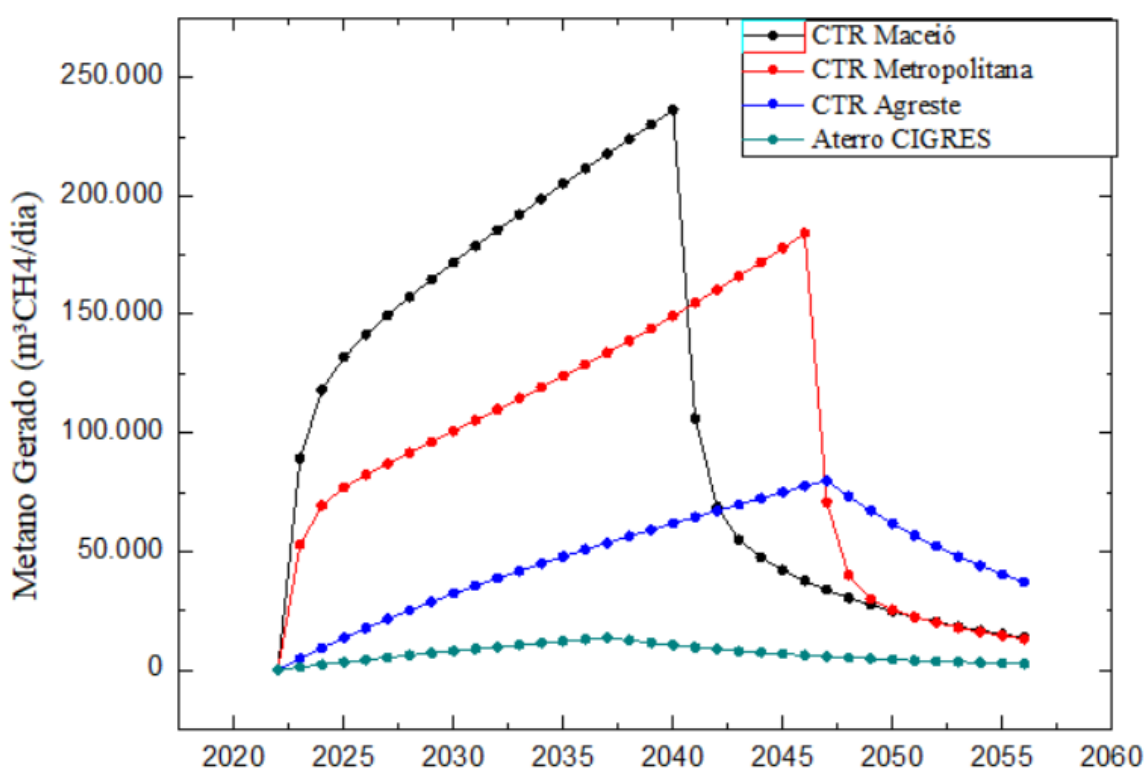
5.6.5. Considerações gerais sobre a geração de metano

O Gráfico 24 apresenta o comparativo da estimativa da quantidade de metano gerado a partir dos aterros sanitários do Estado de Alagoas de 2022 até o final da vida útil de cada aterro. Fica notório que até o ano de 2040, a CTR Maceió é capaz de gerar mais metano em relação aos demais aterros sanitários de Alagoas, superada pela CTR Metropolitana de 2041 até 2046, até que a geração de metano de ambas praticamente se iguala a partir de 2047. A partir de 2048, a CTR Agreste apresenta a maior capacidade de gerar metano em relação as demais. A curva de geração de metano do CIGRES não foi capaz de igualar as demais, mesmo após o período de encerramento dos demais aterros.

Em média, a partir do primeiro ano de geração, até o primeiro ano após o final da vida útil, os aterros sanitários podem gerar 177.989 m³CH₄/dia, 122.495 m³CH₄/dia, 45.953 m³CH₄/dia e 7.738 m³CH₄/dia, nas CTR Maceió, CTR Metropolitana, CTR Agreste e aterro CIGRES, respectivamente. No entanto, a partir do primeiro ano de

encerramento até o ano de 2056, em média, os aterros sanitários podem gerar 31.533 m³CH₄/dia, 26.931 m³CH₄/dia, 53.328 m³CH₄/dia e 6.282 m³CH₄/dia, nas CTR Maceió, CTR Metropolitana, CTR Agreste e aterro CIGRES, respectivamente. Logo, observa-se que, a média de geração de metano estimada para as CTRs Agreste e aterro CIGRES teve uma variação em torno de 20 % após o fim da vida útil, enquanto as CTR Maceió e CTR Metropolitana, tiveram um decréscimo médio de 82% e 78 %, respectivamente, resultado da elevada taxa de degradação (k).

Gráfico 23 - Estimativa de metano gerado nos aterros sanitários de Alagoas.



Fonte: Autora, 2022.

Verifica-se que os aterros sanitários localizados na vertente do atlântico (CTR Maceió e CTR Metropolitana), logo, com características regionais semelhantes e os mesmos parâmetros de entrada no modelo de k, apresentaram o mesmo comportamento em suas curvas de geração de metano. De forma análoga, o mesmo comportamento pode ser notado em relação aos aterros sanitários localizados na vertente do rio São Francisco (CTR Agreste e aterro do CIGRES).

A constante de degradação (k) do RSU afeta a quantidade de metano gerada ao longo dos anos, logo, quanto maior o k, mais metano pode ser gerado no início do período,

visto que o RSU será degradado mais rapidamente. Por outro lado, uma quantidade menor de RSU será acumulado a cada ano, o que justifica o declínio abrupto da geração de metano após o encerramento dos aterros sanitários da vertente do atlântico (CTR Maceió e CTR Metropolitana).

A Tabela 36 apresenta o potencial de geração de metano de cada aterro sanitário, calculado para fins comparativos com os valores encontrados na literatura, mas vale ressaltar que o modelo IPCC (2006) não calcula o potencial de forma explícita. Verifica-se que cada aterro sanitário apresenta um potencial de geração de metano distinto, 156,59 m³CH₄/ton.RSU aterrado em Maceió, 132,25 m³CH₄/ton.RSU aterrado no Metropolitan, 135,29 m³CH₄/ton.RSU aterrado no Agreste e 125,95 m³CH₄/ton.RSU aterrado no CIGRES. No entanto, maior para o aterro sanitário com maior fração de RSU, com exceção da CTR Agreste, que embora com menor percentual de RSU com potencial de geração de metano e menor fração de matéria orgânica (cerca de 30%), apresentou maior potencial de geração de metano em relação aos aterros Metropolitan e CIGRES. Logo, nota-se que o teor de DOC tem peso importante no cálculo do potencial, tendo em vista que a fração do componente resíduos sanitários, com DOC de 0,32, foi cerca de 70% superior no aterro do agreste, o que pode justificar essa superioridade.

Tais resultados estimados através de modelagem matemática, corroboram com estudos experimentais do potencial de geração de metano a partir da degradação de RSU em aterros sanitários encontrados na literatura, como Firmo (2013) com 111,48 m³/ton. resíduo novo, Maciel (2009) com 123,9 m³/ton. RSU aterrados, Erses *et al.* (2008) com 158 m³/ton. RSU (massa seca), Vigneron *et al.* (2005) com 126 a 178 m³/ton. RSU (massa seca), El-Fadel *et al.*, (1996) com 60 a 170 m³/ton. RSU (massa seca), Barlaz *et al.* (1989) com 77 a 152 m³/ton. RSU (massa seca).

Tabela 36 – Potencial de geração de metano nos aterros sanitários de Alagoas.

	CTR Maceió		CTR Metropolitana		CTR Agreste		Aterro CIGRES	
	Lo (m ³ CH ₄ /ton.RS U aterrados)	C.G. (%)	Lo (m ³ CH ₄ /ton.RS U aterrados)	C.G. (%)	Lo (m ³ CH ₄ /ton.RS U aterrados)	C.G. (%)	Lo (m ³ CH ₄ /ton .RSU ater- rados)	C.G. (%)
RSU ¹	156,59	88,27	132,25	79,95	135,29	72,97	125,95	73,64

RSU¹: Com exceção do percentual de resíduos inertes e outros.

Fonte: Autora, 2022.

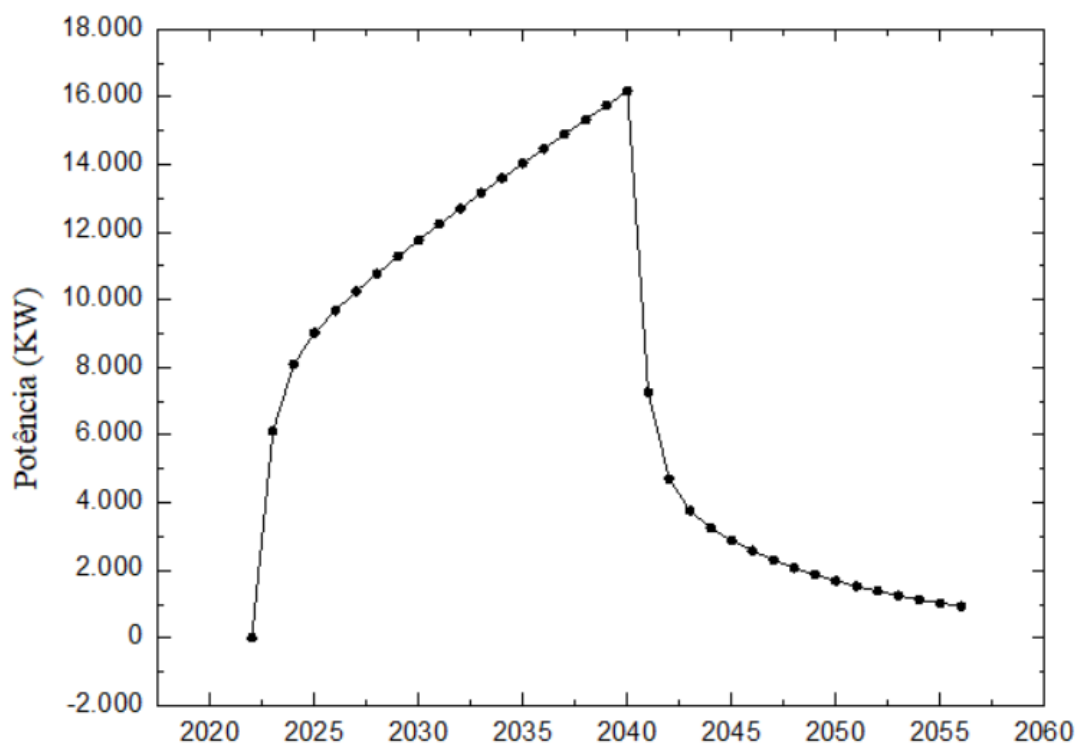
5.7. Potencial de geração de energia elétrica

5.7.1. CTR Maceió

Em média a potência disponível estimada a partir da vazão de metano da CTR Maceió é cerca de 7.4 mil KW, com máxima de 16 mil KW no ano de 2040 e mínima de 6 mil KW em 2023 no período analisado. A energia disponível por sua vez, obteve uma média de 51.911 MWh/mês, atingindo o pico em 2039, com 9.454 MWh/mês, conforme pode ser visualizado na Tabela 47, Gráfico 24 e Gráfico 25.

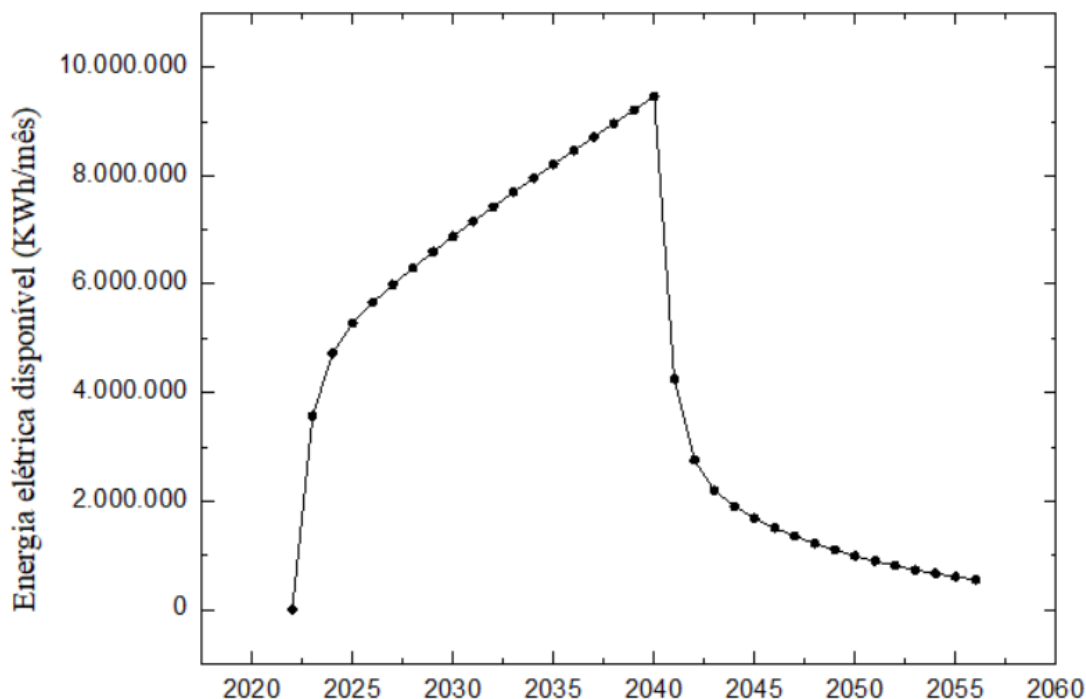
É notório que a tendência da curva de geração de metano estimada anteriormente pelo modelo IPCC (2006) é refletida nas curvas de potência e de energia elétrica disponíveis. Crescente ao longo dos anos e atingindo o pico em 2040, um ano após o encerramento previsto para a CTR Maceió, seguindo então decrescente até o fim do período analisado, ano de 2056.

Gráfico 24 – Potência disponível na CTR Maceió entre os anos de 2022 e 2056.



Fonte: Autora, 2022.

Gráfico 25 - Energia disponível na CTR Maceió entre os anos de 2022 e 2056.



Fonte: Autora, 2022.

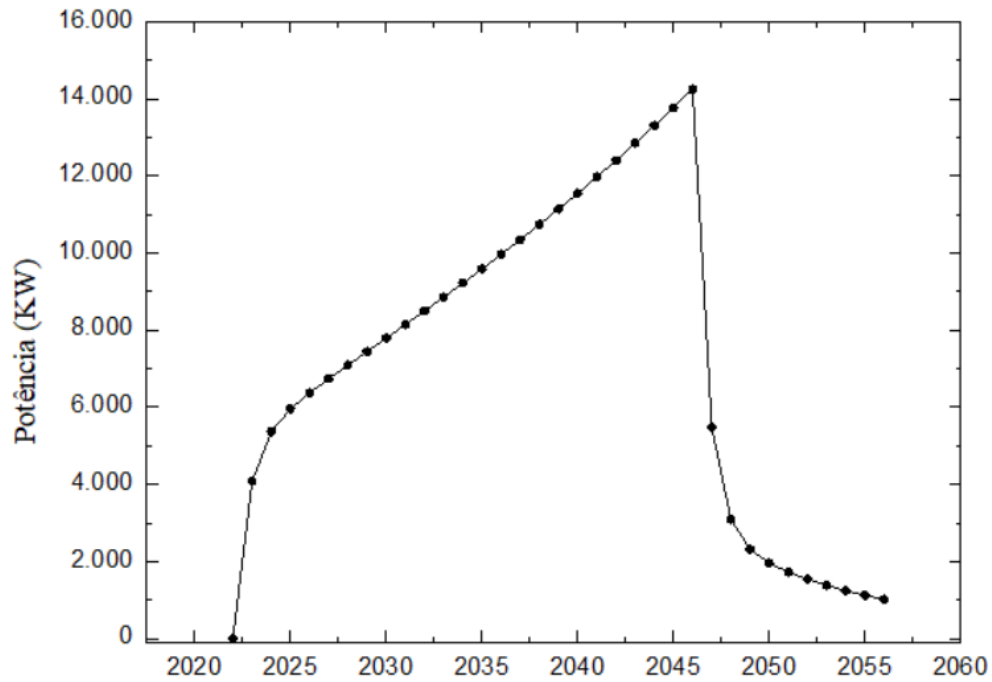
Segundo o Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2021 ano base 2020, elaborado pelo EPE, o consumo médio residencial para o Estado de Alagoas é de 128,8 kWh/mês e *percapita* de 1.176 KWh/hab. (EPE, 2021). Desta forma, em termos comparativos, a energia elétrica disponível pela CTR Maceió, proveniente do metano gerado através dos RSU, mostrou ter capacidade para atender em média 33.586 residências durante o período analisado de 2022 a 2056.

Em termos de equivalente populacional, tem potencial para atender mais de 36 mil habitantes ou cerca de 3% da população de Maceió em 2023 e mais de 96 mil habitantes ou cerca de 7 % do município até 2040.

5.7.2. CTR Metropolitana

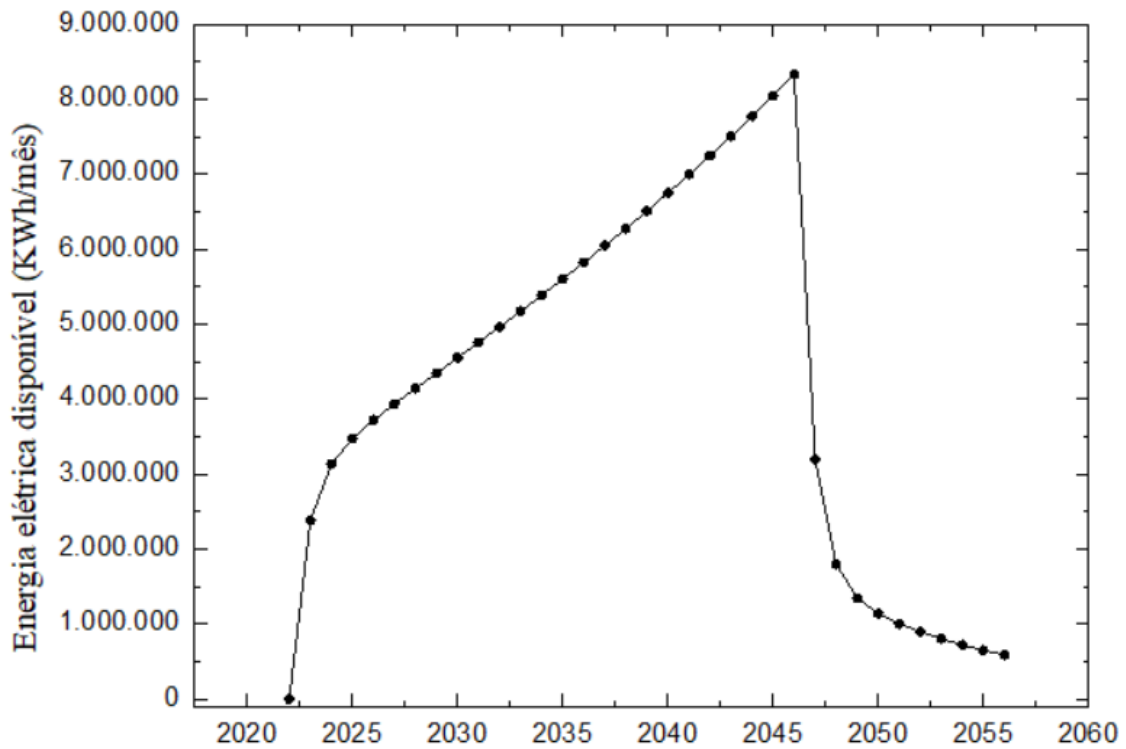
Em média a potência disponível estimada a partir da vazão de metano da CTR Metropolitana é cerca de 7 mil KW, com máxima de 14 mil KW no ano de 2046 e mínima de 4 mil KW em 2023 no período analisado. A energia disponível por sua vez, obteve uma média de 4.146 MWh/mês, atingindo o pico em 2046, com 8.331 MWh/mês, conforme pode ser visualizado nos Gráfico 26 e Gráfico 27.

Gráfico 26 - Potência disponível na CTR Metropolitana entre os anos de 2022 e 2056.



Fonte: Autora, 2022.

Gráfico 27 - Energia disponível na CTR Metropolitana entre os anos de 2022 e 2045.



Fonte: Autora, 2022.

É notório que a tendência da curva de geração de metano estimada anteriormente pelo modelo IPCC (2006) é refletida nas curvas de potência e de energia elétrica disponíveis. Crescente ao longo dos anos e atingindo o pico em 2046, um ano após o encerramento previsto para a CTR Metropolitana, seguindo então decrescente até o fim do período analisado, ano de 2056.

Segundo o Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2021 ano base 2020, elaborado pelo EPE, o consumo médio residencial para o Estado de Alagoas é de 128,8 kWh/mês e *percapita* de 1.176 kWh/hab. (EPE, 2021). Desta forma, em termos comparativos, a energia disponível pela CTR Metropolitana, proveniente do biogás gerado através dos RSU, mostrou ter capacidade para atender em média 32.196 residências durante o período analisado de 2022 a 2056.

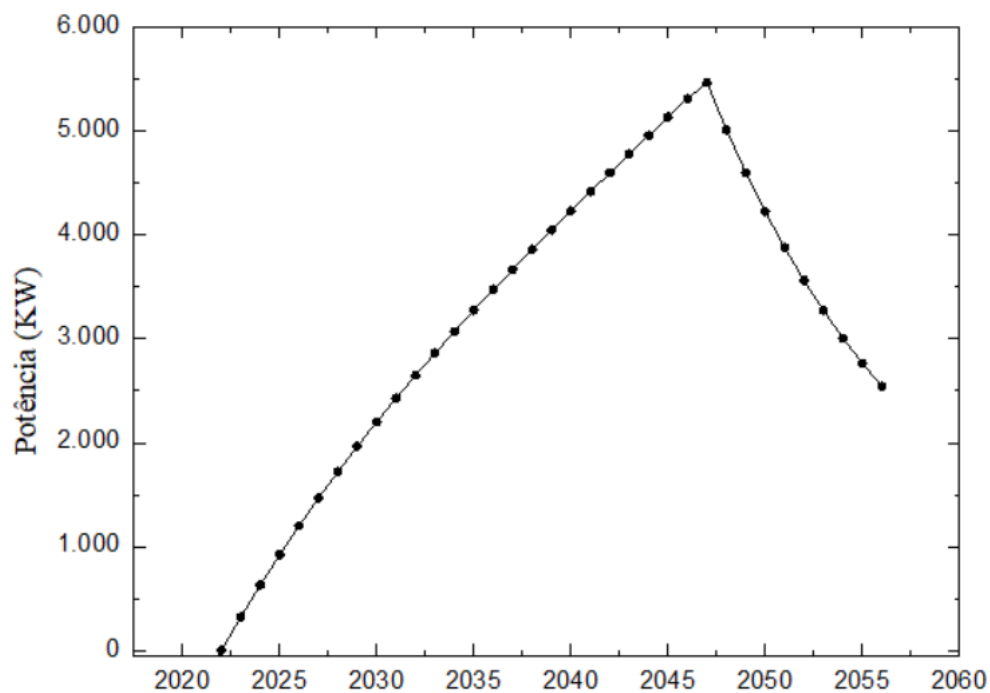
Em termos de equivalente populacional, tem potencial para atender mais de 24 mil habitantes ou cerca de 3% da população da CTR Metropolitana ou 68% da população de Pilar em 2023 e mais de 85 mil habitantes ou cerca de 7 % da população da CTR ou cerca de 181 % da população de Pilar até 2046.

5.7.3. CTR Agreste

Em média a potência disponível estimada a partir da vazão de metano da CTR Agreste é cerca de 3,2 mil KW, com máxima de 5,5 mil KW no ano de 2047 e mínima de 324 KW em 2023 no período analisado. A energia disponível por sua vez, obteve uma média de 1.862 MWh/mês, atingindo o pico em 2047, com 3.194 MWh/mês, conforme pode ser visualizado na Tabela 49, Gráfico 28 e Gráfico 29.

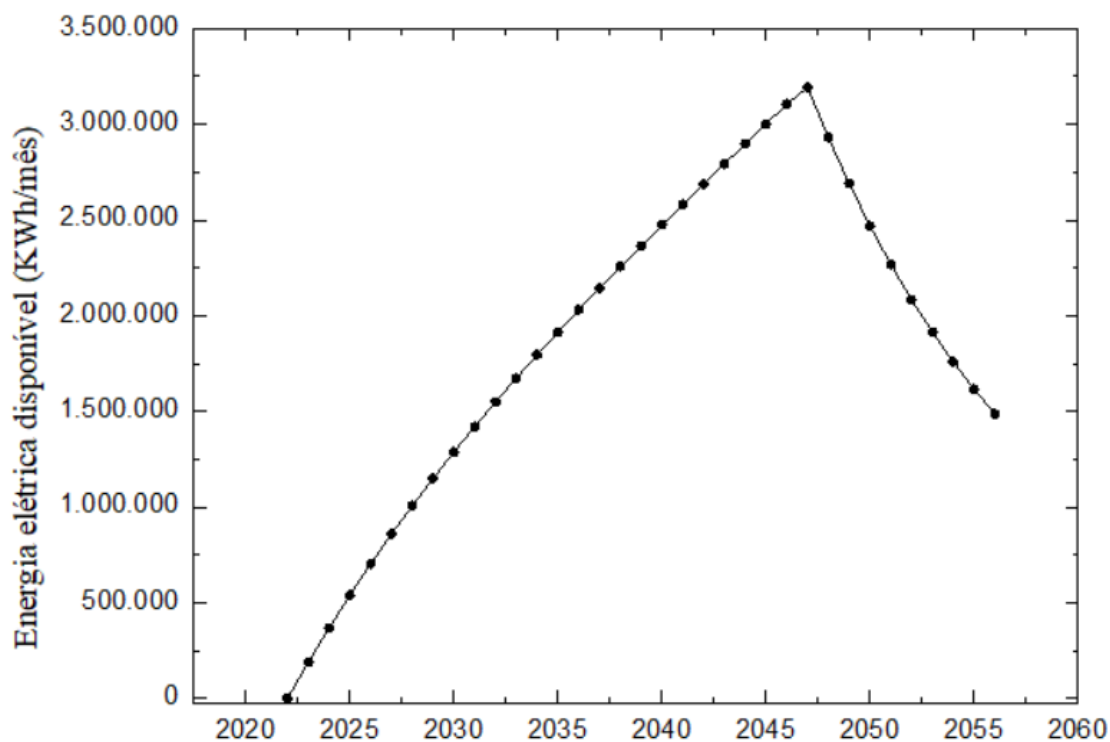
Observa-se que a tendência da curva de geração de metano estimada anteriormente pelo modelo IPCC (2006) é refletida nas curvas de potência e de energia elétrica disponíveis. Crescente ao longo dos anos e atingindo o pico em 2047, um ano após o encerramento previsto para a CTR Agreste, seguindo então decrescente até o fim do período analisado, ano de 2056.

Gráfico 28 - Potência disponível na CTR Agreste entre os anos de 2022 e 2056.



Fonte: Autora, 2022.

Gráfico 29 - Energia disponível na CTR Agreste entre os anos de 2022 e 2056.



Fonte: Autora, 2022.

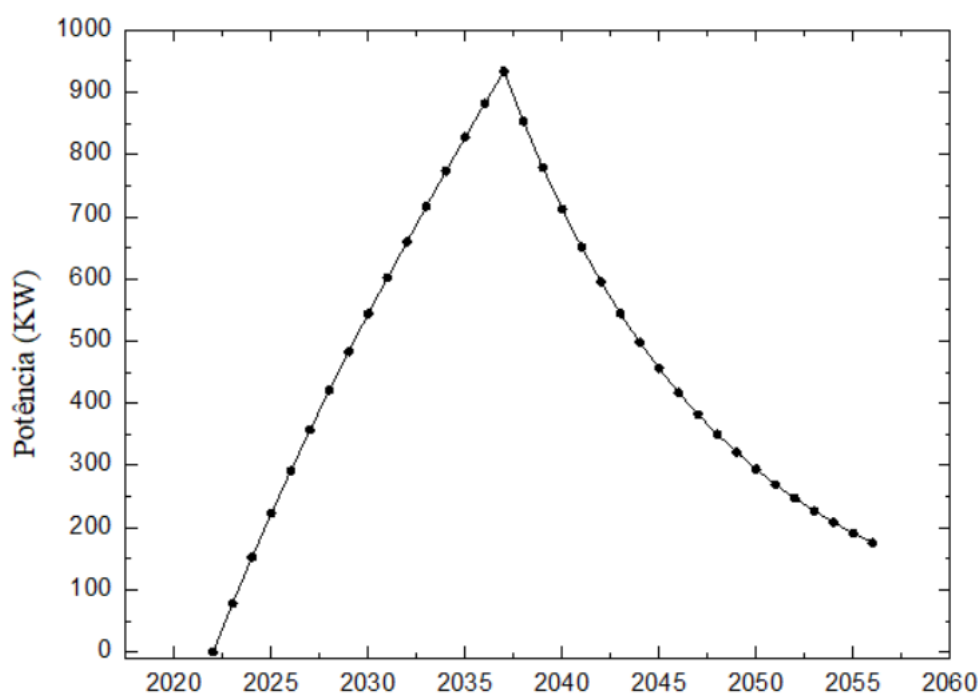
Segundo o Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2021 ano base 2020, elaborado pelo EPE, o consumo médio residencial para o Estado de Alagoas é de 128,8 kWh/mês e *percapita* de 1.176 KWh/hab. (EPE, 2021). Desta forma, em termos comparativos, a energia disponível pela CTR Agreste, proveniente do biogás gerado através dos RSU, mostrou ter capacidade para atender em média 14.461 residências durante o período analisado de 2022 a 2056.

Em termos de equivalente populacional, tem potencial para atender mais de 1,9 mil habitantes ou cerca de 0,36 % da população da CTR Agreste ou 22,6 % da população de Craíbas em 2023 e mais de 32,6 mil habitantes ou cerca de 3,4 % da população da CTR ou quase 3 vezes a população de Craíbas até 2047.

5.7.4. Aterro do CIGRES

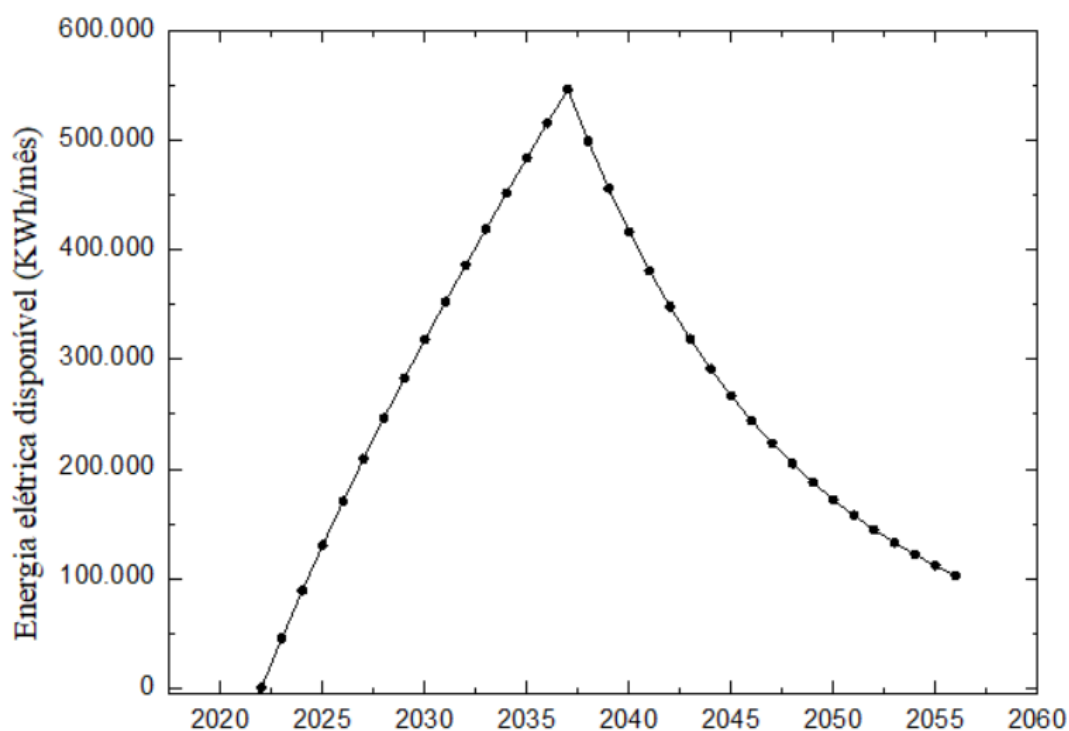
Em média a potência disponível estimada a partir da vazão de metano da aterro do CIGRES é de 460 KW, com máxima de 934 KW no ano de 2037 e mínima de 78 KW em 2023 no período analisado. A energia disponível por sua vez, obteve uma média de 269 MWh/mês, atingindo o pico em 2037, com 515,7 MWh/mês, conforme pode ser visualizado na Tabela 50, Gráfico 30 e Gráfico 31.

Gráfico 30 - Potência disponível no aterro do CIGRES entre os anos de 2022 e 2056.



Fonte: Autora, 2022.

Gráfico 31 - Energia disponível no aterro do CIGRES entre os anos de 2022 e 2056.



Fonte: Autora, 2022.

Observa-se que a tendência da curva de geração de metano estimada anteriormente pelo modelo IPCC (2006) é refletida nas curvas de potência e de energia elétrica disponíveis. Crescente ao longo dos anos e atingindo o pico em 2037, um ano após o encerramento previsto para o aterro do CIGRES, seguindo então decrescente até o fim do período analisado, ano de 2056.

Segundo o Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2021 ano base 2020, elaborado pelo EPE, o consumo médio residencial para o Estado de Alagoas é de 128,8 kWh/mês e *percapita* de 1.176 KWh/hab. (EPE, 2021). Desta forma, em termos comparativos, a energia disponível pelo aterro CIGRES, proveniente do biogás gerado através dos RSU, mostrou ter capacidade para atender em média 2.090 residências durante o período analisado de 2022 a 2056.

Em termos de equivalente populacional, tem potencial para atender 463 habitantes ou cerca de 0,20 % da população do aterro do CIGRES ou 2,86 % da população de Olho D'água da Flores em 2023 e mais de 5 mil habitantes ou cerca de 1,9 % da população referente ao aterro ou cerca de 27,65 % da população de Olho D'água da Flores até 2037.

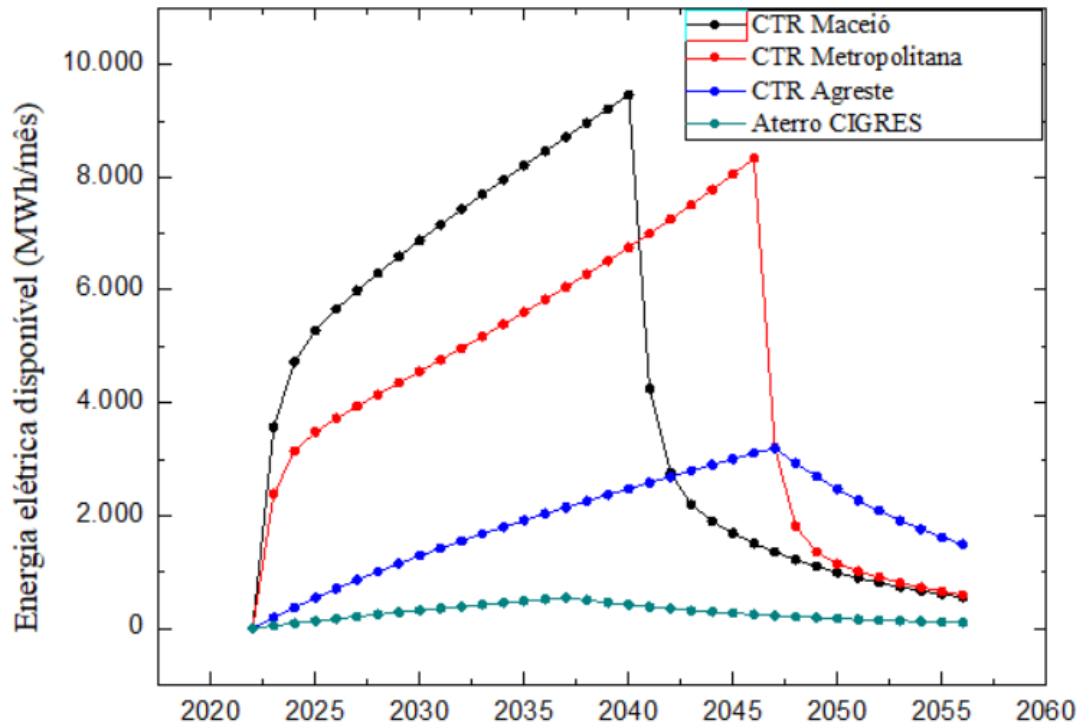
5.7.5. Considerações gerais sobre o Potencial de Geração de Energia Elétrica

O Gráfico 32 apresenta o comparativo da energia elétrica disponível estimada a partir da vazão de metano calculada pelo modelo IPCC (2006) referente aos aterros sanitários do Estado de Alagoas de 2022 até o final da vida útil de cada aterro.

Em média, a partir do primeiro ano de geração, até o primeiro ano após o final da vida útil, os aterros sanitários podem gerar 6.749 MWh/mês, 5.318 MWh/mês, 1.768 MWh/mês e 290 MWh/mês, nas CTR Maceió, CTR Metropolitana, CTR Agreste e aterro CIGRES, respectivamente. No entanto, a partir do primeiro ano de encerramento até o ano de 2056, em média, os aterros sanitários podem gerar 1.449 MWh/mês, 1.218 MWh/mês, 2.134 MWh/mês e 260 MWh/mês, nas CTR Maceió, CTR Metropolitana, CTR Agreste e aterro CIGRES, respectivamente. Logo, observa-se que, a média de geração de energia elétrica estimada para as CTRs Agreste e aterro CIGRES teve uma variação em torno de 20 % e 10 % respectivamente, após o fim da vida útil, enquanto a CTR Maceió e a CTR Metropolitana, tiveram um decréscimo médio de 71% e 64 %, respectivamente, mesmo comportamento da curva de geração de metano desses aterros sanitários, como já esperado, tendo em vista que a vazão de metano tem relação direta com a capacidade de geração de energia elétrica.

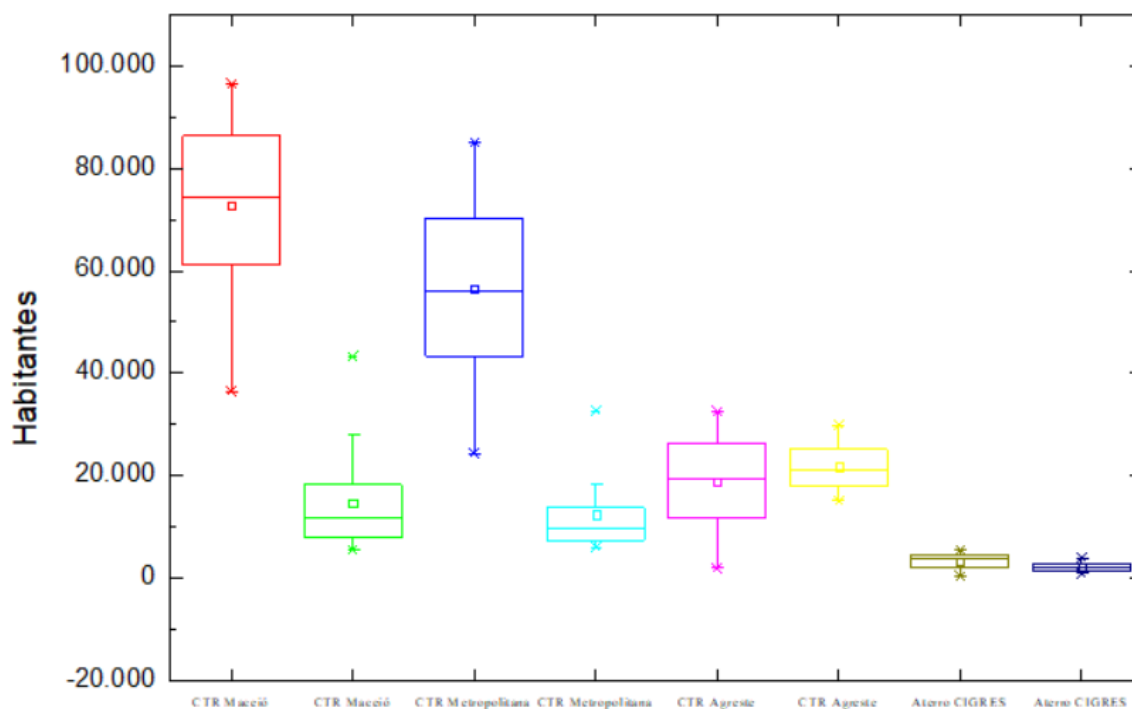
A observância do comportamento dessas curvas, seja de geração de metano, seja de potência ou energia elétrica, é de extrema relevância para os estudos de viabilidade e implantação dos sistemas de aproveitamento energético a partir do biogás gerado nos aterros sanitários, principalmente devido a influência da constante cinética de degradação – k , que como discutido anteriormente, ditará não apenas a quantidade de metano gerado ao longo da vida útil do aterro sanitário, mas também a variabilidade dessa geração após o encerramento do aterramento dos resíduos, em relação a sua produtividade durante a vida útil, como pode ser visto no Gráfico 33.

Gráfico 32 - Estimativa da Energia Elétrica disponível a partir do metano estimado nos aterros sanitários de Alagoas.



Fonte: Autora, 2022.

Gráfico 33 – Influência da cinética de degradação nos aterros sanitários de Alagoas, antes e após encerramento.



Vale ressaltar, que tais estimativas levaram em consideração um cenário ideal, ou seja, se todo o biogás gerado fosse capturado. No entanto, na literatura encontramos diferentes faixas de eficiência de coleta do biogás gerado nos diferentes aterros sanitários do mundo. Embora segundo o Banco Mundial (2004) os sistemas mais eficientes sejam capazes de captar 75% do biogás gerado em um aterro sanitário e esse valor seja utilizado comumente em estimativas de geração como essa, na maioria dos casos a eficiência varia entre 40 e 60% (BARLAZ et al, 2004; SPOKAS, et al., 2006; BABILOTTE, et al., 2010; MACIEL & JUCÁ, 2011).

No cenário internacional, a eficiência de coleta de biogás de aterro sanitário (não considerando o percentual de oxidação de metano na cobertura) varia de 13 a 91 %, com uma média de 50% para aterros da dinamarqueses, 58% para aterros suecos (34 -73%), 64% no Reino Unido (28 – 90%) e 63% (EUA 23- 91%) (BOURN et al, 2019; DUAN et al., 2022).

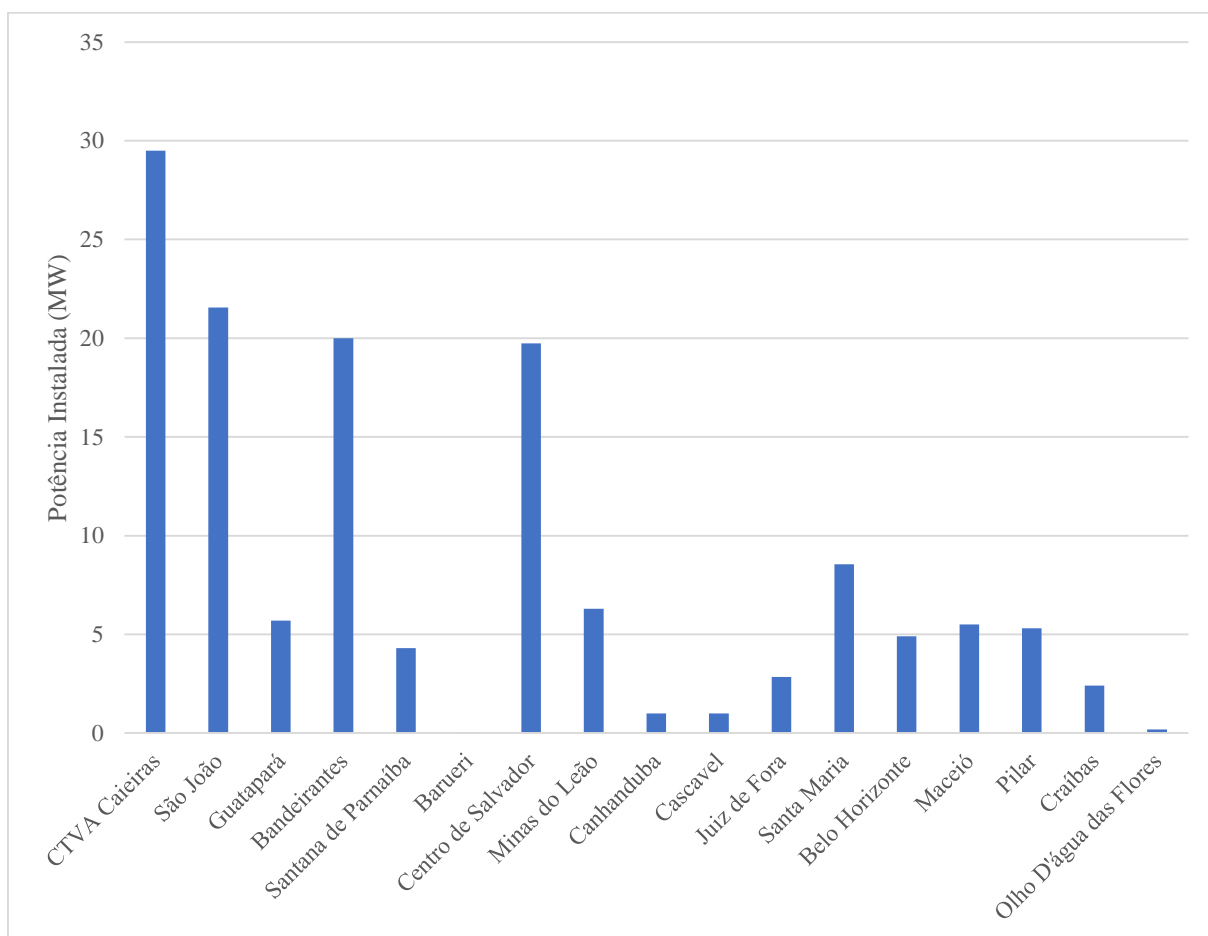
Tendo em vista que o sistema de cobertura dos resíduos é um dos mecanismos para evitar ou minimizar o escape de metano no aterro sanitário, os aterros sanitários da vertente do Atlântico, bem como o aterro do Agreste com cobertura com manta PEAD tem capacidade para eficiência de coleta mais significativa e superior aos 50 %, no qual,

para estimativas mais otimistas do potencial de energia elétrica, poderia ser admitido até o percentual de 75 % de coleta do biogás. Entretanto, o aterro do CIGRES, devido as aparentes emissões fugitivas, poderia ser admitido o percentual em torno de 40 % de eficiência de coleta de biogás (Maciel).

O Gráfico 34 apresenta uma comparativa entre a potência instalada de Usinas termelétricas movidas a biogás de aterro sanitário em operação no Brasil e a potência disponível estimada dos aterros de Alagoas, considerando um percentual de coleta de biogás de 75 % para as CTRs Maceió, Metropolitana e Agreste e 40 % para o aterro do CIGRES.

Ao observar de forma isolada o parâmetro potência desses aterros sanitários a partir da biogás para produção de energia elétrica, nota-se que em média no período analisado de 2022 a 2056, a potência disponível estimada para Maceió (5,5 MW) e Pilar (5,3 MW) foram próximas as potências instaladas dos aterros sanitários de Minas do Leão com 6,7 MW, Santa Maria com 8,55 MW e Guatapará com 5,7 MW, Santana de Parnaíba com 4,3 MW e Belo Horizonte com 4,9 MW. O aterro sanitário de Craíbas (2,4 MW) em média, apresentou potência disponível equivalente a potência instalada do aterro sanitário de Juiz de Fora com 2,85 MW. Enquanto que o aterro de Olho D'água das Flores (0,2 MW), apresentou potência disponível inferior à metade da potência instalada dos aterros sanitários de Canhanduba e Cascavel, ambos com 1MW.

Gráfico 34 - Potência instalada de Usinas termelétricas movidas a biogás de aterro sanitário em operação no Brasil, em comparação com as estimadas para os aterros de Alagoas.



Fonte: Adaptado de GUEDES, 2018 e NASCIMENTO, 2019.

6. CONCLUSÕES

O estudo da caracterização gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos gerados e depositados nos aterros sanitários do Estado de Alagoas evidenciou que:

- A matéria orgânica foi o componente mais representativo quantitativamente nesses resíduos, superando inclusive a média nacional (45,3 %) nos quatro aterros sanitários. A matéria orgânica contribuiu significativamente para a estimativa de geração de metano a partir desses aterros sanitários, tanto pelo elevado percentual desse componente, quanto pela sua rápida degradabilidade.

- O percentual médio de 16,51 % dos componentes inertes como vidro, metal e plásticos na composição dos RSU evidenciaram também que o estado Alagoano possui um potencial considerável de resíduos sólidos domiciliares passíveis de reaproveitamento e reciclagem.

- Os demais componentes presentes nos RSU, seja de fácil ou difícil degradação, também apresentaram potencial de geração de metano, principalmente o papel, os resíduos sanitários e o tecido. Embora presentes em menores quantidades nos RSU que a matéria orgânica e com velocidades de degradação inferior, tais componentes apresentam teor de DOC superiores. Para os aterros sanitários da Vertente do Atlântico, com valores mais elevados de k , foram esses resíduos os responsáveis pela geração de metano até o final do período analisado, após o encerramento dos aterros.

O estudo de modelagem evidenciou que:

- A quantidade e a composição dos RSU, resultado da cultura local, influenciam no DOC da massa aterrada e conseqüentemente na quantidade de metano produzido a partir de cada componente. Enquanto que as condições ambientais e fisográficas dos aterros sanitários interferem na velocidade de degradação (k) dos resíduos e no tempo de geração de metano, afetando diretamente o comportamento da curva de geração de metano.

- A composição gravimétrica dos RSU tem o maior peso no cálculo do Potencial de geração de metano nos aterros sanitários, tendo em vista que cada componente do resíduo possui um DOC distinto. Notou-se que, apesar de ter sido adotado os mesmos valores de DOC para os quatro aterros sanitários, eles apresentaram potencial de geração de metano diferentes, embora próximos, devido a influência da composição dos RSU.

- A escolha adequada da constante cinética de degradação dos componentes do RSU é de extrema importância na aplicação do modelo IPCC (2006), visto que afeta diretamente o comportamento da curva de geração de metano nos aterros sanitários ao longo da vida útil e após o encerramento, evidenciando se a geração do metano poderá perdurar por longos períodos ou não.

O estudo do potencial de geração de energia elétrica a partir da modelagem da geração de metano nos aterros sanitários evidenciou:

- Importância do estudo do comportamento dessas curvas para os estudos de viabilidade e implantação dos sistemas de aproveitamento energético, principalmente devido a influência da constante cinética de degradação – k , que pode afetar significativamente a geração de metano e consequentemente de energia elétrica após o encerramento do aterramento dos resíduos, em relação a sua produtividade durante a vida útil.

- Após o fim da vida útil, as CTR Maceió e CTR Metropolitana, tiveram um decréscimo médio de 71% e 64 %, respectivamente, mesmo comportamento da curva de geração de metano desses aterros sanitários, devido aos valores adotados da constante cinética de degradação dos RSU.

- A energia disponível nos aterros tem potencial para atender de 2023 ao final de vida útil das CTR Maceió, CTR Metropolitana, CTR Agreste e aterro do CIGRES, em média 33.586, 32.196, 14.461 e 12.090 residências, respectivamente no período analisado, considerando um cenário idealista, ou seja, se todo biogás gerado fosse capturado.

7. PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

- Estimar a geração de metano dos 4 aterros sanitários de Alagoas considerando diferentes cenários de % de coleta de biogás, % de coleta de resíduos e geração per capita de RSU segundo metas do Planares.
- Estudar a viabilidade econômica da implantação de sistemas de aproveitamento do biogás para geração de energia elétrica nos aterros do Agreste e Maceió.
- Estudos atuais a respeito da composição gravimétrica dos RSU dos municípios de Alagoas.

8. REFERÊNCIAS

ABRELPE, 2013 - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil 2013. Disponível em < <http://https://www.abrelpe.org.br/panorama/>>. Acesso em novembro de 2021. São Paulo: ABRELPE, 2021.

ABRELPE, 2020 - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil 2020. Disponível em < <http://https://www.abrelpe.org.br/panorama/>>. Acesso em novembro de 2021. São Paulo: ABRELPE, 2020.

ABRELPE, 2021 - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil 2021. Disponível em < <http://https://www.abrelpe.org.br/panorama/>>. Acesso em março de 2022. São Paulo: ABRELPE, 2021.

ALEXANDER, A., BURKLIN, C., SINGLETON, A., 2005. Landfill Gas Emissions Model (LandGEM) Version 3.02 User's Guide. US EPA, Washington. <<http://www.epa.gov/ttnecatc1/dir1/landgem-v302-guide.pdf>> (retrieved 28.10.08.).

ALVES J. W. S. Diagnóstico técnico institucional da recuperação e uso energético do biogás gerado pela digestão anaeróbia de resíduos. Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia (PIPGE) do Instituto de Eletrotécnica e Energia (IEE) da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.

AMINI, H.R.; REINHART, D.R.; MACKIE, K.R. Determination of first-order landfill gas modeling parameters and uncertainties. *Waste Manag.* 2012, 32, 305–316.

AMORIM JÚNIOR, F. B.; CORREIA, F. C.; DUTRA, E.D. Estimativa da produção de biogás na região Nordeste; análise energética da biodigestão de dejetos animais. In: AGUIAR, A. C.; SILVA, K. A.; EL-DEIR, S. G. (Orgs.). Resíduos sólidos: impactos ambientais e inovações tecnológicas. 1ª ed. Recife: EDUFRPE, 2019. p. 286-295.

Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil. Pnud Brasil, Ipea e FJP, 2020. <http://atlasbrasil.org.br/acervo/biblioteca>.

BARLAZ, M.A., SCHAEFER, D.M., HAM, R.K. (1989). Bacterial population development and chemical characteristics of refuse decomposition in a simulated sanitary landfill. *Applied and Environmental Microbiology.* 55(1). pp. 55-65.

BOURN, M., ROBINSON, R., INNOCENTI, F., SCHEUTZ, C., 2019. Regulating landfills using measured methane emissions: an English perspective. *Waste Manag.* 87, 860–869. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.06.032>.

BRITO FILHO, L. F. Estudo de gases em aterros de resíduos sólidos urbanos. (Dissertação de Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. Rio de Janeiro, 2005.

CASTILHOS JR, Armando Borges de et al. Resíduos sólidos urbanos: Aterro sustentável para municípios de pequeno porte. Rio de Janeiro: ABES, 2003.

CETESB (2006). Biogas – landfills, version 1.0/CETESB, the brazilian ministry of science and technology – software and manual. São Paulo: The Environmental Company

of the State of São Paulo Available in <http://www.cetesb.sp.gov.br/mudancas-climaticas/biogas/Softwares/16-Softwares>. [Accessed on: 06 February 2014 (In Portuguese)].

CIBiogás. Biogás Panorama do Biogás no Brasil 2021. CIBiogás (Brasil) Relatório Técnico nº 001/2022 – Foz do Iguaçu, CIBiogás, 2022. 20p. il. color.

CONESTOGA-ROVERS & ASSOCIATES (for Waste Treatment Division, Hazardous Waste Branch), Guidance Document for Landfill Gas Management, (Environment Canada, Ottawa, 1996).

COOPS, O.; LUNING, L.; OONK, H.; WEENK, A. Validation of landfill gas models, In: Proceedings Sardinia 1995. The Fifth International Landfill Symposium, Sardinia, Itália, pp.635-646. 1995.

EL FADEL, M. FINDIKAKIS, A.N., LECKIE, J.O. (1996a). Numerical modelling of generation and transport of gas and heat in landfills I. Model formulation. Waste Management & Research, v.14, pp.483-504.

ELK, ANA G. H. P. VAN. Redução de emissões na disposição final. Rio de Janeiro: IBAM, 2007. 40 p.

ENGELMANN, P. M.; LIMA, J. E. A. Caracterização do RSU da Cidade de Xangri-lá/RS Visando o Aproveitamento em Processos de WTE. IN: ALMEIDA, I. M. S. ; SILVA, K. A.; EL-DEIR, S. G. (Org.). Resíduos sólidos: gestão e gerenciamento. 1. ed. - Recife: EDUFRPE, 2022. 638 p. : il.

EPE, 2020. Plano decenal de expansão de energia. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2030>.

EPE, 2021. Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2021 ano base 2020. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dadosabertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico168/Anu%C3%A1rio_2021.pdf

ERSES, A.S., ONAY, T.T., YENIGUN, O. (2008). Comparison of aerobic and anaerobic degradation of municipal solid waste in bioreactor landfills. Bioresource Technology 99 (2008), pp. 5418–5426.

ESMAP – ENERGY SECTOR MANAGEMENT ASSISTANCE PROGRAMME. Handbook for the Preparation of Landfill Gas to Energy Projects in Latin America and the Caribbean. The World Bank: ESMAP, 2004. 236 p.

FALLAHIZADEH, S, RAHMATINIA, M, MOHAMMADI, Z, VAEZZADEH, M, TAJAMIRI, A E SOLEIMANI, H (2019) ‘Estimation of methane gas by LandGEM model from Yasuj municipal solid waste landfill, Iran’, MethodsX, [online], v. 6, pp. 391–398. <<https://doi.org/10.1016/j.mex.2019.02.013>>.

FERNANDES, G. L.; SANTOS, I. F. S.; SILVA, H. L. C.; BARROS, R. M. Geração de energia usando biogás de aterros sanitários no Brasil: um estudo de potencial energético e viabilidade econômica em função da população. 2022. <https://doi.org/10.1590/S1413-415220200210>.

FIRMO, A. L. B.. Estudo Numérico e Experimental da Geração de Biogás a partir da Biodegradação de Resíduos Sólidos Urbanos. Tese de Doutorado. Recife: Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – UFPE, 2013.

FREITAS, G. P.; SÁ, A. C. N.; FARTO, C. D.; SILVA, K. A. 4.5 Produção de biogás a partir da fração orgânica de resíduos sólidos; viabilidade técnica e ambiental. In: ALMEIDA, I. M. S.; GUEDES, F. L.; EL-DEIR, S. G.; MENEZES, N. S. (Org.). Resíduos Sólidos: Gestão e tecnologia. 1ª ed. Recife: Edufrpe/Gampe, 2021, p. 521-533.

IANNICELLI, L. A.. Reaproveitamento energético do biogás de uma indústria cervejeira. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade de Taubaté, Taubaté, 2008.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo demográfico 2010. Brasília: IBGE, 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/>>. Acesso em: Agosto de 2021.

IPCC, 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Intergovernmental Panel on Climate Change, Vol. 5-Waste, IGES, Japan.

IQBAL MA, ABDUL H, IMTIAZ H, MUZAMMIL HS, TANVEER A, ABDUL K & ZAHOOR A. 2019a. Competitive indices in cereal and legume mixtures in a South Asian environment. *Agron J* 111(1): 242-249.

JUCÁ, J. F. T. (2002b). Relatório Final: Diagnóstico de resíduos sólidos do estado de Alagoas. Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento / MMA.

KARANJEKAR, R.V., BHATT, A., ALTOUQUI, S., JANGIKHATOONABAD, N., DURAI, V., SATTLER, M.L., ET AL., 2015. Estimating methane emissions from landfills based on rainfall, ambient temperature, and waste composition: the cleen model. *Waste Manag.* 46, 389e398.

LIMA, R.M., SANTOS, A.H.M., PEREIRA, C.R.S., FLAUZINO, B.K., PEREIRA, A.C.O.S., NOGUEIRA, F. J.H., VALVERDE, J.A.R., 2018. Spatially distributed potential of landfill biogas production and electric power generation in Brazil. *Waste Management* 74, 323–334. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.12.011>.

MACEDO, M. B. P. (2019). Avaliação do Potencial de Geração de Biogás no Aterro Controlado do Jôquei Clube de Brasília/DF. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 119 p.

MACHADO, S.L.; CARVALHO, M.F.; GOURC, J.P.; VILAR, O.M.; NASCIMENTO, J.C.F. (2009) Methane generation in tropical landfills: simplified methods and field results. *Waste Management*, v. 29, p. 153-161.

MACIEL, F.J. (2009). Geração de Biogás e Energia em Aterro Experimental de Resíduos Sólidos Urbanos. Tese de doutorado. Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, dezembro, 330p.

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

MELLO, V. M.; SANTOS, D. D. L.; FREITAS, R. C. S.; YOKOYAMA, L.; CAMMAROTA, C. Energy generation in the treatment of effluent from washing of municipal solid waste collection trucks. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, v. 30, p. 105-113, Dez. 2018. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213138816301035> > Acesso em: 29 abr. 2019. <https://dados.al.gov.br/catalogo/ca/dataset/dados-economia-perfil-municipal>

NJOKU, P. O., J. O. ODIYO, O. S. DUROWOJU, AND J. N. EDOKPAYI. 2018. A review of landfill gas generation and utilisation in Africa. *Open Environ. Sci.* 10 (1):1–15. doi:10.2174/1876325101810010001.

NORBERTO, A. de S.; LIRA, S. A.; NASCIMENTO, A. V. do .; DUARTE, A. D. .; SILVA, J. G. C. da .; ALVES, J. V. C. .; PEDROSA, T. D. .; OLIVEIRA NETO, J. F. de . Study of the relationship between the generation of solid urban waste and the Gross Domestic Product (GDP) per capita in Brazil. *Research, Society and Development*, [S. l.], v. 10, n. 1, p. e3910111429, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i1.11429.

PBMC, 2016: Mudanças Climáticas e Cidades. Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas [Ribeiro, S.K., Santos, A.S. (Eds.)]. PBMC, COPPE – UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil. 116p. ISBN: 978-85-285-0344-9

PIGIRS - Plano Intermunicipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos. 2017. Disponível em: <<http://www.residuossolidos.al.gov.br/planos/intermunicipal>> Acesso em agosto de 2021.

POHLAND, F. G.; HARPER, S. R. (1985) Critical review and summary of leachate and gas production from landfills. Tech Project n. E20 G01.

ROCHA, E. A.; PAIXÃO, S. K.; SILVA, R. F.; FAUSTINO, A. M. C. 2.1. Compostagem e Biodigestão de Resíduos Alimentares de Restaurante. In: ALMEIDA, I. M. S.; GUEDES, F. L.; EL-DEIR, S. G.; MENEZES, N. S. (Org.). *Resíduos Sólidos: Gestão e tecnologia*. 1ª ed. Recife: Edufrpe/Gampe, 2021, p. 219-232.

RYCKEBOSCH, Eline; DROUILLON, Margriet; VERVAEREN, Han. Techniques for transformation of biogas to biomethane. *Biomass and Bioenergy*. n. 35, p. 1633-1645, 2011.

SALOMON, K. R.; LORA, E. E. S. Estimativa do potencial de geração de energia elétrica para diferentes fontes de biogás no Brasil. *Biomassa & Energia*, v. 2, n. 1, p. 57-67, 2005.

SANTOS, I. F. S.; BARROS, R. M.; TIAGO FILHO, G.L. Economic study on LFG energy projects in function of the number of generators. *Sustainable Cities and Society*, v. 41, p. 587-600, 2018a. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.04.029>.

SANTOS, I. F. S.; VIEIRA, N.D.B.; NÓBREGA, L.G.B.; BARROS, R.M.; TIAGO FILHO, G.L. Assessment of potential biogas production from multiple organic wastes in Brazil: impact on energy generation, use, and emissions abatement. *Resources*,

Conservation and Recycling, v. 131, p. 54-63, 2018b. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.12.012>.

SANTOS, R. E.; SANTOS, I. F. S.; BARROS, R. M.; BERNAL, A. P.; TIAGO FILHO, G. L.; SILVA, F. G. B. Generating electrical energy through urban solid waste in Brazil: An economic and energy comparative analysis. *Journal of Environmental Management*, v. 231, p. 198-206, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.10.015>.

SILVA, B. C. S.; JACINTO, M. A. S.; COELHO FILHO, H. C.; TEIXEIRA, L. C. G. M. 4.1. Estimativa do Potencial de Geração de Energia a partir do Aproveitamento do Biogás de Reatores UASB; Estudo de Caso ETE Vinhais em São Luís/MA. In: ALMEIDA, I. M. S.; GUEDES, F. L.; EL-DEIR, S. G.; MENEZES, N. S. (Org.). *Resíduos Sólidos: Gestão e tecnologia*. 1ª ed. Recife: Edufrpe/Gampe, 2021, p. 521-533.

SILVA, C. O.; KONRAD, O.; CALLADO, N. H.; ARAUJO, L. G. S.; HASAN, C. Resíduos sólidos urbanos de Maceió-AL: análise da composição gravimétrica sob influências sazonais. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v. 11, n. 3, p.426-439, 2020.

SILVA, J. B. S.; CRUZ, G. Potencial Energético dos Resíduos de Podas Urbanas e aproveitamento por meio da Produção de Biocombustíveis. In: SANTANA, R. F.; ARAGÃO JÚNIOR, W. R.; EL-DEIR, S. G. (Org.). *Resíduos sólidos: tecnologia e boas práticas de economia circular*. 1a ed. Recife: EDUFRPE, 2020. p. 393 - 405.

SPOKAS, K., BOGNER, J., CHANTON, J.P., MORCET, M., ARAN, C., GRAFF, C., GOLVAN, Y.M. LE, HEBE, I., 2006. Methane mass balance at three landfill sites: What is the efficiency of capture by gas collection systems? *Waste Manage.* 26, 516–525. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2005.07.021>.

TABAZARAN, O. (1976). *Überlegungen zum Problem Deponiegas. Müll und Abfall*, v.7. 204 p.

THOMPSON, S., SAWYER, J., BONAM, R., VALDIVIA, J.E., 2009. Building a better methane generation model: Validating models with methane recovery rates from 35 Canadian landfills. *Waste Management* 29, 2085–2091.

USEPA. United States Environmental Protection Agency (2005a). *First-Order Kinect Gas Generation Model Parameters for Wet Landfills*, by Reinhart, D. R.; Faour, A. A.; You, H. Washington DC.

VIEIRA, L. C.; CANDIANI, G.. Potencial energético de resíduos sólidos urbanos na Região do Grande ABC Paulista. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.12, n.2, p.328-342, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.002.0030>.

VIGNERON, V., MAZEAS, L., BARINA, G., AUDIC, J.M., VASEL, J.L., BERMET, N., BOUCHEZ, T. (2005). Anaerobic digestion of municipal solid waste: a mass balance analysis. *Proceedings Sardinia 2005, Tenth International Waste Management and Landfill Symposium*. Cagliari, Italy; October 2005.

WILLIAMS, R. R. C. 2001. *Landfill gas primer an overview for environmental health professionals*. USA: The Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) USA.

APENDICE

Tabela 37 - Equações de crescimento populacional de melhor ajuste aos municípios da CTR Metropolitana.

Município	Ajuste	Equação	R ²
Anadia	Logarítmico	$(2,15E+05).ln(x) + (-1629554,23)$	0,904
Atalaia	Linear	$(3,34E+02).X + (-650929,32)$	0,983
Barra de Santo Antônio	Geométrico	$(1,52E-233).(X ^ 71,71)$	0,981
Barra de São Miguel	Linear	$(1,23E+02).X + (-241545,84)$	0,963
Boca da Mata	Logarítmico	$(6,13E+05).ln(x) + (-4644996,78)$	0,969
Branquinha	Geométrico	$(9,45E-173).(X ^ 53,20)$	0,925
Cajueiro	Logarítmico	$(5,15E+05).ln(x) + (-3901967,10)$	0,962
Campestre	Linear	$(1,06E+02).X + (-207811,53)$	0,887
Capela	Logarítmico	$(2,69E+05).ln(x) + (-2036736,43)$	0,909
Chã Preta	Logarítmico	$(1,26E+05).ln(x) + (-953947,22)$	0,932
Colônia Leopoldina	Linear	$(2,16E+02).X + (-419761,83)$	0,989
Coqueiro Seco	Logarítmico	$(1,29E+05).ln(x) + (-973509,70)$	0,928
Coruripe	Geométrico	$(7,20E-262).(X ^ 80,42)$	0,948
Feliz Deserto	Logarítmico	$(1,05E+05).ln(x) + (-796602,76)$	0,987
Flexeiras	Logarítmico	$(2,07E+05).ln(x) + (-1567666,16)$	0,952
Ibateguara	Logarítmico	$(2,57E+05).ln(x) + (-1947578,44)$	0,943
Jequiá da Praia	Geométrico	$(4,22E-197).(X ^ 60,45)$	0,767
Joaquim Gomes	Linear	$(2,65E+02).X + (-520049,10)$	0,939
Jundiá	Geométrico	$(2,04E-298).(X ^ 91,10)$	0,887
Mar Vermelho	Geométrico	$(8,00E-122).(X ^ 37,58)$	0,644
Marechal Deodoro	Geométrico	$(3,11E-243).(X ^ 74,79)$	0,964
Matriz de Camaragibe	Logarítmico	$(6,00E+05).ln(x) + (-4544527,07)$	0,960
Messias	Linear	$(2,91E+02).X + (-572586,55)$	0,973
Murici	Geométrico	$(1,37E-148).(X ^ 46,06)$	0,978
Novo Lino	Logarítmico	$(1,87E+05).ln(x) + (-1412520,16)$	0,960
Paripueira	Geométrico	$(9,37E-286).(X ^ 87,48)$	0,981
Passo de Camaragibe	Exponencial	$(5,64E-07).[e ^ (0,012.X)]$	0,766
Pilar	Linear	$(4,35E+02).X + (-845183,00)$	0,972
Pindoba	Geométrico	$(3,90E-35).(X ^ 11,38)$	0,725
Porto Calvo	Geométrico	$(8,95E-133).(X ^ 41,26)$	0,962
Porto de Pedras	Geométrico	$(8,32E+65).(X ^ -18,91)$	0,173
Rio Largo	Exponencial	$(1,10E-14).[e ^ (0,021.X)]$	0,970
Roteiro	Logarítmico	$(1,67E+05).ln(x) + (-1264299,33)$	0,904
Santa Luzia do Norte	Logarítmico	$(1,83E+05).ln(x) + (-1382544,55)$	0,952
Santana do Mundaú	Logarítmico	$(1,31E+05).ln(x) + (-988455,59)$	0,773
São José da Laje	Geométrico	$(1,53E-100).(X ^ 31,47)$	0,974
São Luís do Quitunde	Linear	$(2,90E+02).X + (-563594,95)$	0,950
São Miguel dos Campos	Linear	$(7,97E+02).X + (-1556465,17)$	0,943
São Miguel dos Milagres	Exponencial	$(5,73E-14).[e ^ (0,019.X)]$	0,941
Satuba	Geométrico	$(4,28E-142).(X ^ 43,94)$	0,459
União dos Palmares	Logarítmico	$(1,23E+06).ln(x) + (-9304861,84)$	0,976
Viçosa	Geométrico	$(2,37E-93).(X ^ 29,32)$	0,943

Fonte: Autora, 2022.

Tabela 38 - Equações de crescimento populacional de melhor ajuste aos municípios da
CTR Agreste.

Município	Ajuste	Equação	R²
Arapiraca	Logarítmico	$(5,55E+06).ln(x) + (-42052854,96)$	0,983
Belém	Geométrico	$(4,38E-08).(X ^ 3,19)$	0,036
Campo Alegre	Linear	$(4,50E+02).X + (-883587,36)$	0,967
Campo Grande	Logarítmico	$(1,04E+05).ln(x) + (-787459,06)$	0,880
Coité do Nóia	Logarítmico	$(8,31E+04).ln(x) + (-629072,90)$	0,825
Craíbas	Logarítmico	$(2,24E+05).ln(x) + (-1699972,51)$	0,984
Estrela de Alagoas	Logarítmico	$(9,67E+04).ln(x) + (-731923,04)$	0,971
Feira Grande	Logarítmico	$(8,05E+04).ln(x) + (-609081,01)$	0,942
Girau do Ponciano	Linear	$(2,18E+02).X + (-427522,38)$	0,987
Igaci	Logarítmico	$(1,44E+05).ln(x) + (-1089755,80)$	0,929
Igreja Nova	Logarítmico	$(8,74E+04).ln(x) + (-659968,30)$	0,989
Junqueiro	Linear	$(1,26E+02).X + (-246623,61)$	0,919
Lagoa da Canoa	Logarítmico	$(2,85E+05).ln(x) + (-2156391,73)$	0,901
Limoeiro de Anadia	Geométrico	$(4,31E-108).(X ^ 33,51)$	0,969
Maribondo	Geométrico	$(1,02E-59).(X ^ 19,06)$	0,752
Minador do Negrão	Logarítmico	$(4,27E+04).ln(x) + (-322601,95)$	0,797
Olho d'Água Grande	Logarítmico	$(2,24E+04).ln(x) + (-169036,06)$	0,963
Palmeira dos Índios	Logarítmico	$(1,26E+06).ln(x) + (-9554570,17)$	0,972
Paulo Jacinto	Logarítmico	$(4,28E+04).ln(x) + (-320934,42)$	0,860
Penedo	Logarítmico	$(1,01E+06).ln(x) + (-7651831,39)$	0,982
Piaçabuçu	Logarítmico	$(2,17E+05).ln(x) + (-1636888,90)$	0,894
Porto Real do Colégio	Logarítmico	$(1,19E+05).ln(x) + (-900631,72)$	0,958
Quebrangulo	Exponencial	$(5,18E-01).[e ^ (0,005.X)]$	0,710
São Brás	Logarítmico	$(5,63E+04).ln(x) + (-425399,86)$	0,802
São Sebastião	Logarítmico	$(4,47E+05).ln(x) + (-3389407,50)$	0,961
Tanque d'Arca	Logarítmico	$(3,81E+04).ln(x) + (-287489,75)$	0,731
Taquarana	Linear	$(1,04E+02).X + (-204127,09)$	0,937
Teotônio Vilela	Logarítmico	$(1,34E+06).ln(x) + (-10194454,94)$	0,955
Traipu	Logarítmico	$(2,18E+05).ln(x) + (-1652778,83)$	0,958

Fonte: Autora, 2022.

Tabela 39 - Equações de crescimento populacional dos municípios do aterro do CIGRES.

Município	Ajuste	Equação	R²
Água Branca	Linear	$(2,72E-193).X + (59,41)$	0,937
Batalha	Linear	$(1,81E+02).X + (-351402,70)$	0,989
Belo Monte	Logarítmico	$(1,32E+03).ln(x) + (-9118,10)$	0,004
Cacimbinhas	Logarítmico	$(1,37E+05).ln(x) + (-1039846,64)$	0,962
Canapi	Logarítmico	$(1,62E+05).ln(x) + (-1228421,61)$	0,923
Carneiros	Exponencial	$(1,27E-23).[e ^ (0,030.X)]$	0,966
Dois Riachos	Logarítmico	$(1,32E+05).ln(x) + (-996189,71)$	0,949
Inhapi	Logarítmico	$(2,19E+05).ln(x) + (-1656700,52)$	0,946
Jacaré dos Homens	Logarítmico	$(5,82E+04).ln(x) + (-440116,73)$	0,839
Jaramataia	Logarítmico	$(8,30E+04).ln(x) + (-628711,25)$	0,887
Major Isidoro	Logarítmico	$(2,71E+05).ln(x) + (-2050151,47)$	0,949
Maravilha	Geométrico	$(2,68E-34).(X ^ 11,18)$	0,034
Mata Grande	Geométrico	$(1,96E-84).(X ^ 26,46)$	0,951
Monteirópolis	Logarítmico	$(5,62E+04).ln(x) + (-424850,41)$	0,929
Olho d'Água das Flores	Logarítmico	$(4,42E+05).ln(x) + (-3345627,26)$	0,975
Olho d'Água do Casado	Logarítmico	$(1,35E+05).ln(x) + (-1019207,62)$	0,952
Oliveira	Logarítmico	$(9,42E+04).ln(x) + (-714136,78)$	0,948
Ouro Branco	Logarítmico	$(2,06E+05).ln(x) + (-1561984,39)$	0,975
Palestina	Geométrico	$(5,21E-100).(X ^ 31,09)$	0,736
Pão de Açúcar	Logarítmico	$(2,02E+05).ln(x) + (-1529409,85)$	0,953
Pariconha	Linear	$(3,80E+01).X + (-73807,05)$	0,950
Piranhas	Linear	$(1,87E+02).X + (-368116,51)$	0,645
Poço das Trincheiras	Logarítmico	$(5,46E+04).ln(x) + (-413892,48)$	0,917
Santana do Ipanema	Logarítmico	$(6,71E+05).ln(x) + (-5077067,38)$	0,984
São José da Tapera	Logarítmico	$(4,08E+05).ln(x) + (-3089078,00)$	0,976
Senador Rui Palmeira	Linear	$(6,21E+01).X + (-121180,58)$	0,953

Fonte: Autora, 2022.

Tabela 40 - Projeção populacional urbana dos municípios que destinam seus RSU para CTR Metropolitana dos anos: 2022 – 2045.

Município	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045
Anadia	9797	9904	10010	10117	10223	10329	10435	10542	10648	10754	10860	10966	11072	11178	11283	11389	11495	11706	11706	11812	11917	12023	12128	12233
Atalaia	24414	24748	25082	25416	25750	26084	26418	26752	27086	27420	27754	28088	28422	28756	29090	29424	29758	30426	30426	30760	31094	31428	31762	32096
B. de Santo Antônio	17104	17721	18360	19022	19708	20417	21152	21914	22702	23518	24363	25238	26143	27081	28052	29058	30099	32292	32292	33447	34643	35880	37162	38488
B.de São Miguel	7609	7732	7855	7978	8102	8225	8348	8471	8594	8718	8841	8964	9087	9211	9334	9457	9580	9827	9827	9950	10073	10196	10320	10443
Boca da Mata	19843	20146	20449	20751	21054	21356	21659	21961	22263	22565	22866	23168	23469	23770	24071	24372	24673	25274	25274	25575	25875	26175	26475	26775
Branquinha	7191	7383	7580	7782	7989	8201	8419	8643	8873	9108	9350	9598	9852	10113	10381	10656	10938	11524	11524	11828	12140	12461	12790	13127
Cajueiro	18209	18464	18719	18973	19227	19481	19735	19989	20243	20497	20750	21003	21257	21510	21763	22016	22269	22774	22774	23026	23278	23531	23783	24034
Campestre	6032	6138	6244	6350	6455	6561	6667	6773	6879	6984	7090	7196	7302	7407	7513	7619	7725	7936	7936	8042	8148	8253	8359	8465
Capela	13022	13155	13288	13421	13554	13687	13820	13953	14086	14218	14351	14483	14616	14748	14880	15013	15145	15409	15409	15541	15673	15805	15936	16068
Chã Preta	4535	4597	4659	4721	4784	4846	4908	4970	5032	5094	5156	5218	5280	5342	5404	5465	5527	5651	5651	5712	5774	5836	5897	5959
Colônia Leopoldina	16581	16797	17013	17229	17445	17660	17876	18092	18308	18524	18739	18955	19171	19387	19602	19818	20034	20466	20466	20681	20897	21113	21329	21545
Coqueiro Seco	5632	5695	5759	5823	5886	5950	6013	6076	6140	6203	6266	6330	6393	6456	6519	6583	6646	6772	6772	6835	6898	6961	7024	7087
Coruripe	49657	51671	53766	55944	58210	60566	63017	65565	68215	70971	73837	76817	79915	83137	86488	89971	93593	101275	101275	105345	109578	113978	118553	123309
Feliz Deserto	4001	4053	4105	4157	4209	4261	4313	4365	4417	4469	4520	4572	4624	4676	4727	4779	4830	4934	4934	4985	5037	5088	5140	5191
Flexeiras	8379	8481	8583	8686	8788	8890	8992	9094	9196	9298	9400	9502	9604	9706	9807	9909	10011	10214	10214	10315	10417	10518	10619	10721
Ibateguara	10067	10194	10321	10448	10575	10702	10829	10956	11082	11209	11336	11462	11589	11715	11841	11968	12094	12346	12346	12472	12598	12724	12850	12976
Jequiá da Praia	2887	2975	3065	3158	3254	3352	3454	3558	3666	3776	3890	4008	4129	4253	4381	4514	4649	4933	4933	5082	5235	5392	5554	5720
Joaquim Gomes	16284	16549	16814	17080	17345	17610	17875	18141	18406	18671	18936	19202	19467	19732	19997	20263	20528	21058	21058	21324	21589	21854	22119	22385
Jundiá	3008	3147	3292	3443	3602	3767	3940	4121	4311	4508	4715	4931	5157	5393	5640	5898	6168	6745	6745	7053	7374	7711	8062	8430
Mar Vermelho	1386	1412	1438	1465	1492	1520	1549	1578	1607	1637	1668	1699	1731	1763	1796	1829	1863	1933	1933	1969	2006	2043	2081	2119
Marechal Deodoro	54264	56308	58428	60627	62908	65273	67725	70269	72907	75642	78479	81421	84471	87634	90914	94315	97841	105289	105289	109219	113295	117520	121901	126443
Matriz de Camaragibe	22984	23281	23578	23874	24170	24466	24762	25058	25354	25649	25945	26240	26535	26830	27125	27419	27714	28302	28302	28597	28890	29184	29478	29771
Messias	16575	16866	17158	17449	17740	18032	18323	18615	18906	19197	19489	19780	20071	20363	20654	20946	21237	21820	21820	22111	22402	22694	22985	23277

Município	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045
Murici	25211	25792	26386	26993	27614	28249	28898	29561	30240	30934	31643	32368	33110	33868	34643	35436	36246	37921	37921	38787	39672	40577	41502	42447
Novo Lino	7681	7773	7866	7958	8050	8142	8234	8326	8418	8510	8602	8693	8785	8877	8969	9060	9152	9335	9335	9426	9518	9609	9700	9791
Paripueira	14428	15066	15732	16426	17151	17908	18698	19522	20381	21279	22215	23192	24211	25275	26385	27543	28752	31328	31328	32700	34131	35625	37183	38809
Passo de Camaragibe	7269	7353	7438	7525	7612	7700	7789	7879	7970	8063	8156	8251	8346	8443	8540	8639	8739	8943	8943	9047	9151	9257	9364	9473
Pilar	35193	35628	36063	36499	36934	37370	37805	38240	38676	39111	39547	39982	40417	40853	41288	41724	42159	43030	43030	43465	43901	44336	44771	45207
Pindoba	1565	1574	1583	1592	1601	1610	1619	1628	1637	1646	1656	1665	1674	1684	1693	1702	1712	1731	1731	1741	1751	1760	1770	1780
Porto Calvo	21677	22124	22579	23044	23518	24002	24495	24999	25512	26036	26570	27115	27670	28237	28815	29405	30007	31246	31246	31884	32535	33199	33876	34566
Porto de Pedras	2629	2605	2581	2557	2533	2510	2486	2463	2440	2418	2395	2373	2351	2329	2308	2287	2265	2224	2224	2203	2183	2163	2143	2123
Rio Largo	68594	70078	71594	73143	74725	76342	77994	79681	81405	83166	84965	86804	88682	90600	92560	94563	96609	100834	100834	103016	105245	107522	109848	112224
Roteiro	6157	6239	6322	6404	6487	6569	6651	6734	6816	6898	6980	7062	7144	7226	7308	7390	7472	7636	7636	7718	7800	7881	7963	8045
Santa Luzia do Norte	6980	7071	7161	7251	7341	7431	7521	7611	7701	7791	7881	7971	8061	8150	8240	8330	8419	8598	8598	8688	8777	8867	8956	9045
Santana do Mundaú	6225	6290	6354	6419	6483	6548	6612	6677	6741	6806	6870	6934	6998	7063	7127	7191	7255	7383	7383	7447	7511	7575	7639	7703
São José da Laje	16763	17025	17292	17563	17838	18117	18401	18689	18981	19277	19578	19884	20194	20509	20828	21153	21482	22155	22155	22500	22849	23204	23564	23930
São Luís do Quitunde	22721	23011	23301	23591	23881	24171	24461	24751	25041	25331	25621	25911	26201	26491	26780	27070	27360	27940	27940	28230	28520	28810	29100	29390
São Miguel dos Campos	54594	55391	56187	56984	57781	58578	59374	60171	60968	61765	62562	63358	64155	64952	65749	66545	67342	68936	68936	69732	70529	71326	72123	72919
São Miguel dos Milagres	2605	2655	2706	2758	2810	2864	2919	2975	3032	3090	3149	3209	3271	3333	3397	3462	3529	3665	3665	3735	3807	3880	3954	4030
Satuba	7922	8096	8274	8455	8641	8830	9024	9221	9423	9629	9840	10055	10275	10499	10728	10962	11201	11694	11694	11949	12209	12474	12746	13022
União dos Palmares	50227	50835	51442	52049	52656	53263	53869	54475	55080	55685	56290	56895	57500	58104	58707	59311	59914	61120	61120	61722	62324	62926	63527	64128
Viçosa	19940	20231	20526	20826	21129	21437	21750	22066	22387	22713	23043	23378	23717	24062	24411	24765	25124	25857	25857	26231	26610	26995	27385	27781
Total CTR x mil hab.	718	732	747	762	777	793	809	825	842	859	876	894	912	931	950	969	989	1030	1030	1052	1074	1096	1119	1143

Tabela 41 - Projeção populacional urbana dos municípios que destinam seus RSU para CTR Agreste dos anos: 2022 – 2046.

Município	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046
Arapiraca	202263	205008	207751	210493	213234	215973	218711	221448	224183	226917	229650	232381	235111	237839	240567	243292	246017	251462	251462	254183	256902	259620	262336	265051	267765
Belém	1566	1568	1571	1573	1576	1578	1581	1583	1586	1588	1591	1593	1596	1598	1601	1603	1606	1611	1611	1613	1616	1618	1621	1623	1626
Campo Alegre	25866	26316	26766	27216	27666	28115	28565	29015	29465	29915	30364	30814	31264	31714	32163	32613	33063	33963	33963	34412	34862	35312	35762	36211	36661
Campo Grande	4618	4670	4721	4772	4824	4875	4926	4978	5029	5080	5131	5183	5234	5285	5336	5387	5438	5540	5540	5591	5642	5693	5744	5795	5846
Coité do Nóia	3324	3365	3407	3448	3489	3530	3571	3612	3652	3693	3734	3775	3816	3857	3898	3938	3979	4061	4061	4101	4142	4183	4223	4264	4305
Craibas	8446	8557	8667	8778	8889	9000	9111	9221	9332	9442	9553	9663	9774	9884	9994	10104	10215	10435	10435	10545	10655	10765	10874	10984	11094
Estrela de Alagoas	4292	4340	4387	4435	4483	4531	4578	4626	4674	4721	4769	4817	4864	4912	4959	5007	5054	5149	5149	5196	5244	5291	5338	5386	5433
Feira Grande	3910	3950	3989	4029	4069	4109	4148	4188	4228	4267	4307	4347	4386	4426	4465	4505	4545	4623	4623	4663	4702	4742	4781	4821	4860
Girau do Ponciano	13615	13833	14052	14270	14488	14706	14924	15142	15361	15579	15797	16015	16233	16451	16670	16888	17106	17542	17542	17760	17979	18197	18415	18633	18851
Igaci	6644	6716	6787	6858	6929	7000	7071	7142	7213	7284	7355	7426	7497	7567	7638	7709	7780	7921	7921	7992	8062	8133	8203	8274	8344
Igreja Nova	5328	5371	5414	5457	5501	5544	5587	5630	5673	5716	5759	5802	5845	5888	5931	5974	6017	6102	6102	6145	6188	6231	6274	6316	6359
Junqueiro	8424	8550	8677	8803	8929	9055	9181	9307	9433	9560	9686	9812	9938	10064	10190	10316	10443	10695	10695	10821	10947	11073	11199	11325	11452
L.da Canoa	9490	9630	9771	9911	10052	10192	10333	10473	10613	10753	10893	11033	11173	11313	11453	11593	11732	12011	12011	12151	12290	12429	12569	12708	12847
Limoeiro de Anadia	2655	2699	2744	2790	2837	2884	2932	2981	3031	3081	3132	3184	3237	3291	3346	3401	3458	3573	3573	3632	3693	3754	3816	3879	3943
Maribondo	10147	10243	10340	10438	10536	10636	10736	10838	10940	11043	11147	11252	11358	11465	11573	11682	11792	12014	12014	12127	12240	12355	12471	12588	12706
Minador do Negrão	2256	2277	2298	2319	2340	2361	2382	2403	2424	2445	2466	2487	2508	2529	2550	2571	2592	2634	2634	2655	2676	2696	2717	2738	2759
Olho d'Água Grande	1269	1280	1291	1302	1313	1324	1335	1346	1357	1368	1379	1390	1401	1412	1423	1434	1445	1467	1467	1478	1489	1500	1511	1522	1533
Palmeira dos Índios	57841	58466	59090	59714	60337	60960	61583	62206	62828	63450	64071	64693	65314	65934	66555	67175	67795	69033	69033	69652	70271	70889	71507	72125	72742
Paulo Jacinto	5085	5106	5127	5148	5169	5191	5212	5233	5254	5275	5296	5317	5338	5359	5380	5401	5422	5464	5464	5485	5506	5527	5548	5569	5590
Penedo	50452	50953	51453	51953	52452	52951	53451	53949	54448	54946	55444	55942	56440	56937	57434	57931	58428	59420	59420	59916	60412	60907	61402	61897	62392
Piaçabuçu	11647	11754	11861	11968	12075	12182	12289	12395	12502	12609	12715	12822	12928	13035	13141	13248	13354	13566	13566	13673	13779	13885	13991	14097	14202
Porto Real do Colégio	7111	7169	7228	7287	7346	7405	7464	7523	7581	7640	7699	7758	7816	7875	7933	7992	8050	8167	8167	8226	8284	8343	8401	8459	8518
Quebrangulo	6349	6378	6408	6438	6468	6498	6529	6559	6590	6621	6651	6682	6714	6745	6776	6808	6840	6904	6904	6936	6968	7001	7034	7066	7099
São Brás	3526	3554	3581	3609	3637	3665	3693	3720	3748	3776	3804	3831	3859	3887	3915	3942	3970	4025	4025	4053	4080	4108	4135	4163	4191
S.Sebastião	13425	13646	13867	14088	14309	14529	14750	14970	15190	15411	15631	15851	16070	16290	16510	16729	16949	17387	17387	17606	17825	18044	18263	18482	18700
Tanque d'Arca	2269	2287	2306	2325	2344	2363	2381	2400	2419	2438	2456	2475	2494	2513	2531	2550	2569	2606	2606	2625	2643	2662	2681	2699	2718
Taquarana	7019	7123	7228	7332	7437	7541	7645	7750	7854	7959	8063	8167	8272	8376	8481	8585	8690	8898	8898	9003	9107	9212	9316	9421	9525
Teotônio Vilela	40330	40995	41659	42323	42987	43651	44314	44977	45639	46301	46963	47625	48286	48947	49607	50268	50928	52246	52246	52905	53564	54222	54880	55538	56195
Traipu	9281	9389	9497	9605	9713	9821	9928	10036	10143	10251	10358	10466	10573	10681	10788	10895	11002	11216	11216	11323	11430	11537	11644	11751	11858
x 1000 hab.	528	535	542	549	555	562	569	576	582	589	596	603	609	616	623	630	636	650	650	656	663	670	677	683	690

Tabela 42 - Projeção populacional urbana dos municípios que destinam seus RSU para aterro do CIGRES.

Municípios	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036
Água Branca	5539	5611	5683	5755	5828	5900	5972	6044	6116	6188	6260	6333	6405	6477	6549
Batalha	13943	14124	14304	14485	14666	14846	15027	15208	15389	15569	15750	15931	16111	16292	16473
Belo Monte	903	904	904	905	906	906	907	908	908	909	910	910	911	911	912
Cacimbinhas	5710	5778	5846	5914	5982	6050	6117	6185	6253	6320	6388	6456	6523	6591	6658
Canapi	5524	5604	5684	5764	5844	5924	6004	6084	6164	6244	6324	6404	6483	6563	6643
Carneiros	5710	5886	6067	6254	6447	6645	6850	7061	7279	7503	7734	7973	8218	8472	8733
Dois Riachos	5270	5335	5400	5465	5530	5595	5659	5724	5789	5854	5919	5983	6048	6113	6177
Inhapi	7226	7334	7442	7550	7658	7766	7874	7981	8089	8197	8304	8412	8519	8627	8734
Jacaré dos Homens	2929	2958	2987	3016	3044	3073	3102	3130	3159	3188	3216	3245	3274	3302	3331
Jaramataia	3180	3221	3263	3304	3344	3385	3426	3467	3508	3549	3590	3631	3672	3712	3753
Major Isidoro	10587	10721	10855	10989	11122	11256	11389	11523	11656	11790	11923	12056	12189	12322	12455
Maravilha	2450	2463	2477	2491	2505	2518	2532	2546	2560	2575	2589	2603	2617	2632	2646
Mata Grande	5833	5910	5988	6067	6146	6227	6309	6392	6476	6561	6647	6734	6822	6911	7002
Monteirópolis	2825	2853	2881	2909	2936	2964	2992	3020	3047	3075	3103	3130	3158	3185	3213
Olho d'Água das Flores	15984	16202	16420	16638	16856	17074	17292	17510	17727	17945	18162	18380	18597	18814	19031
Olho d'Água do Casado	5169	5235	5302	5368	5434	5501	5567	5634	5700	5766	5832	5899	5965	6031	6097
Oliveira	3262	3308	3355	3401	3448	3494	3541	3587	3634	3680	3727	3773	3819	3866	3912
Ouro Branco	7301	7403	7505	7607	7709	7810	7912	8014	8115	8217	8318	8420	8521	8622	8724
Palestina	3037	3084	3132	3181	3230	3280	3330	3382	3434	3487	3541	3595	3651	3707	3764
Pão de Açúcar	11780	11880	11980	12080	12180	12280	12380	12480	12579	12679	12779	12878	12978	13078	13177
Pariconha	2940	2978	3016	3054	3092	3130	3168	3206	3243	3281	3319	3357	3395	3433	3471
Piranhas	9216	9403	9589	9776	9962	10149	10336	10522	10709	10896	11082	11269	11455	11642	11829
Poço das Trincheiras	2083	2110	2137	2164	2191	2218	2245	2272	2299	2326	2353	2379	2406	2433	2460
Santana do Ipanema	30352	30683	31015	31346	31678	32009	32340	32670	33001	33332	33662	33992	34322	34652	34981
São José da Tapera	12832	13034	13235	13436	13637	13839	14040	14240	14441	14642	14843	15043	15243	15444	15644
Senador Rui Palmeira	4459	4522	4584	4646	4708	4770	4832	4894	4957	5019	5081	5143	5205	5267	5329
Total CTR x mil hab.	186	189	191	194	196	199	201	204	206	209	211	214	217	219	222

Tabela 43 - Quantidade de metano gerado estimado pelo modelo IPCC (2006) na CTR
Maceió entre os anos de 2022 e 2056.

Metano Gerado								
Ano	Matéria orgânica (Ton.)	Jardim (Ton.)	Papel (Ton.)	Madeira (Ton.)	Têxtil (Ton.)	Resíduos sanitários (Ton.)	Total (ton.)	Total (m³)
2022	0	0	0	0	0	0	0	0
2023	21.445	102	791	71	318	624	23.351	32.567.810
2024	27.299	187	1.527	141	619	1.152	30.925	43.131.414
2025	29.315	260	2.214	210	904	1.600	34.504	48.122.338
2026	30.392	323	2.857	277	1.174	1.984	37.008	51.615.549
2027	31.246	377	3.461	342	1.431	2.316	39.174	54.635.343
2028	32.051	424	4.029	407	1.676	2.605	41.192	57.450.745
2029	32.852	465	4.566	470	1.910	2.859	43.122	60.142.035
2030	33.659	502	5.073	532	2.134	3.085	44.985	62.740.868
2031	34.475	535	5.556	594	2.349	3.287	46.795	65.265.160
2032	35.300	565	6.015	654	2.555	3.471	48.561	67.727.970
2033	36.135	592	6.454	714	2.754	3.641	50.290	70.139.928
2034	36.980	618	6.875	772	2.947	3.798	51.990	72.510.024
2035	37.835	642	7.279	830	3.133	3.945	53.665	74.845.962
2036	38.699	665	7.669	888	3.314	4.085	55.320	77.154.389
2037	39.573	687	8.046	945	3.490	4.219	56.959	79.441.054
2038	40.457	708	8.413	1.001	3.661	4.347	58.587	81.710.952
2039	41.351	728	8.769	1.057	3.829	4.473	60.205	83.968.429
2040	42.254	748	9.116	1.112	3.993	4.595	61.818	86.217.279
2041	10.420	612	8.249	1.058	3.667	3.762	27.768	38.727.622
2042	2.569	501	7.464	1.006	3.369	3.080	17.989	25.089.406
2043	634	410	6.753	957	3.094	2.522	14.370	20.042.170
2044	156	336	6.111	910	2.842	2.065	12.420	17.322.006
2045	39	275	5.529	866	2.610	1.690	11.010	15.354.957
2046	10	225	5.003	824	2.398	1.384	9.843	13.728.141
2047	2	184	4.527	784	2.202	1.133	8.833	12.318.784
2048	1	151	4.096	745	2.023	928	7.944	11.078.822
2049	0	124	3.706	709	1.858	760	7.157	9.981.265
2050	0	101	3.354	674	1.707	622	6.458	9.006.541
2051	0	83	3.034	642	1.567	509	5.835	8.138.772
2052	0	68	2.746	610	1.440	417	5.280	7.364.567
2053	0	56	2.484	580	1.322	341	4.784	6.672.470
2054	0	45	2.248	552	1.215	279	4.340	6.052.625
2055	0	37	2.034	525	1.116	229	3.941	5.496.517
2056	0	30	1.841	500	1.025	187	3.583	4.996.772

Fonte: Autora, 2022.

Tabela 44 - Quantidade de metano gerado estimado pelo modelo IPCC (2006) na CTR Metropolitana entre os anos de 2022 e 2056.

Ano	Metano Gerado						Total (ton.)	Total (m³)
	Matéria orgânica (Ton.)	Jardim (Ton.CH4)	Papel (Ton.)	Madeira (Ton.)	Têxtil (Ton.)	Resíduos sanitários (Ton.)		
2022	0	0	0	0	0	0	0	0
2023	14.810	44	300	31	139	272	15.595	21.750.885
2024	19.009	81	582	62	271	504	20.510	28.604.681
2025	20.607	114	849	92	398	705	22.765	31.749.878
2026	21.580	142	1.102	122	520	880	24.346	33.955.634
2027	22.416	167	1.343	152	637	1.034	25.750	35.913.512
2028	23.236	189	1.574	182	751	1.172	27.104	37.801.578
2029	24.070	209	1.795	211	861	1.296	28.444	39.670.303
2030	24.927	228	2.009	241	969	1.410	29.783	41.537.900
2031	25.808	245	2.216	270	1.074	1.515	31.128	43.413.966
2032	26.716	261	2.417	300	1.177	1.614	32.484	45.305.435
2033	27.651	276	2.613	329	1.278	1.708	33.855	47.218.137
2034	28.615	290	2.806	359	1.377	1.799	35.246	49.157.269
2035	29.607	305	2.995	388	1.476	1.887	36.658	51.127.574
2036	30.630	319	3.183	418	1.574	1.973	38.097	53.133.441
2037	31.685	332	3.368	448	1.672	2.058	39.563	55.178.984
2038	32.771	346	3.553	479	1.769	2.143	41.061	57.268.095
2039	33.892	360	3.737	510	1.866	2.228	42.593	59.404.494
2040	35.047	374	3.922	541	1.964	2.314	44.161	61.591.771
2041	36.238	388	4.107	572	2.062	2.401	45.769	63.833.421
2042	37.467	402	4.294	604	2.161	2.490	47.417	66.132.872
2043	38.734	417	4.482	636	2.260	2.580	49.110	68.493.517
2044	40.042	431	4.673	669	2.361	2.672	50.849	70.918.730
2045	41.391	447	4.866	702	2.464	2.766	52.636	73.411.891
2046	42.783	462	5.063	736	2.568	2.863	54.475	75.976.402
2047	10.550	378	4.581	701	2.358	2.344	20.912	29.166.477
2048	2.602	310	4.145	666	2.166	1.919	11.808	16.468.683
2049	642	254	3.751	634	1.990	1.571	8.840	12.329.805
2050	158	208	3.394	603	1.828	1.286	7.476	10.427.304
2051	39	170	3.071	574	1.679	1.053	6.585	9.184.224
2052	10	139	2.778	546	1.542	862	5.877	8.196.643
2053	2	114	2.514	519	1.416	706	5.272	7.352.236
2054	1	93	2.275	494	1.301	578	4.741	6.612.522
2055	0	76	2.058	470	1.195	473	4.272	5.958.853
2056	0	63	1.862	447	1.097	387	3.857	5.378.827

Fonte: Autora, 2022.

Tabela 45 - Quantidade de metano gerado estimado pelo modelo IPCC (2006) no aterro do CIGRES entre 2022 e 2056.

Ano	Metano Gerado						Total (ton.)	Total (m³)
	Comida (Ton.)	Jardim (Ton.)	Papel (Ton.)	Madeira (Ton.)	Têxtil (Ton.)	Resíduos sanitários Ton.		
2022	0	0	0	0	0	0	0	0
2023	226	4	44	0,04	4	18	297	414.192
2024	440	8	88	0,07	9	36	581	809.918
2025	643	12	131	0,11	13	53	853	1.189.213
2026	838	16	173	0,14	17	70	1.114	1.553.928
2027	1.024	20	215	0,18	21	86	1.366	1.905.743
2028	1.202	23	256	0,22	26	102	1.611	2.246.188
2029	1.375	27	298	0,26	30	118	1.847	2.576.650
2030	1.542	30	339	0,29	34	133	2.078	2.898.393
2031	1.704	34	379	0,33	38	148	2.303	3.212.567
2032	1.862	37	420	0,37	42	163	2.524	3.520.217
2033	2.016	41	460	0,41	46	177	2.741	3.822.294
2034	2.167	44	501	0,44	50	192	2.954	4.119.666
2035	2.316	47	541	0,48	54	206	3.164	4.413.121
2036	2.462	50	581	0,52	58	220	3.372	4.703.380
2037	2.607	46	622	0,56	62	234	3.572	4.981.237
2038	2.359	43	585	0,54	58	216	3.262	4.549.605
2039	2.134	40	551	0,52	55	199	2.980	4.156.447
2040	1.931	37	519	0,50	52	184	2.723	3.798.264
2041	1.748	34	489	0,48	49	170	2.489	3.471.878
2042	1.581	31	460	0,46	46	157	2.276	3.174.405
2043	1.431	29	434	0,44	43	145	2.082	2.903.227
2044	1.295	27	408	0,43	41	134	1.904	2.655.967
2045	1.171	24	385	0,41	38	123	1.743	2.430.465
2046	1.060	23	362	0,39	36	114	1.595	2.224.761
2047	959	21	341	0,38	34	105	1.461	2.037.071
2048	868	19	321	0,36	32	97	1.338	1.865.780
2049	785	18	303	0,35	30	90	1.226	1.709.416
2050	711	16	285	0,33	28	83	1.123	1.566.643
2051	643	15	268	0,32	27	76	1.030	1.436.248
2052	582	14	253	0,31	25	70	944	1.317.126
2053	526	13	238	0,30	24	65	866	1.208.274
2054	476	12	224	0,29	22	60	795	1.108.782
2055	431	11	211	0,27	21	55	730	1.017.818
2056	390	10	199	0,26	20	51	670	934.630

Fonte: Autora, 2022.

Tabela 46 – Estimativa de metano gerado nos aterros sanitários de Alagoas.

Ano	Metano Gerado (m ³ CH ₄ /dia)			
	CTR Maceió	CTR Metropolitana	CTR Agreste	Aterro CIGRES
2022	0	0	0	0
2023	89.227	52.736	3.459	870
2024	118.168	69.353	6.738	1.702
2025	131.842	76.979	9.855	2.500
2026	141.412	82.327	12.826	3.267
2027	149.686	87.074	15.666	4.008
2028	157.399	91.651	18.387	4.726
2029	164.773	96.182	21.002	5.423
2030	171.893	100.710	23.522	6.102
2031	178.809	105.259	25.956	6.765
2032	185.556	109.845	28.314	7.415
2033	192.164	114.482	30.604	8.053
2034	198.658	119.184	32.833	8.682
2035	205.057	123.961	35.009	9.302
2036	211.382	128.824	37.138	9.916
2037	217.647	133.783	39.225	10.508
2038	223.866	138.849	41.277	9.606
2039	230.050	144.028	43.296	8.783
2040	236.212	149.331	45.289	8.033
2041	106.103	154.766	47.258	7.350
2042	68.738	160.342	49.209	6.726
2043	54.910	166.065	51.143	6.157
2044	47.458	171.945	53.064	5.639
2045	42.068	177.990	54.975	5.165
2046	37.611	184.208	56.878	4.732
2047	33.750	70.715	58.563	4.338
2048	30.353	39.929	53.760	3.977
2049	27.346	29.894	49.366	3.648
2050	24.675	25.281	45.344	3.346
2051	22.298	22.267	41.662	3.071
2052	20.177	19.873	38.291	2.820
2053	18.281	17.826	35.203	2.590
2054	16.583	16.032	32.374	2.379
2055	15.059	14.447	29.782	2.186
2056	13.690	13.041	27.405	2.010

Fonte: Autora, 2022.

Tabela 47 - Potência e Energia disponíveis na CTR Maceió entre os anos de 2022 e 2056.

Ano	Q (m³ de CH4)	P(KW)	E (KWh)	E (KWh/mês)	Residências
2022	0	0	0	0	0
2023	32.567.810	6.107	42.854.560	3.571.213	27.727
2024	43.131.414	8.088	56.754.744	4.729.562	36.720
2025	48.122.338	9.024	63.322.083	5.276.840	40.969
2026	51.615.549	9.679	67.918.647	5.659.887	43.943
2027	54.635.343	10.246	71.892.262	5.991.022	46.514
2028	57.450.745	10.774	75.596.926	6.299.744	48.911
2029	60.142.035	11.278	79.138.277	6.594.856	51.202
2030	62.740.868	11.766	82.557.968	6.879.831	53.415
2031	65.265.160	12.239	85.879.574	7.156.631	55.564
2032	67.727.970	12.701	89.120.278	7.426.690	57.661
2033	70.139.928	13.153	92.294.069	7.691.172	59.714
2034	72.510.024	13.598	95.412.774	7.951.064	61.732
2035	74.845.962	14.036	98.486.533	8.207.211	63.721
2036	77.154.389	14.469	101.524.091	8.460.341	65.686
2037	79.441.054	14.898	104.533.014	8.711.085	67.633
2038	81.710.952	15.323	107.519.874	8.959.989	69.565
2039	83.968.429	15.747	110.490.388	9.207.532	71.487
2040	86.217.279	16.168	113.449.552	9.454.129	73.402
2041	38.727.622	7.263	50.959.987	4.246.666	32.971
2042	25.089.406	4.705	33.014.053	2.751.171	21.360
2043	20.042.170	3.759	26.372.616	2.197.718	17.063
2044	17.322.006	3.248	22.793.271	1.899.439	14.747
2045	15.354.957	2.880	20.204.917	1.683.743	13.073
2046	13.728.141	2.574	18.064.261	1.505.355	11.688
2047	12.318.784	2.310	16.209.750	1.350.812	10.488
2048	11.078.822	2.078	14.578.139	1.214.845	9.432
2049	9.981.265	1.872	13.133.911	1.094.493	8.498
2050	9.006.541	1.689	11.851.313	987.609	7.668
2051	8.138.772	1.526	10.709.455	892.455	6.929
2052	7.364.567	1.381	9.690.712	807.559	6.270
2053	6.672.470	1.251	8.780.012	731.668	5.681
2054	6.052.625	1.135	7.964.384	663.699	5.153
2055	5.496.517	1.031	7.232.626	602.719	4.679
2056	4.996.772	937	6.575.034	547.920	4.254

Fonte: Autora, 2022.

Tabela 48 – Potência e Energia disponíveis na CTR Metropolitana entre os anos de 2022 e 2056.

Ano	Q (m³ de CH₄)	P(KW)	E (KWh)	E (KWh/mês)	Residências
2022	0	0	0	0	0
2023	21.750.885	4.079	28.621.040	2.385.087	18.518
2024	28.604.681	5.364	37.639.651	3.136.638	24.353
2025	31.749.878	5.954	41.778.278	3.481.523	27.030
2026	33.955.634	6.368	44.680.736	3.723.395	28.908
2027	35.913.512	6.735	47.257.022	3.938.085	30.575
2028	37.801.578	7.089	49.741.445	4.145.120	32.183
2029	39.670.303	7.439	52.200.419	4.350.035	33.774
2030	41.537.900	7.790	54.657.908	4.554.826	35.364
2031	43.413.966	8.141	57.126.542	4.760.545	36.961
2032	45.305.435	8.496	59.615.443	4.967.954	38.571
2033	47.218.137	8.855	62.132.285	5.177.690	40.199
2034	49.157.269	9.218	64.683.904	5.390.325	41.850
2035	51.127.574	9.588	67.276.541	5.606.378	43.528
2036	53.133.441	9.964	69.915.975	5.826.331	45.235
2037	55.178.984	10.348	72.607.615	6.050.635	46.977
2038	57.268.095	10.740	75.356.585	6.279.715	48.756
2039	59.404.494	11.140	78.167.779	6.513.982	50.574
2040	61.591.771	11.550	81.045.922	6.753.827	52.437
2041	63.833.421	11.971	83.995.610	6.999.634	54.345
2042	66.132.872	12.402	87.021.359	7.251.780	56.303
2043	68.493.517	12.845	90.127.628	7.510.636	58.312
2044	70.918.730	13.299	93.318.860	7.776.572	60.377
2045	73.411.891	13.767	96.599.502	8.049.958	62.500
2046	75.976.402	14.248	99.974.030	8.331.169	64.683
2047	29.166.477	5.470	38.378.894	3.198.241	24.831
2048	16.468.683	3.088	21.670.421	1.805.868	14.021
2049	12.329.805	2.312	16.224.252	1.352.021	10.497
2050	10.427.304	1.955	13.720.834	1.143.403	8.877
2051	9.184.224	1.722	12.085.119	1.007.093	7.819
2052	8.196.643	1.537	10.785.605	898.800	6.978
2053	7.352.236	1.379	9.674.486	806.207	6.259
2054	6.612.522	1.240	8.701.129	725.094	5.630
2055	5.958.853	1.117	7.840.994	653.416	5.073
2056	5.378.827	1.009	7.077.763	589.814	4.579

Fonte: Autora, 2022.

Tabela 49 - Potência e Energia disponíveis na CTR Agreste entre os anos de 2022 e 2056.

Ano	Q (m³ de CH₄)	P(KW)	E (KWh)	E (KWh/mês)	Residências
2022	0	0	0	0	0
2023	1.728.470	324	2.274.418	189.535	1.472
2024	3.366.470	631	4.429.792	369.149	2.866
2025	4.922.821	923	6.477.725	539.810	4.191
2026	6.405.552	1.201	8.428.787	702.399	5.453
2027	7.821.977	1.467	10.292.598	857.717	6.659
2028	9.178.756	1.721	12.077.925	1.006.494	7.814
2029	10.481.958	1.966	13.792.750	1.149.396	8.924
2030	11.737.110	2.201	15.444.350	1.287.029	9.992
2031	12.949.251	2.428	17.039.353	1.419.946	11.024
2032	14.122.971	2.648	18.583.801	1.548.650	12.024
2033	15.262.457	2.862	20.083.201	1.673.600	12.994
2034	16.371.525	3.070	21.542.575	1.795.215	13.938
2035	17.453.653	3.273	22.966.500	1.913.875	14.859
2036	18.512.015	3.472	24.359.152	2.029.929	15.760
2037	19.549.507	3.666	25.724.342	2.143.695	16.644
2038	20.568.769	3.857	27.065.544	2.255.462	17.511
2039	21.572.211	4.045	28.385.930	2.365.494	18.366
2040	22.562.034	4.231	29.688.395	2.474.033	19.208
2041	23.540.245	4.415	30.975.581	2.581.298	20.041
2042	24.508.680	4.596	32.249.901	2.687.492	20.866
2043	25.469.011	4.776	33.513.559	2.792.797	21.683
2044	26.422.769	4.955	34.768.568	2.897.381	22.495
2045	27.371.353	5.133	36.016.768	3.001.397	23.303
2046	28.316.038	5.310	37.259.838	3.104.986	24.107
2047	29.129.078	5.463	38.329.682	3.194.140	24.799
2048	26.724.085	5.012	35.165.057	2.930.421	22.752
2049	24.524.539	4.599	32.270.770	2.689.231	20.879
2050	22.512.414	4.222	29.623.102	2.468.592	19.166
2051	20.671.299	3.876	27.200.459	2.266.705	17.599
2052	18.986.249	3.561	24.983.176	2.081.931	16.164
2053	17.443.655	3.271	22.953.344	1.912.779	14.851
2054	16.031.120	3.006	21.094.651	1.757.888	13.648
2055	14.737.349	2.764	19.392.234	1.616.020	12.547
2056	13.552.052	2.541	17.832.553	1.486.046	11.538

Fonte: Autora, 2022.

Tabela 50 - Potência e Energia disponíveis no aterro do CIGRES entre os anos de 2022 e 2056.

Ano	Q (m³ de CH4)	P(KW)	E (KWh)	E (KWh/mês)	Residências
2022	0	0	0	0	0
2023	414.192	78	545.017	45.418	353
2024	809.918	152	1.065.735	88.811	690
2025	1.189.213	223	1.564.833	130.403	1.012
2026	1.553.928	291	2.044.746	170.395	1.323
2027	1.905.743	357	2.507.684	208.974	1.622
2028	2.246.188	421	2.955.660	246.305	1.912
2029	2.576.650	483	3.390.501	282.542	2.194
2030	2.898.393	544	3.813.869	317.822	2.468
2031	3.212.567	602	4.227.277	352.273	2.735
2032	3.520.217	660	4.632.099	386.008	2.997
2033	3.822.294	717	5.029.590	419.132	3.254
2034	4.119.666	773	5.420.888	451.741	3.507
2035	4.413.121	828	5.807.033	483.919	3.757
2036	4.703.380	882	6.188.972	515.748	4.004
2037	4.981.237	934	6.554.592	546.216	4.241
2038	4.549.605	853	5.986.627	498.886	3.873
2039	4.156.447	779	5.469.288	455.774	3.539
2040	3.798.264	712	4.997.969	416.497	3.234
2041	3.471.878	651	4.568.492	380.708	2.956
2042	3.174.405	595	4.177.061	348.088	2.703
2043	2.903.227	544	3.820.230	318.353	2.472
2044	2.655.967	498	3.494.871	291.239	2.261
2045	2.430.465	456	3.198.143	266.512	2.069
2046	2.224.761	417	2.927.465	243.955	1.894
2047	2.037.071	382	2.680.493	223.374	1.734
2048	1.865.780	350	2.455.098	204.592	1.588
2049	1.709.416	321	2.249.346	187.445	1.455
2050	1.566.643	294	2.061.477	171.790	1.334
2051	1.436.248	269	1.889.895	157.491	1.223
2052	1.317.126	247	1.733.148	144.429	1.121
2053	1.208.274	227	1.589.916	132.493	1.029
2054	1.108.782	208	1.458.998	121.583	944
2055	1.017.818	191	1.339.303	111.609	867
2056	934.630	175	1.229.839	102.487	796

Fonte: Autora, 2022.

Tabela 51 - Estimativa da Energia Elétrica disponível a partir do metano estimado nos aterros sanitários de Alagoas.

Ano	Energia elétrica disponível (MWh/mês)			
	CTR Maceió	CTR Metropolitana	CTR Agreste	Aterro do CIGRES
2022	0	0	0	0
2023	3.571	2.385	190	45
2024	4.730	3.137	369	89
2025	5.277	3.482	540	130
2026	5.660	3.723	702	170
2027	5.991	3.938	858	209
2028	6.300	4.145	1.006	246
2029	6.595	4.350	1.149	283
2030	6.880	4.555	1.287	318
2031	7.157	4.761	1.420	352
2032	7.427	4.968	1.549	386
2033	7.691	5.178	1.674	419
2034	7.951	5.390	1.795	452
2035	8.207	5.606	1.914	484
2036	8.460	5.826	2.030	516
2037	8.711	6.051	2.144	546
2038	8.960	6.280	2.255	499
2039	9.208	6.514	2.365	456
2040	9.454	6.754	2.474	416
2041	4.247	7.000	2.581	381
2042	2.751	7.252	2.687	348
2043	2.198	7.511	2.793	318
2044	1.899	7.777	2.897	291
2045	1.684	8.050	3.001	267
2046	1.505	8.331	3.105	244
2047	1.351	3.198	3.194	223
2048	1.215	1.806	2.930	205
2049	1.094	1.352	2.689	187
2050	988	1.143	2.469	172
2051	892	1.007	2.267	157
2052	808	899	2.082	144
2053	732	806	1.913	132
2054	664	725	1.758	122
2055	603	653	1.616	112
2056	548	590	1.486	102

Fonte: Autora, 2022.

DIAGNÓSTICO

CTR Maceió

Tipo de solo

A CTR Maceió está inserida na região de ocorrência do Latossolo Amarelo Distrocoeso, que perfaz 275,88 km², ou seja, 54,92 % da área total do município de Maceió. Os demais solos que ocorrem nas várzeas, mangues e baixada litorânea do município são do tipo do Argissolo Vermelho-Amarelo Ta Distrófico, Gleissolo Háptico Ta Distrófico, Gleissolo Tiomórfico Órtico e Neossolo Quartzarênico Órtico, que perfazem 142,44 km², ou seja, 28 % da área total do município. A Figura 18 apresenta o mapa de solos do município de Maceió e a seguir uma descrição de cada tipo de solo citado:

Argissolo Vermelho-Amarelo Ta Distrófico: Do latim argilla, conotando solos com processo de acumulação de argila. Grupamento de solos com horizonte B textural, com argila de atividade baixa, ou atividade alta desde que conjugada com saturação por bases baixa ou caráter alumínico. Solos de cor vermelho-amarela. Presença de atividade da argila alta e saturação por bases menor que 50%.

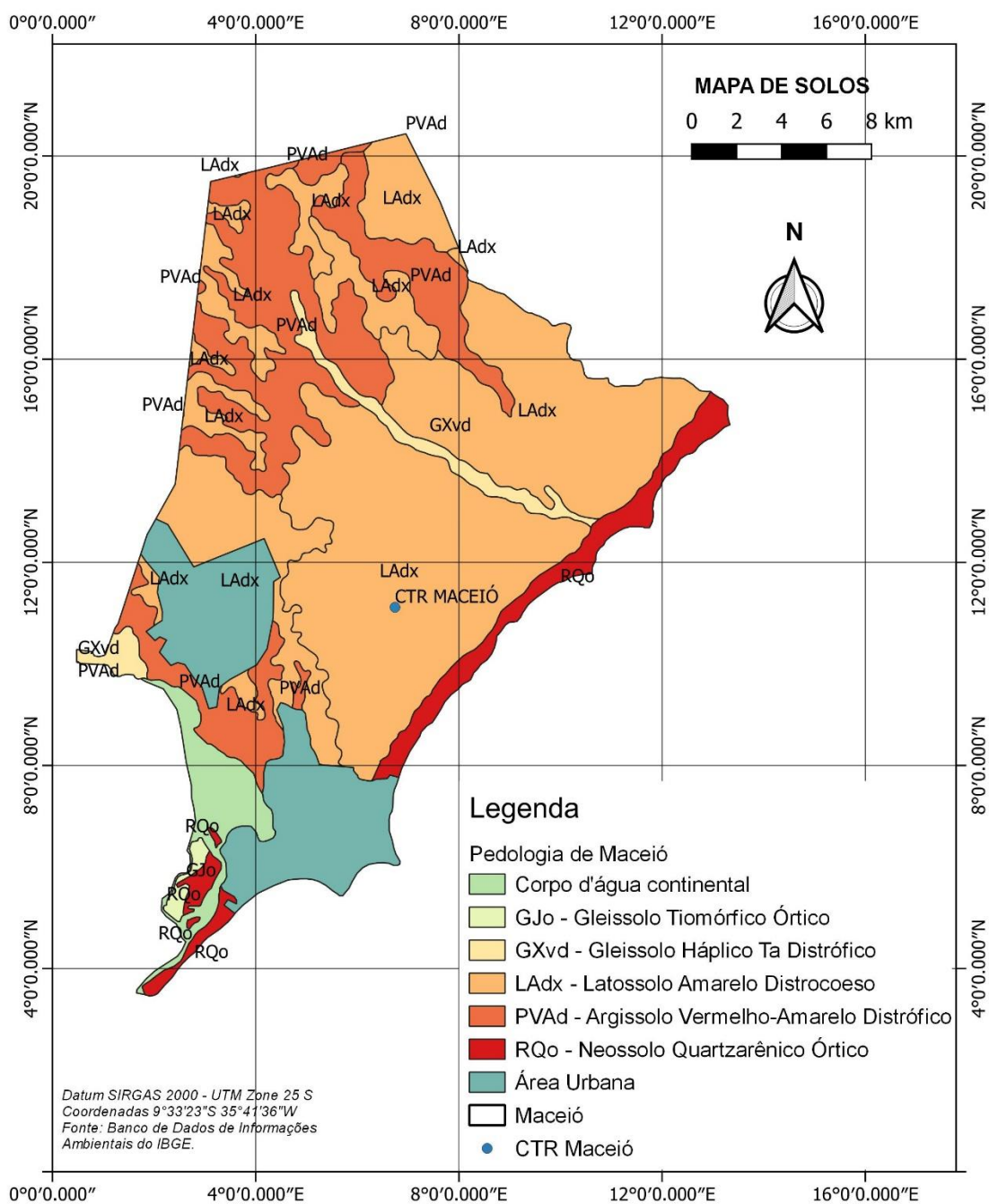


Figura 18 - Mapa de solos do município de Maceió.

Fonte: Autora, 2022, adaptado de IBGE.

Latossolo Amarelo Distrocoeso: Do latim lat, material altamente alterado (tijolo); conotativo de elevado conteúdo de sesquióxidos. Grupamento de solos com horizonte B latossólico. Solos de cor amarela. Apresentam saturação por bases menor que 50% + caráter coeso em um ou mais horizontes dentro dos primeiros 150 cm.

Neossolo Quartzarênico Órtico: Do grego néos, novo, moderno; conotativo de solos jovens, em início de formação. Grupamento de solos pouco evoluídos, sem horizonte B diagnóstico definido. Solos de textura arenosa desprovida de minerais alteráveis. Solos não distinguidos nas classes precedentes.

Gleissolo Háptico Ta Distrófico: Do russo gley, massa de solo pastosa; conotativo de excesso de água. Grupamento de solos com expressiva gleização. Solos não distinguidos nas classes precedentes. Presença de atividade da argila alta e saturação por bases menor que 50%.

Gleissolo Tiomórfico Órtico: Do russo gley, massa de solo pastosa; conotativo de excesso de água. Grupamento de solos com expressiva gleização. Solos com horizonte sulfúrico e/ou materiais sulfídricos. Solos não distinguidos nas classes precedentes.

Método de execução e Classificação das células de recebimento dos resíduos

A CTR é dotada das seguintes unidades de recebimento:

- Células de recepção de resíduos Classe IIA e
- Célula de recepção de resíduos Classe IIB conforme classificação da ABNT 10.004
- Célula de recepção de animais mortos
- Célula de recepção de resíduos vegetais oriundos das podas urbanas.
- Usina de reciclagem para recebimento de Resíduos da Construção Civil (RCC), onde nesta unidade há instalado um britador para beneficiamento de RCC.

A previsão é de operação de 4 células de resíduos classe II A, executadas predominantemente pelo método da Rampa em áreas de meia encosta modificada por terraplanagem onde os resíduos são dispostos, formando células. Atualmente duas células já foram encerradas, a terceira está em operação e a quarta ainda vai ser preparada para recebimento futuro de resíduos.

Drenagem de águas pluviais

As águas pluviais que escoam sobre o maciço são coletas por canaletas nos taludes e valetas de seção trapezoidal que contornam todo o maciço, e são drenadas para a os talwegues naturais do terreno, por dispositivos que evitem problemas de estabilidade e erosão do solo.

Impermeabilização de base e cobertura

As bases das células são impermeabilizadas com manta PEAD, sobre a qual foi colocada uma proteção mecânica em argila compactada, e sobre a camada de argila foi implantado os drenos de lixiviados e início dos drenos de gás.

A cobertura diária dos resíduos compactados é feita com o solo da região, do tipo do Latossolo Amarelo Distrocoeso descrito anteriormente. Depois de encerradas as células 1 e 2 receberam impermeabilização com solo compactado e plantiu de gramíneas. Posteriormente a célula 1 foi impermeabilizada com manta de PEAD com 2 mm de espessura.

Drenagem e tratamento de lixiviados

O tratamento do lixiviado bruto proveniente da célula de recebimento de resíduos Classe IIA da CTR atualmente é composta por um pré-tratamento biológico por Lagoa anaeróbia, duas lagoas de pré-aeração e uma lagoa aerada; seguido de sistemas físico-químico para pós-tratamento, por coagulação/floculação, seguido de decantação; sistema de adsorção por carvão ativado e zeólitas, polimento por nanofiltração e osmose reversa, seguido de filtração em zeólitas. O corpo receptor é o Riacho da Alegria, um dos afluentes do Riacho Doce, que deságua na praia de mesmo nome. O fluxograma do sistema de tratamento está esquematizado nas Figura 9.

Em períodos chuvosos, quando a capacidade do sistema de pós-tratamento é excedida, parte do lixiviado pré-tratado é encaminhado a unidades externas de tratamento e destinação final como a ETE do emissário submarino de Maceió e ETE de SUAPE/PE.

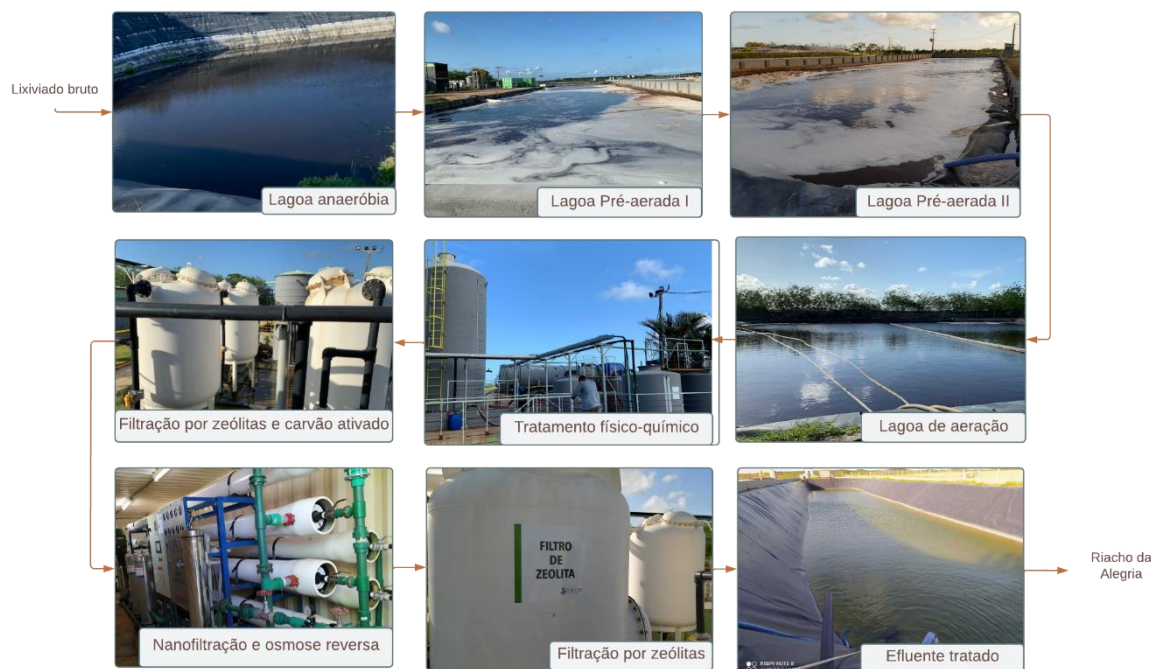


Figura 19 – Fluxograma da Estação de Tratamento do Lixiviado – ETL de Maceió.

Fonte: Autora, 2022.

CTR Metropolitana

Pedologia

A CTR Metropolitana está inserida na região de ocorrência do Latossolo Amarelo Distrocoeso, que perfaz 116,92 km², ou seja, 46,90 % da área total do município de Pilar. Os demais solos que ocorrem no município são os do tipo do Gleissolo Háptico Ta Distrófico e do Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, que perfazem 115,67 km², ou seja, 46,38 % da área total do município. A apresenta Figura 20 o mapa de solos do município de Pilar e a seguir uma descrição de cada tipo de solo citado:

Gleissolo Háptico Ta Distrófico: Do russo gley, massa de solo pastosa; conotativo de excesso de água. Grupamento de solos com expressiva gleização. Solos não distinguidos nas classes precedentes. Presença de atividade da argila alta e saturação por bases menor que 50%.

Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico: Do latim lat, material altamente alterado (tijolo); conotativo de elevado conteúdo de sesquióxidos. Grupamento de solos com horizonte B latossólico. Solos de cor vermelho-amarela. Apresentam saturação por bases menor que 50%.

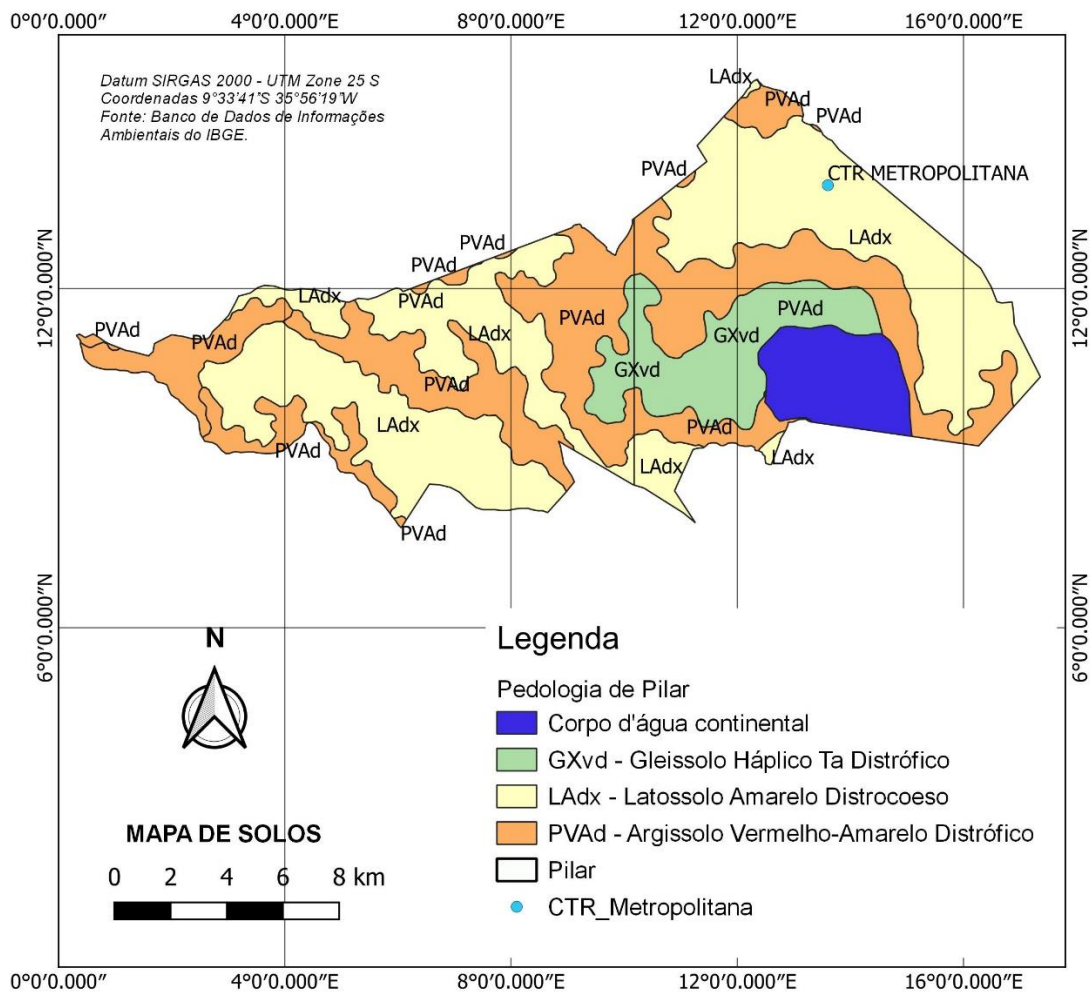


Figura 20 - Mapa de solos do município de Pilar.

Fonte: Autora, 2022, adaptado de IBGE.

Método de execução e Classificação das células de recebimento dos resíduos

A CTR possui, atualmente, as seguintes unidades de tratamento (Figura 21):

- Célula para recebimento de Resíduos Classe IIA, para os resíduos domiciliares provenientes dos municípios;
- Célula para recebimento de Resíduos Perigosos (Classe I), impermeabilizada e coberta;
- Usina de reciclagem para recebimento de Resíduos da Construção Civil (RCC) Classe A, onde nesta unidade há instalado um britador para beneficiamento de RCC;

- Autoclave para tratamento de Resíduos de Serviço de Saúde (RSS), mas ainda não está em operação. Cabe destacar, que a CTR Metropolitana é a única atualmente que possui autorização para recebimento de resíduos perigosos (Classe I).

O método de execução do aterro classe IIA é uma combinação de trincheira com superfície, subdividida em fases, totalizando oito fases. A primeira fase teve início em 2015 e atualmente a operação está na fase 3, com área total de cerca de 36,4 hectares da célula classe IIA.



Figura 21 – Unidades da CTR Metropolitana.

Fonte: Dados originais da pesquisa, 2022.

Drenagem de águas pluviais

O maciço é contornado por valetas com seção trapezoidal que conduz a água pluvial que escoia superficialmente pelo maciço, conduzindo a drenagem natural do terreno, sem que cause problemas de estabilidade ao aterro ou erosão do terreno.

Impermeabilização de base e cobertura dos resíduos

A base da célula é impermeabilizada com camada de solo argiloso compactado e permeabilidade não superior a 1×10^{-7} cm/s, geomembrana de PEAD de 2 mm de espessura, geotêxtil de proteção da geomembrana com resistência a tração - $r_t > 31$ kN/m e camada de solo de proteção com espessura mínima de 30 centímetros.

A cobertura diária dos resíduos é feita com o solo da região do tipo argila areno siltosa avermelhada. A célula também possui cobertura com manta PEAD para evitar aumento do lixiviado e emissões fugitivas de biogás.

Drenagem e tratamento de lixiviados

O tratamento do lixiviado bruto proveniente da célula de recebimento de resíduos Classe IIA da CTR é composto por duas lagoas anaeróbias em série, onde sofre um processo biológico, um filtro tipo Bag, onde sofre uma pré-filtrarção e sistema modular de separação por membrana instalado em um contêiner (Figura 22). Tal sistema possui um pré-tratamento integrado composto de filtração em areia e posteriormente filtração em filtros tipo cartucho (14 filtros), seguido de filtração por osmose reversa e lavador de gases. O processo é automatizado e executado em 3 fases, com capacidade nominal de 200 m³/dia de lixiviado de forma a atender as legislações ambientais vigentes (Figura 23). Por fim, o efluente tratado (permeado, em torno de 150 m³/dia) segue para uma lagoa com aeração onde há a criação de peixes e reuso na própria CTR. A fração de concentrado é disposto em uma lagoa de contenção, de onde é recirculada para o maciço, quando é necessário, não apresentando corpo de água receptor dispor os rejeitos.

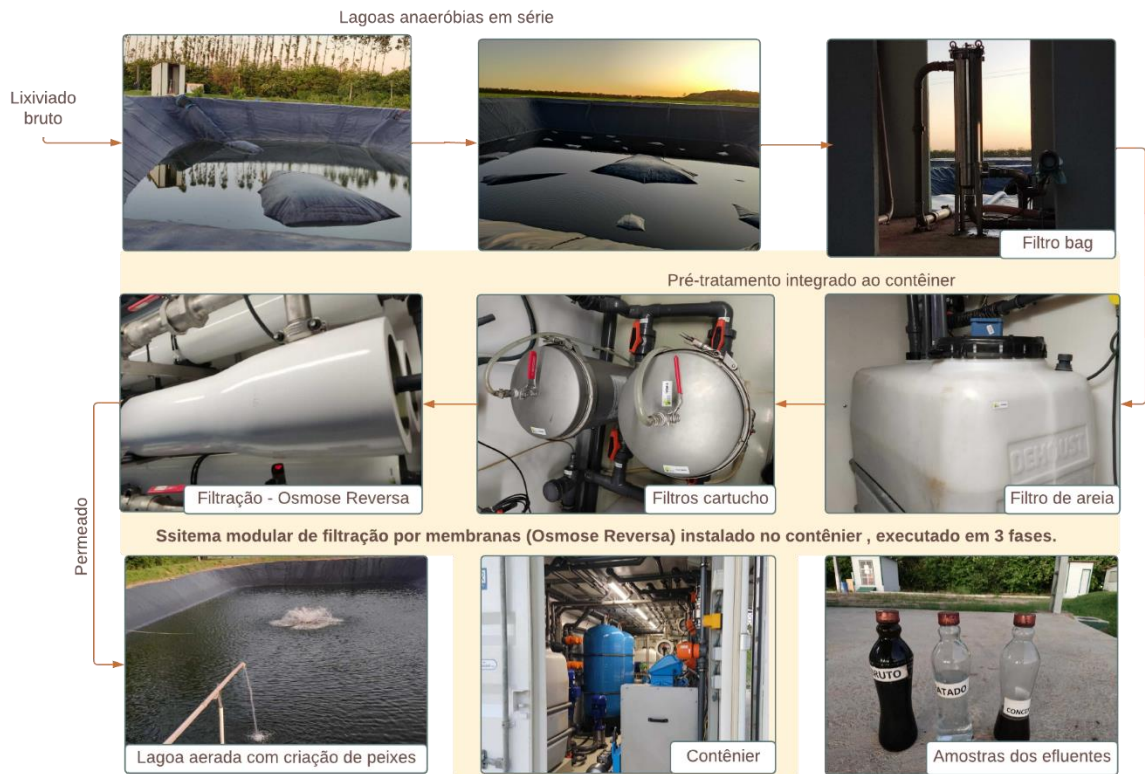


Figura 22 – Fluxograma 1: Sistema de tratamento de lixiviado bruto da CTR Metropolitana.

Fonte: Autora, 2022.

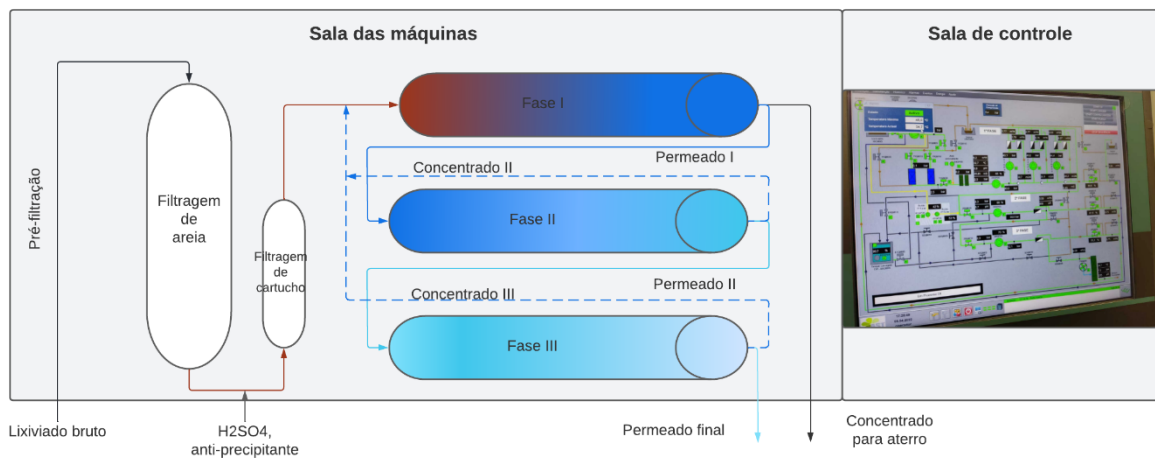


Figura 23 - Fluxograma 2: Sistema de tratamento por osmose reversa da CTR Metropolitana.

Fonte: Autora, 2022.

Município	IDHM 2010	IDHM Renda 2010	Renda per ca- pita 2010	PIB per capita, a preços correntes (R\$ 1,00) 2019
Anadia	0,57	0,55	239,53	11525,51
Atalaia	0,56	0,55	237,33	19852,96
Barra de Santo Antônio	0,56	0,55	247,81	11611,94
Barra de São Miguel	0,62	0,64	422,78	25843,90
Boca da Mata	0,60	0,56	260,20	12993,09
Branquinha	0,51	0,53	221,93	48270,80
Cajueiro	0,56	0,54	232,85	8472,45
Campestre	0,56	0,55	245,43	9059,85
Capela	0,57	0,55	251,36	11234,51
Chã Preta	0,58	0,54	226,60	15661,80
Colônia Leopoldina	0,52	0,55	242,28	12213,30
Coqueiro Seco	0,63	0,59	315,85	12900,57
Coruripe	0,63	0,59	315,85	24676,96
Feliz Deserto	0,57	0,55	245,49	21757,47
Flexeiras	0,53	0,53	213,44	16786,38
Ibateguara	0,52	0,52	199,68	9058,44
Jequiá da Praia	0,56	0,52	199,39	21929,42
Joaquim Gomes	0,53	0,51	190,23	14316,45
Jundiá	0,56	0,57	282,87	11515,73
Mar Vermelho	0,58	0,54	229,81	11309,98
Marechal Deodoro	0,64	0,64	431,43	46413,15
Matriz de Camaragibe	0,58	0,54	231,82	12457,33
Messias	0,57	0,56	256,45	9940,22
Murici	0,53	0,54	233,16	14341,13
Novo Lino	0,52	0,55	239,75	12511,38
Paripueira	0,61	0,60	324,93	12964,92
Passo de Camaragibe	0,53	0,51	194,73	14290,80
Pilar	0,61	0,58	292,06	15458,25
Pindoba	0,57	0,58	292,88	13077,82
Porto Calvo	0,59	0,56	257,64	12963,63
Porto de Pedras	0,54	0,54	233,72	27492,88
Rio Largo	0,64	0,62	369,11	15545,65
Roteiro	0,51	0,52	208,84	20744,84
Santa Luzia do Norte	0,60	0,58	295,95	23932,78
Santana do Mundaú	0,52	0,51	194,87	90473,00
São José da Laje	0,57	0,57	284,02	15241,67
São Luís do Quitunde	0,54	0,55	244,85	18080,59
São Miguel dos Campos	0,62	0,61	360,82	18340,95
São Miguel dos Milagres	0,59	0,55	237,78	20724,13
Satuba	0,66	0,62	377,42	13582,37
União dos Palmares	0,59	0,59	313,92	16059,30
Viçosa	0,59	0,55	251,25	16342,68
Média ponderada da CTR	0,58	0,57	284,56	20580,91

CTR Agreste

Pedologia

A CTR Agreste está inserida na região de ocorrência do Latossolo Amarelo Distrófico, que perfaz 30,53 km², ou seja, 11,09 % da área total do município de Craíbas. No entanto, observa-se no município a predominância do Planossolo Háplico Eutrófico que representa 87,11 % da área total, ou, 239,76 km². Há também a ocorrência do Luvisso Crômico Órtico que representa menos de 2 % da área total do município de Craíbas. A Figura 24 apresenta o mapa de solos do município de Craíbas e a seguir uma descrição de cada tipo de solo citado:

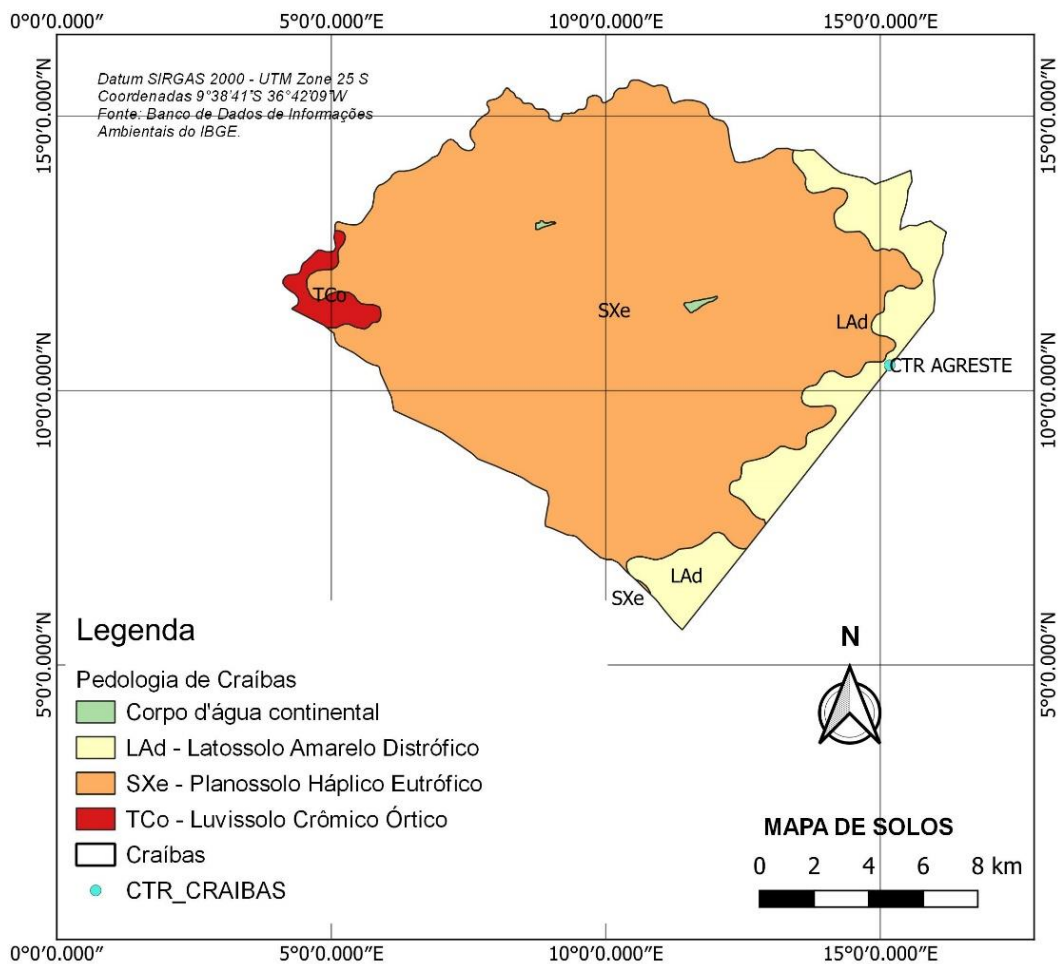


Figura 24 - Mapa de solos do município de Craíbas.

Fonte: Autora, 2022, adaptado de IBGE.

Latossolo Amarelo Distrófico: Do latim lat, material altamente alterado (tijolo);

conotativo de elevado conteúdo de sesquióxidos. Grupamento de solos com horizonte B latossólico. Solos de cor amarela. Apresentam saturação por bases menor que 50 %.

Planossolo Háplico Eutrófico: Do latim planus, plano, horizontal; conotativo de solos desenvolvidos com encharcamento superficial estacional. Grupamento de solos com horizonte B plânico, subjacente a qualquer tipo de horizonte A, podendo ou não apresentar horizonte E (álbico ou não). Solos não distinguidos nas classes precedentes. Apresentam saturação por bases maior que 50%.

Luvisso Crômico Órtico: Do latim luere, lavar; conotativo de acumulação de argila. Grupamento de solos com horizonte B textural, com argila de atividade alta e saturação por bases alta. Solos de caráter crômico. Solos não distinguidos nas classes precedentes.

Método de execução e Classificação das células de recebimento dos resíduos

A CTR possui, atualmente, as seguintes unidades de recebimento (Figura 26Figura 26 – Unidades da CTR Agreste.):

- Armazenamento temporário de resíduos Classe I.
- Célula de Resíduos Classe IIA, para os resíduos domiciliares provenientes dos municípios;
- Célula para recebimento de Resíduos Classe IIB;

O método de execução do aterro classe IIA é uma combinação de trincheira com superfície, subdividida em fases, totalizando nove fases. A primeira fase teve início em 2016 e atualmente a operação está na fase 3, com área total de cerca de 23 hectares da célula classe II. A Tabela 52 apresenta as áreas de ocupação da CTR e a Figura 25 ilustra uma apresentação esquemática do projeto da CTR.

Tabela 52 - Aproveitamento e representatividade da ocupação do terreno.

	ÁREA (m ²)	%
Terreno	813.372,16	100
Aterro Classe II	231.260,79	28,43
Unidades Auxiliares	26.878,57	3,30
Área destinada ao Tratamento de lixiviado	27.317,26	3,36
Área Livre	523.439,23	64,90

Fonte: Santana, 2021.

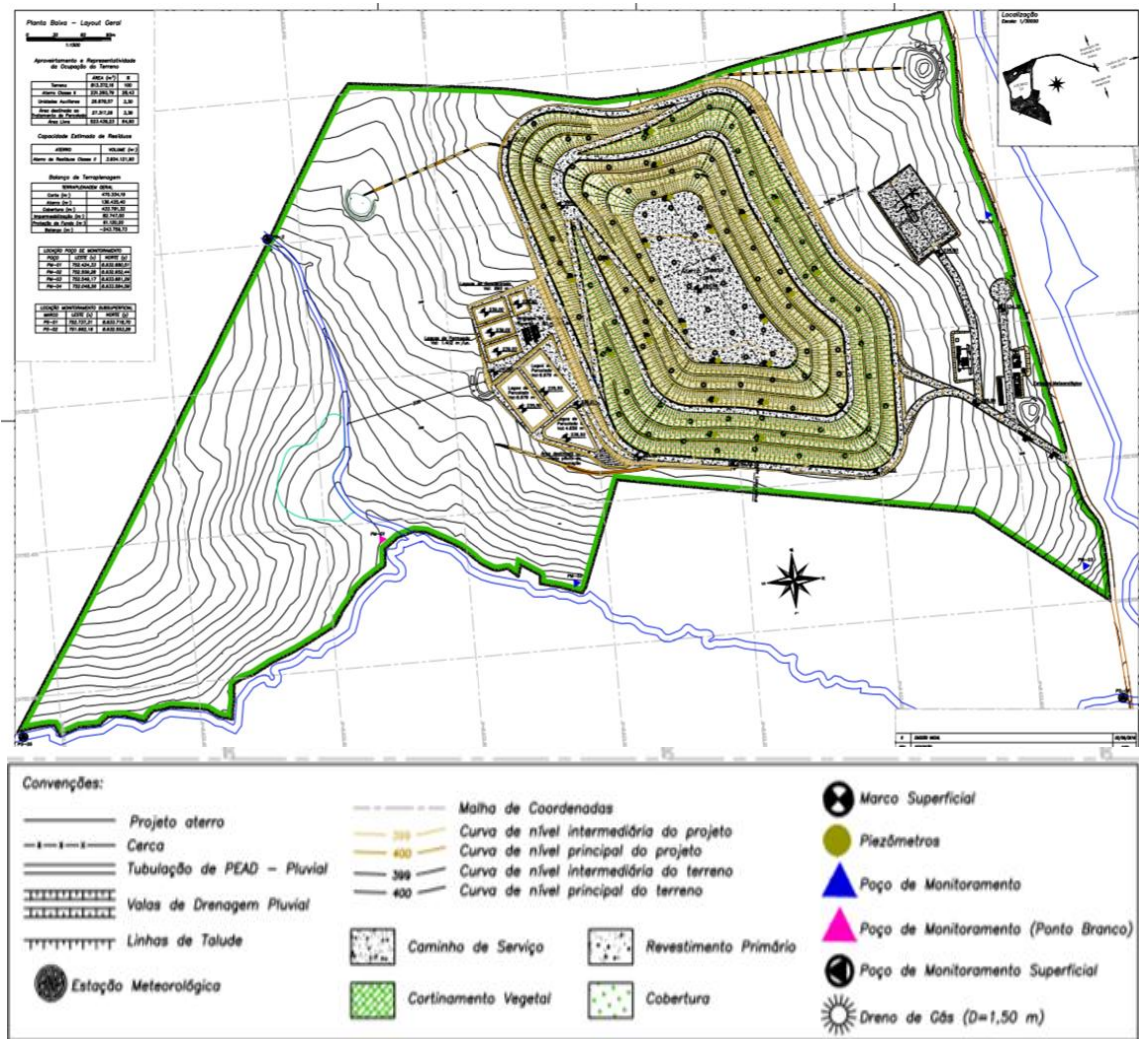


Figura 25 – Projeto da CTR Agreste.

Fonte: Alagoas Ambiental, 2020.



Figura 26 – Unidades da CTR Agreste.

Fonte: Autora, 2022.

Drenagem de águas pluviais

O maciço é contornado por valetas com seção trapezoidal que conduz a água pluvial que escoar superficialmente pelo maciço, conduzindo a drenagem natural do terreno, sem que cause problemas de estabilidade ao aterro ou erosão do terreno.

Impermeabilização de base e cobertura.

A base da célula é impermeabilizada com camada de solo argiloso compactado e permeabilidade não superior a 1×10^{-7} cm/s, geomembrana de PEAD de 2 mm de espessura, geotêxtil de proteção da geomembrana com resistência a tração > 31 kN/m e camada de solo de proteção com espessura mínima de 30 centímetros. A cobertura diária é feita com o solo da região do tipo argila pouco arenosa, amarelada e avermelhada, dura. A célula também possui cobertura com manta PEAD para evitar aumento de volume de lixiviado e emissões fugitivas de biogás. O recalque do maciço do aterro é monitorado mensalmente por meio da topografia.

Drenagem e tratamento de lixiviados

O tratamento do lixiviado bruto proveniente da célula de recebimento de resíduos Classe IIA da CTR Agreste é bem similar ao da CTR Metropolitana, tendo em vista que ambas as CTRs são operadas pela mesma empresa e fazem uso da mesma tecnologia de tratamento. Composto por duas lagoas anaeróbias em série, onde sofre um processo biológico, um filtro tipo Bag, onde sofre uma pré-filtração e sistema modular de separação por membrana instalado em um contêiner.

Tal sistema possui um pré-tratamento integrado composto de filtração em areia e posteriormente filtração em filtros tipo cartucho (14 filtros), seguido de filtração por osmose reversa e lavador de gases (Figura 27). O processo é automatizado e executado em 3 fases, com capacidade nominal de 130 m³/dia de lixiviado de forma a atender as legislações ambientais vigentes. Por fim, o efluente tratado segue para uma lagoa de permeado e utilizado como água de reuso na própria área da CTR. A fração de concentrado é disposto em uma lagoa de contenção, de onde é recirculada para o maciço, quando é necessário, não apresentando corpo de água receptor dispor os rejeitos.

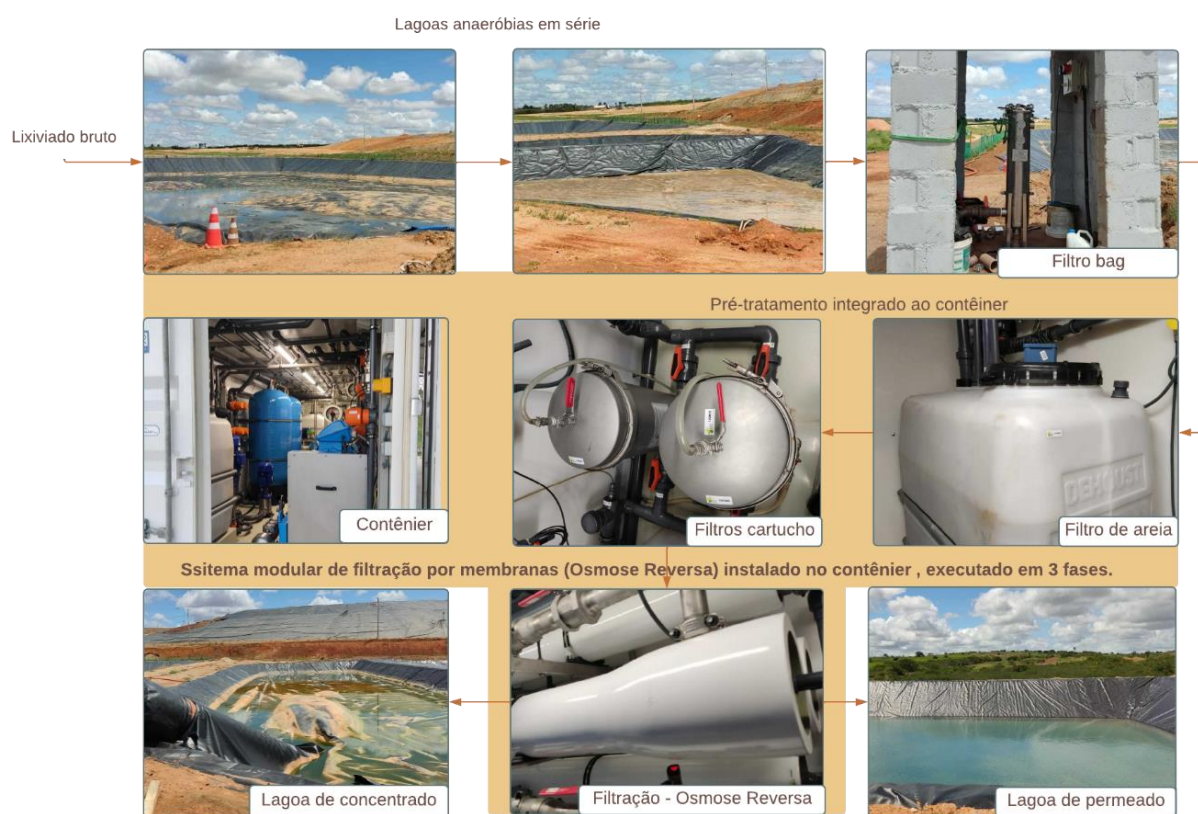


Figura 27 - Sistema de tratamento de lixiviado bruto da CTR Agreste.

Fonte: Autora, 2022.

Monitoramento do lixiviado e corpo de água receptor

O lixiviado é monitorado diariamente pelo próprio sistema de tratamento, que faz o controle em linha do lixiviado que entra e sai do sistema de osmose reversa. Anualmente é realizado coleta e análise das águas superficiais e subterrâneas.

Monitoramento do biogás gerado

O monitoramento dos gases é feito apenas pelo acompanhamento dos drenos se estão acesos ou não.

Município	IDHM 2010	IDHM Renda 2010	Renda per ca- pita 2010	PIB <i>per capita</i>, a preços correntes (R\$ 1,00) 2019
Arapiraca	0,649	0,64	423,28	21468,19
Belém	0,593	0,59	309,5	24489,06
Campo Alegre	0,570	0,53	217,72	8940,84
Campo Grande	0,524	0,50	181,54	9793,23
Coité do Nóia	0,533	0,52	203,15	12296,76
Craíbas	0,525	0,52	199,54	10322,9
Estrela de Alagoas	0,534	0,52	196,92	6459,43
Feira Grande	0,533	0,51	193,07	14876,1
Girau do Ponciano	0,536	0,50	177,55	9301,79
Igaci	0,564	0,55	241,17	8585,4
Igreja Nova	0,568	0,56	254,34	15788,47
Junqueiro	0,575	0,59	306,96	13374,67
Lagoa da Canoa	0,552	0,54	231,56	11749,95
Limoeiro de Anadia	0,580	0,58	285,98	17834,29
Maribondo	0,597	0,58	297,05	11725,97
Minador do Negrão	0,563	0,54	231,37	10978,56
Olho d'Água Grande	0,503	0,47	151,62	9854,21
Palmeira dos Índios	0,638	0,63	391,37	12934,16
Paulo Jacinto	0,589	0,55	247,2	10264,08
Penedo	0,630	0,60	339,15	12505,56
Piaçabuçu	0,572	0,54	227,65	17458,15
Porto Real do Colégio	0,551	0,51	195,26	10088,72
Quebrangulo	0,559	0,54	224,78	12314,86
São Brás	0,572	0,53	220,92	13112,57
São Sebastião	0,549	0,54	225,84	16515,04
Tanque d'Arca	0,555	0,53	217,85	9730,38
Taquarana	0,541	0,53	215,16	15653,32
Teotônio Vilela	0,564	0,55	244,39	11452,33
Traipu	0,532	0,50	178,79	7246,99
Média ponderada da CTR	0,591	0,573	297,63	14785,68

Aterro CIGRES

Pedologia

O aterro do CIGRES está inserido na região de ocorrência do Neossolo Litólico Eutrófico, que perfaz 37,36 Km², ou seja, 19,43 % da área total do município de Olho D'água das Flores. No entanto, observa-se no município a predominância do Neossolo Regolítico Eutrófico que representa 64,25 % da área total, ou, 123,55 Km². Os demais solos são do tipo Planossolo Háplico Eutrófico e Luvisolo Crômico Órtico representa 16,32 % da área total do

município de Olho D'água das Flores. A Figura 28 apresenta o mapa de solos do município de Olho D'água das Flores e a seguir uma descrição de cada tipo de solo citado.

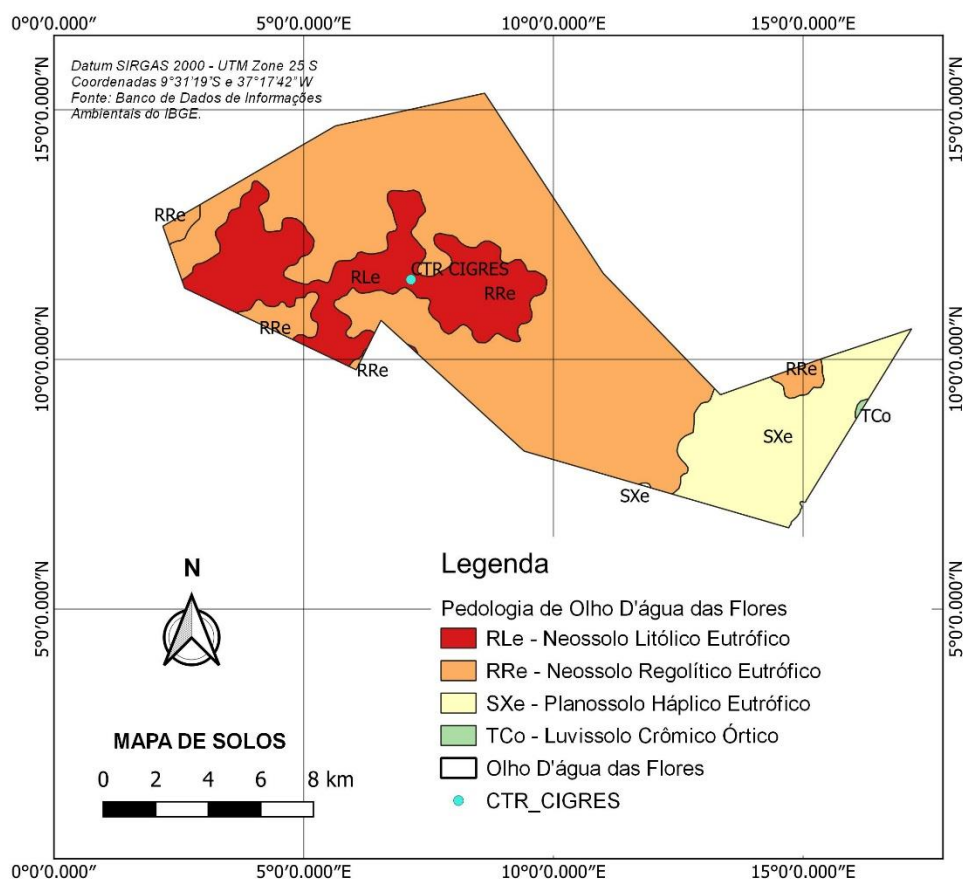


Figura 28 - Mapa de solos do município de Olho D'água das Flores.

Fonte: Autora, 2022, adaptado de IBGE.

Neossolo Litólico Eutrófico: Do grego néos, novo, moderno; conotativo de solos jovens, em início de formação. Grupamento de solos pouco evoluídos, sem horizonte B diagnóstico definido. Solos com contato lítico dentro de 50cm da superfície. Apresentam saturação por bases maior que 50%.

Neossolo Regolítico Eutrófico: Do grego néos, novo, moderno; conotativo de solos jovens, em início de formação. Grupamento de solos pouco evoluídos, sem horizonte B diagnóstico definido. Solos com horizontes A, C + contato lítico além de 50cm da superfície + 4% de minerais alteráveis ou 5% de fragmentos de rocha. Apresentam saturação por bases maior que 50%.

Planossolo Háplico Eutrófico: Do latim planus, plano, horizontal; conotativo de solos desenvolvidos com encharcamento superficial estacional. Grupamento de solos com horizonte B plânico, subjacente a qualquer tipo de horizonte A, podendo ou não apresentar horizonte E (álbico ou não). Solos não distinguidos nas classes precedentes. Apresentam saturação por bases maior que 50%.

Luvissole Crômico Órtico: Do latim luere, lavar; conotativo de acumulação de argila. Grupamento de solos com horizonte B textural, com argila de atividade alta e saturação por bases alta. Solos de caráter crômico. Solos não distinguidos nas classes precedentes.

Método de execução e Classificação das células de recebimento dos resíduos

O aterro possui, atualmente, apenas Célula de Resíduos Classe IIA, para os resíduos domiciliares provenientes dos municípios.

Drenagem de águas pluviais

No aterro existem canaletas nos taludes para coleta das águas pluviais que escoam sobre o maciço e valetas de seção trapezoidal que contornam todo o maciço. No entanto as canaletas dos taludes não são funcionais, tendo em vista que estão obstruídas, como mostra a Figura 29, e as canaletas que contornam o maciço apresentam lixiviado em seu interior.



Figura 29 – Sistema de drenagem de águas pluviais do CIGRES.

Impermeabilização de base e cobertura

Durante a construção do aterro as bases das células foram impermeabilizadas com manta PEAD, sobre a qual foi colocada uma proteção mecânica em argila compactada.

A cobertura dos resíduos é feita com o solo da região, do tipo do Neossolo Litólico Eutrófico descrito anteriormente. No entanto os resíduos são apenas parcialmente cobertos, com solo sem compactação, que aparenta ser tipo arenoso, ficando os resíduos visíveis como pode ser visto na Figura 30.



Figura 30 - Célula de recebimento de resíduos classe IIA do aterro sanitário do CIGRES.

Drenagem e tratamento de lixiviados

Embora tenha sido construído com sistema de drenagem de chorume na base, estes drenos não aparentam ser eficientes, pois percebe-se nas canaletas de drenagem de águas pluviais que contornam o maciço, assim como também exposto ao longo da célula e formando um poço de lixiviado junto aos resíduos na própria célula como mostra a Figura 31.



Figura 31 – Lixiviado gerado no aterro do CIGRES.

O sistema de tratamento do lixiviado gerado na célula classe IIA do CIGRES é apenas biológico composto por uma lagoa anaeróbia e uma lagoa facultativa em série. Segundo informações da equipe de operação do aterro, todo lixiviado gerado é evaporado nessas lagoas e não há efluente saindo das mesmas, conforme mostra a Figura 32. Logo não há corpo receptor para esse efluente.



Figura 32 - Ilustração do sistema de tratamento de lixiviado do aterro do CIGRES.

Fonte: Autora, 2022.

Monitoramento do lixiviado e corpo de água receptor

Não existem informações a respeito do monitoramento lixiviado gerado, nem do corpo receptor, visto que, segundo eles não existe corpo receptor.

Monitoramento do biogás gerado

Não existem informações a respeito do monitoramento dos gases gerados.

Município	IDHM 2010	IDHM Renda 2010	Renda per capita 2010	PIB per capita, a preços correntes (R\$ 1,00) 2019
Água Branca	0,549	0,527	213,00	7976,02
Batalha	0,594	0,563	265,62	9414,33
Belo Monte	0,517	0,507	187,77	15055,38
Cacimbinhas	0,531	0,559	259,72	9400,61
Canapi	0,506	0,504	183,83	7150,99
Carneiros	0,526	0,517	199,58	7356,98
Dois Riachos	0,532	0,513	194,81	6862,00
Inhapi	0,484	0,501	180,64	7239,26
Jacaré dos Homens	0,583	0,543	235,11	10196,13
Jaramataia	0,552	0,532	219,10	9257,59
Major Isidoro	0,566	0,566	270,04	9849,17
Maravilha	0,569	0,539	229,39	7674,87
Mata Grande	0,504	0,506	186,87	9830,13
Monteirópolis	0,539	0,497	176,62	8100,90
Olho d'Água das Flores	0,565	0,568	274,46	10049,99
Olho d'Água do Casado	0,525	0,527	211,97	8053,01
Olivença	0,493	0,513	195,19	7290,69
Ouro Branco	0,547	0,538	227,56	7271,41
Palestina	0,558	0,505	185,39	7895,59
Pão de Açúcar	0,593	0,536	224,33	8865,82
Pariconha	0,548	0,526	211,13	7276,82
Piranhas	0,589	0,563	265,96	10703,45
Poço das Trincheiras	0,526	0,484	162,21	6432,78
Santana do Ipanema	0,591	0,579	293,85	11834,31
São José da Tapera	0,527	0,508	188,84	8498,44
Senador Rui Palmeira	0,518	0,481	159,61	6303,92
Média ponderada da CTR	0,548	0,533	224,01	9370,27

Escala do IDH-M - Muito Baixo = 0 a 0,499 / Baixo= 0,500 a 0,599 / Médio= 0,600 a 0,699 /

Alto= 0,700 a 0,799 / Muito Alto = 0,800 a 1,000.

Fonte: Atlas, 2020.

COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA

CTR Metropolitana

Tabela 53 - Caracterização gravimétrica dos municípios da CTR Metropolitana.

Município	Papel (%)	Jardim (%)	Matéria orgânica (%)	Têxteis (%)	Madeira (%)	Resíduos sanitários (%)	Inertes (%)	Outros (%)
Anadia	4,2	0,01	78,1	0,04	0,01	0,04	9,49	8,21
Atalaia	1,71	0,02	83,98	0,10	0,03	0,11	7,00	7,31
B. de Sto Antônio	5,25	0,01	61,3	0,06	0,02	0,07	15,94	17,51
B. de São Miguel	7,93	0,01	58,79	0,03	0,01	0,04	25,17	8,10
Boca da Mata	2,58	0,01	71,96	0,08	0,03	0,09	15,60	9,87
Branquinha	6,24	0,00	57,89	0,03	0,01	0,03	19,98	15,89
Cajueiro	0,73	0,01	77,26	0,07	0,02	0,08	9,63	12,39
Campestre	7,92	0,00	56,75	0,03	0,01	0,03	21,63	14,99
Capela	10,64	0,01	70,74	0,05	0,02	0,06	10,02	8,61
Chã Preta	7,74	0,00	68,58	0,02	0,01	0,02	14,39	9,29
Col. Leopoldina	8,15	0,01	65,53	0,07	0,02	0,08	18,34	7,98
Coqueiro Seco	5,17	0,00	64,68	0,02	0,01	0,03	10,74	19,40
Coruripe	2,81	0,03	70,99	0,17	0,06	0,19	15,63	10,56
Feliz Deserto	2,54	0,00	56,18	0,02	0,01	0,02	28,59	12,69
Flexeiras	11,01	0,01	64,61	0,03	0,01	0,04	14,39	9,99
Ibateguara	2,51	0,01	72,28	0,04	0,01	0,05	10,45	14,76
Jequiá da Praia	5,84	0,00	71,79	0,01	0,00	0,01	9,01	13,36
Joaquim Gomes	4,01	0,01	67,95	0,07	0,02	0,07	13,73	14,31
Jundiá	5,8	0,00	59,71	0,01	0,00	0,01	12,74	21,74
Mar Vermelho	8,2	0,00	69,66	0,01	0,00	0,01	13,31	8,82
Marechal Deodoro	3,07	0,04	75,93	0,21	0,07	0,23	10,82	10,18
Matriz Camaragibe	8,63	0,02	65,48	0,09	0,03	0,10	17,09	8,80
Messias	3,85	0,01	63,08	0,07	0,02	0,08	13,08	20,00
Murici	14,65	0,02	54,95	0,10	0,03	0,11	14,84	15,57
Novo Lino	2,24	0,01	70,06	0,03	0,01	0,04	11,81	15,90
Paripueira	7,44	0,01	69,48	0,05	0,02	0,06	15,63	7,44
Passo Camaragibe	7,93	0,01	58,79	0,03	0,01	0,03	25,17	8,10
Pilar	8,03	0,03	63,29	0,15	0,05	0,16	15,36	13,32
Pindoba	2,46	0,00	64,35	0,01	0,00	0,01	23,33	9,86
Porto Calvo	3,74	0,02	67,37	0,09	0,03	0,10	15,43	13,47
Porto de Pedras	18,61	0,00	55,68	0,02	0,01	0,02	14,34	11,36
Rio Largo	3,62	0,05	62,57	0,27	0,09	0,30	26,94	6,87
Roteiro	2,28	0,00	69,97	0,02	0,01	0,03	14,29	13,53
Sta Luzia do Norte	4,88	0,01	61,63	0,03	0,01	0,03	20,65	12,85
Santana Mundaú	5,18	0,00	75,13	0,03	0,01	0,03	11,49	8,23
São José da Laje	5,61	0,01	62,42	0,07	0,02	0,08	22,27	9,70
S.Luís do Quitunde	3,48	0,02	55,56	0,10	0,03	0,11	18,58	22,39
S. Miguel Campos	1,77	0,04	70,42	0,23	0,08	0,25	17,84	9,97
S.Miguel Milagres	5,44	0,00	66,02	0,01	0,00	0,01	18,83	9,71
Satuba	11,59	0,01	55,07	0,05	0,02	0,06	24,64	8,70
União Palmares	3,07	0,04	75,93	0,21	0,07	0,23	10,82	10,18
Viçosa	1,45	0,01	61,42	0,08	0,03	0,09	24,85	12,28

Fonte: Adaptado de PIGIRS, 2017 e Silva *et al.* (2020).

CTR Agreste

Tabela 54 - Caracterização gravimétrica dos municípios que destinam seus RSU para a CTR Agreste.

Municípios	Papel (%)	Jardins (%)	Matéria orgânica (%)	Têxteis (%)	Madeira (%)	Resíduos sanitários (%)	Inertes (%)	Outros (%)
Arapiraca	12,64	2,54	46,28	1,72	0,24	9,03	26,95	0,61
Belém	6,04	2,39	52,09	0,96	0,31	10,9	27,2	0,11
Campo Alegre	6,04	2,39	52,09	0,96	0,31	10,9	27,2	0,11
Campo Grande	6,04	2,39	52,09	0,96	0,31	10,9	27,2	0,11
Coité do Nória	6,04	2,39	52,09	0,96	0,31	10,9	27,2	0,11
Craíbas	6,04	2,39	52,09	0,96	0,31	10,9	27,2	0,11
Estrela Alagoas	6,04	2,39	52,09	0,96	0,31	10,9	27,2	0,11
Feira Grande	6,04	2,39	52,09	0,96	0,31	10,9	27,2	0,11
Girau Ponciano	6,04	2,39	52,09	0,96	0,31	10,9	27,2	0,11
Igaci	6,04	2,39	52,09	0,96	0,31	10,9	27,2	0,11
Igreja Nova	6,04	2,39	52,09	0,96	0,31	10,9	27,2	0,11
Junqueiro	6,04	2,39	52,09	0,96	0,31	10,9	27,2	0,11
Lagoa da Canoa	6,04	2,39	52,09	0,96	0,31	10,9	27,2	0,11
Limoeiro Anadia	6,04	2,39	52,09	0,96	0,31	10,9	27,2	0,11
Maribondo	6,04	2,39	52,09	0,96	0,31	10,9	27,2	0,11
Minador Negrão	6,04	2,39	52,09	0,96	0,31	10,9	27,2	0,11
O.d'Água Grande	6,04	2,39	52,09	0,96	0,31	10,9	27,2	0,11
Palmeira Índios	8,08	2,9	51,63	2,59	0,32	8,77	24,83	0,87
Paulo Jacinto	6,04	2,39	52,09	0,96	0,31	10,9	27,2	0,11
Penedo	6,73	1,68	50,51	3,37	0	17,17	16,16	4,38
Piaçabuçu	6,04	2,39	52,09	0,96	0,31	10,9	27,2	0,11
P. Real Colégio	6,04	2,39	52,09	0,96	0,31	10,9	27,2	0,11
Quebrangulo	6,04	2,39	52,09	0,96	0,31	10,9	27,2	0,11
São Brás	6,04	2,39	52,09	0,96	0,31	10,9	27,2	0,11
São Sebastião	6,04	2,39	52,09	0,96	0,31	10,9	27,2	0,11
Tanque d'Arca	6,04	2,39	52,09	0,96	0,31	10,9	27,2	0,11
Taquarana	6,04	2,39	52,09	0,96	0,31	10,9	27,2	0,11
Teotônio Vilela	1,04	2,59	34,16	15,01	0	13,98	33,13	0,1
Traipu	6,04	2,39	52,09	0,96	0,31	10,9	27,2	0,11

Fonte: Adaptado de Santana, 2020.

Aterro CIGRES

Tabela 55 - Caracterização gravimétrica dos municípios que destinam seus RSU para o aterro do CIGRES.

Município	Papel (%)	Jardim (%)	Matéria orgânica (%)	Tecido (%)	Madeira (%)	Resíduos sanitários (%)	Inertes (%)	Outros (%)
Água Branca	10,02	0,03	30,63	0,03	0,002	0,11	18,45	10,90
Batalha	6,24	0,06	62,05	0,07	0,006	0,28	16,12	15,60
Belo Monte	6,15	0,01	77,08	0,01	0,001	0,03	13,69	3,08
Cacimbinhas	8,85	0,03	56,93	0,03	0,002	0,12	10,02	24,21
Canapi	18,20	0,02	50,85	0,03	0,002	0,11	12,07	18,88
Carneiros	5,25	0,03	70,44	0,03	0,002	0,11	15,75	8,56
Dois Riachos	3,91	0,02	64,95	0,03	0,002	0,10	10,33	20,81
Inhapi	17,40	0,03	57,90	0,04	0,003	0,14	18,00	6,30
Jacaré dos Homens	3,21	0,01	76,45	0,01	0,001	0,06	10,70	9,64
Jaramataia	3,21	0,01	76,45	0,02	0,001	0,06	10,70	9,64
Major Isidoro	10,59	0,05	42,52	0,05	0,005	0,21	33,78	13,11
Maravilha	10,64	0,02	62,59	0,02	0,002	0,08	18,44	8,33
Mata Grande	8,96	0,03	38,81	0,03	0,002	0,11	41,79	10,45
Monteirópolis	2,78	0,01	70,93	0,01	0,001	0,06	14,47	11,82
Olho d'Água das Flores	12,72	0,07	66,57	0,08	0,007	0,32	16,27	4,44
Olho d'Água do Casado	3,33	0,02	75,44	0,03	0,002	0,11	12,45	8,77
Oliveira	4,99	0,01	73,83	0,02	0,001	0,06	8,63	12,56
Ouro Branco	4,27	0,03	65,09	0,04	0,003	0,15	19,74	13,74
Palestina	4,47	0,02	68,87	0,02	0,002	0,07	12,89	13,77
Pão de Açúcar	17,39	0,05	60,87	0,06	0,005	0,24	15,12	6,61
Pariconha	7,64	0,01	59,72	0,01	0,001	0,06	15,97	16,67
Piranhas	7,25	0,04	57,69	0,04	0,004	0,18	21,25	13,81
Poço das Trincheiras	13,74	0,01	60,13	0,01	0,001	0,04	15,92	10,22
Santana do Ipanema	3,83	0,14	54,47	0,15	0,013	0,61	17,10	24,60
São José da Tapera	7,59	0,06	66,22	0,06	0,005	0,25	16,52	9,67
Senador Rui Palmeira	15,15	0,02	59,09	0,02	0,002	0,09	14,85	10,91

Fonte: Adaptado de PIGIRS, 2017 e Santana, 2020.

ANEXOS

Geração per capita de RSU (kg/hab.dia)

Município	JUCÁ		SNIS																	CTR/SNIS		CTR
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
Água Branca														0,61	0,92	2,55	0,28	0,21	1,03		0,77	
Anadia	0,94																				0,74	0,88
Arapiraca	1,07	0,76			0,61	0,78	0,98	1,2	0,71	1,18	1,63	0,15	0,57	0,66		1,11	1,11	0,77	1,35		1,02	1,05
Atalaia	1													3,9	1,71	0,57					0,95	1,24
Barra de Santo Antônio	0,96							0,24													0,63	0,92
Barra de São Miguel												1,23	1,22	1,2	1,19	1,18	1,21	1,23	1,51		1,84	1,90
Batalha	0,85											3,35	1,23	1,06	0,13	0,21	0,21	0,84	0,85		0,85	
Belém																					1,50	1,22
Belo Monte																0,97	1	0,22	0,91		0,91	
Boca da Mata	0,71							0,14			1,3	2			0,61	1,47	0,84				0,73	0,77
Branquinha																					0,46	0,57
Cacimbinhas									1,12			3,91	0,34	0,34	0,33	0,24	0,24	0,24	0,5		0,71	
Cajueiro	0,65												0,11	0,1							0,56	0,60
Campestre																0,23	0,23	0,24	0,24		0,60	0,66
Campo Alegre	0,7								0,41	0,62	1,66	0,79	2,3	1,93	2,12	1,56	1,43	0,84	0,85		0,75	0,82
Campo Grande																0,21					0,69	0,71
Canapi												0,9	0,33	0,95		0,21	0,21	0,21	0,39		0,23	
Capela	1,39								1,18	1,3	1,31										0,65	0,70
Carneiros													1,85									
Chã Preta																					0,49	0,56
Coité do Nóia																			0,59		0,63	0,88
Colônia Leopoldina	1,28											0,35									0,57	0,56
Coqueiro Seco																					1,02	0,86
Coruripe	0,85								0,9	0,97		1,16	1,16	1,71			0,73	0,74			0,56	0,76
Craíbas																					1,14	1,09
Delmiro Gouveia	1,09										0,33	0,25	2,56	1,99	0,47	1,04	1,65	1,31	0,56		0,78	
Dois Riachos												2,53	0,22	0,22	1,97	1,57	0,71	0,72	0,71		0,72	

Município	JUCÁ		SNIS																	CTR/SNIS		CTR	
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021		
Estrela de Alagoas																					0,82	0,93	
Feira Grande														0,38	1,48							1,50	1,58
Feliz Deserto												0,8		3,63	2,42	3,42						0,50	0,44
Flexeiras																	2,73					0,60	0,62
Girau do Ponciano	1,08																	3,19	0,1	0,12		0,82	0,87
Ibateguara	0,79											0,21	1,2	1,01		1,93	1,95		0,88		0,72	0,77	
Igaci										2,31	1,62	0,67										1,04	1,13
Igreja Nova												1,22	0,73	1,14	1,6							1,53	1,48
Inhapi									0,09			0,99	0,2	0,36	1,85	0,81	0,56		0,64		0,64		
Jacaré dos Homens																1,36	0,82	0,83	0,84		0,84		
Jacuípe											1,86		0,66	2,24	2,19						0,3	0,3	
Japaratinga																0,53	0,53					2,13	
Jaramataia																			0,45	0,43		0,44	
Jequiá da Praia														0,86	0,87	0,61	0,97	1,99	1,53		1,44	1,81	
Joaquim Gomes	0,6													1,28							0,54	0,56	
Jundiá														0,25	0,45	0,25	0,51		0,49		0,39	0,68	
Junqueiro												0,3		1,54	1,67						1,50	1,54	
Lagoa da Canoa	0,6								1,01						1,19						0,82	0,82	
Limoeiro de Anadia																					3,34	3,70	
Maceió	1,34	0,65	0,75	0,73	1,43	1,68	1,57	1,55	1,58	1,48	1,65	1,7	2,03	1,39	2,34	1,14	1,02	1,04	1,04		1,09		
Major Isidoro	0,6										0,47		1,31	1,67	1,94	3,59	0,51	0,52	0,52				
Mar Vermelho																					0,85	0,93	
Maragogi	1,07											0,89		0,99								1,66	
Maravilha								0,85	0,69		1	0,3		0,61	0,29	0,63	0,64	0,65			0,66		
Marechal Deodoro	0,67											0,82	0,1								1,18	1,32	
Maribondo	1,17																		0,49		0,82	0,85	
Mata Grande																0,4	0,61	0,67			1,18		
Matriz de Camaragibe	0,95											2,24	1,11	0,92	1,7	1,13					0,68	0,78	

Município	JUCÁ		SNIS																	CTR/SNIS	CTR	
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
Messias	1,16										0,7	0,76	1,14	0,17							0,40	0,56
Minador do Negrão																					0,57	0,58
Monteirópolis													0,75								1,45	
Murici	1,07																				0,47	0,52
Novo Lino													0,22	0,82		0,49	0,39	0,27			0,56	0,61
Olho d'Água das Flores																						
Olho d'Água do Casado																						
Olho d'Água Grande																					0,72	0,90
Oliveira													0,99								0,91	
Ouro Branco									0,95	0,73	1,58	0,58	1,45	0,68	1,09	0,92	0,36	0,46	0,45		0,45	
Palestina															0,62	0,86					0,7	
Palmeira dos Índios	0,82											0,91	1,3	1,29	1,29	1,66	0,27	0,59	0,59		0,82	0,72
Pão de Açúcar	1,38								0,24			0,77	1,94	0,43		0,61	0,61				1,02	
Pariconha									0,21					0,81	1,78	1,72	1,72	1,74	1,62		1,72	
Paripueira																					0,94	1,21
Passo de Camaragibe													1,09	1,56							1,35	1,47
Paulo Jacinto									0,86												0,61	0,67
Penedo	0,93								0,61	0,66		1,12	1,17	1,3	1,25	2,5	1,74		1,04		0,73	0,72
Piaçabuçu	0,98								0,46			0,47	0,43	1,18	0,23	2,5					0,81	0,73
Pilar	0,9											0,4	0,4	0,6	0,6						1,39	2,04
Pindoba									0,62	0,35				0,31	0,51	1,27		0,71	0,71		0,64	0,72
Piranhas						9,94	1,01	0,99														0,7
Poço das Trincheiras																3,84	1,28	1,3	1,29		1,03	
Porto Calvo	0,61												0,66			0,14	0,68	0,7	0,71		0,83	0,94
Porto de Pedras																					1,21	1,71
Porto Real do Colégio									0,06												0,96	0,97
Quebrangulo												1,18	1,26	0,83							0,73	0,69
Rio Largo	0,55							0,79			0,54		0,86			1,58					0,98	1,01

Município	JUCÁ		SNIS															CTR/SNIS		CTR		
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
Roteiro																		0,57	0,76	0,78	0,87	
Santa Luzia do Norte													3,42								0,70	0,84
Santana do Ipanema	1,31									1,47	1,46	2,05	1,99	1,92	1,91						0,68	
Santana do Mundaú													1,74		3,1						0,62	0,72
São Brás																0,29	0,42	0,49			0,83	0,86
São José da Laje	1,15													1,72							0,70	0,77
São José da Tapera	0,54																				0,84	
São Luís do Quitunde	0,64												2	1,4	1,45						0,88	0,86
São Miguel dos Campos	1,35								0,79	3,08	1,02	1,29	1,41	1,52	1,37	1,23	1,02		1,02		0,71	0,84
São Miguel dos Milagres																					3,41	5,45
São Sebastião	1,15																				1,01	1,08
Satuba	0,88									0,43											0,89	1,26
Senador Rui Palmeira													1,32	1,96	1,95	1,95	0,61	0,62	0,62		0,62	
Tanque d'Arca																					0,90	0,97
Taquarana										1,16	0,69					0,82	0,82	0,83			0,99	1,15
Teotônio Vilela	0,92																			0,26	0,55	0,64
Traipu								0,45			1,9	0,26	0,25	0,26							0,43	0,39
União dos Palmares	0,91															0,79					0,69	0,83
Viçosa	1,19								1,03	0,22	0,22			0,25	0,61						0,67	0,76



SOLICITAÇÃO DE INFORMAÇÕES

Venho por meio deste ofício, solicitar-vos o encaminhamento de algumas informações referente ao aterro sanitário de _____, sob a justificativa de utilizá-las na dissertação de discente do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas sobre os aterros sanitários do Estado de Alagoas intitulado “Potencial de geração de energia nos aterros sanitários do Estado de Alagoas”. Informamos que os dados serão utilizados apenas para fins de pesquisa e que será enviada cópia do material produzido para aprovação da empresa. Segue as informações requeridas:

- Quantidade de Resíduos Sólidos Urbanos recebidos pela CTR, por município, recebidos por dia (ton/dia) ou por mês (ton/mês), referentes aos anos de 2020 e 2021 no formato de planilhas (xls) de preferência. Esses dados serão utilizados para calcular o valor *per-capita* de RSU gerado em cada município, para que possamos projetar a quantidade de lixo a ser gerada nos próximos 20 anos, tornando possível estimar a produção de biogás.
- Quantidade de resíduos empresariais destinados a célula classe IIA do aterro, a fim de incluir a sua contribuição na produção de biogás.
- Dimensões e Classe das células de recebimento;
- Quantidade de células classe IIA ativas e desativadas e a idade dessas células para que possamos estimar a produção de biogás em função da idade das células;
- Área da CTR e das células classe IIA para que possamos estimar a produção de biogás.
- Tipo de recobrimento e tipo de solo utilizado, para que possamos estimas as emissões fugitivas, ou seja, quanto de biogás pode ser perdido para a geração do bioeletricidade.
- Tipo e quantidade de drenos de gás utilizados, para que possamos estimar quanto de gás pose ser coletado para geração de bioeletricidade.
- Tipo de material de impermeabilização do solo, para constar no descritivo da área;
- Tipo de tratamento do Chorume, para constar no descritivo da área
- Como é realizado o monitoramento dos gases, águas superficiais, subterrâneas, chorume e o recalque, para constar no descritivo da área.

Certos de sua contribuição para o desenvolvimento da pesquisa agradecemos antecipadamente.