



## ESTIMATIVA DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE BIOGÁS E DE ENERGIA ELÉTRICA PROVENIENTE DE ATERRO SANITÁRIO DOS MUNICÍPIOS DO VALE DO JAGUARIBE-CE

Jonas da Silva Castro (\*), Daniela Lima Machado da Silva

\* Universidade Federal do Ceará – Campus Russas, ecpjonas@gmail.com

### RESUMO

As mudanças nos hábitos de consumo, acompanhadas pelo aumento populacional, intensificam a geração de resíduos sólidos urbanos (RSU). A maior parte desses resíduos ainda é destinada para locais inadequados, como os lixões, causando danos socioambientais. Dessa forma, o poder público e a sociedade são fundamentais para modificar este cenário. O processo de decomposição da matéria orgânica libera biogás, constituído principalmente por gás carbônico e metano, sendo esse caracterizado como um gás de efeito estufa. Nesse contexto, os aterros sanitários são uma das opções mais viáveis para a disposição final de resíduos, uma vez que, dentre outros benefícios, possibilita a captação do biogás, que pode ser utilizado como combustível para geração de energia elétrica. Além disso, a disposição final de resíduos sólidos urbanos em lixões pode provocar contaminação do solo e dos recursos hídricos. Neste estudo, foi elaborada uma estimativa da emissão de biogás dos municípios do Vale do Jaguaribe, de acordo com metodologia proposta pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. Em seguida, o trabalho mostrou o potencial de geração de energia elétrica a partir desse biogás, tanto da região, quanto dos municípios individualmente. Em vista disso, as cidades de Russas, Limoeiro do Norte e Morada Nova apresentaram os maiores valores de geração. Considerando que 60% dos resíduos serão destinados aos aterros sanitários, o total para todos os componentes do Vale foi de 110.545 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/ano em 2025, e 167.817 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/ano em 2053. Quanto à geração de energia elétrica, os valores obtidos foram 4.133 MWh/ano para 2025, e 6.275 MWh/ano para 2053. Portanto, é possível observar que a área apresenta um potencial energético que pode ser destinado para diferentes finalidades, beneficiando a região.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduos sólidos urbanos. Biogás. Aterro sanitário. Energia elétrica.

### ABSTRACT

Changes in consumption habits, accompanied by an increase in population, intensify the generation of solid urban waste. Most of this waste is still destined for inadequate locations, such as dumps, causing socio-environmental damage. Thus, public authorities and society are fundamental to changing this scenario. The decomposition process of organic matter releases biogas, consisting mainly of carbon dioxide and methane, which is characterized as a greenhouse gas. In this context, landfills are one of the most viable options for the final disposal of waste, since, among other benefits, it allows the capture of biogas, which can be used as a fuel for generating electricity. In addition, the final disposal of solid urban waste in landfills can cause contamination of the soil and water resources. In this study, an estimate of the biogas emissions from the municipalities of Vale do Jaguaribe was prepared, according to the methodology proposed by the Intergovernmental Panel on Climate Change. Then, the work showed the potential for generating electricity from this biogas, both in the region and in the municipalities individually. In view of this, the cities of Russas, Limoeiro do Norte and Morada Nova presented the highest generation values. Considering that 60% of the waste will be sent to landfills, the total for all components of the Vale was 110.545 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/year in 2025, and 167.817 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/year in 2053. As for the generation of electric energy, the values obtained were 4.133 MWh/year for 2025, and 6.275 MWh/year for 2053. Therefore, it is possible to observe that the area has an energy potential that can be used for different purposes, benefiting the region.

**KEY WORDS:** Urban solid waste. Biogas. Landfill. Electricity.

### INTRODUÇÃO

De acordo com a Secretaria do Meio Ambiente do Ceará (2015), o Estado ainda conta com cerca de 300 lixões, mas tem implementado ações para que, em até 20 anos, os resíduos sólidos gerados tenham como destino os aterros sanitários. Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2019), 40% dos RSU no país ainda são dispostos em locais inadequados. Na região nordeste, o índice está em 35,3%.



Diante do aumento da produção de RSU, faz-se necessário analisar medidas que diminuam o impacto socioambiental desse fato. Para isso, uma das opções é a destinação de RSU em locais ambientalmente adequados, como os aterros sanitários, que podem ser construídos ou adaptados com um sistema de aproveitamento energético.

A construção e manutenção do aterro nas proximidades de Limoeiro do Norte-CE proporciona benefícios sociais para a região, tais como a geração de emprego e renda, além de atenuação de impactos ambientais negativos, já que os lixões podem gerar problemas de saúde pública, e agredem os recursos naturais.

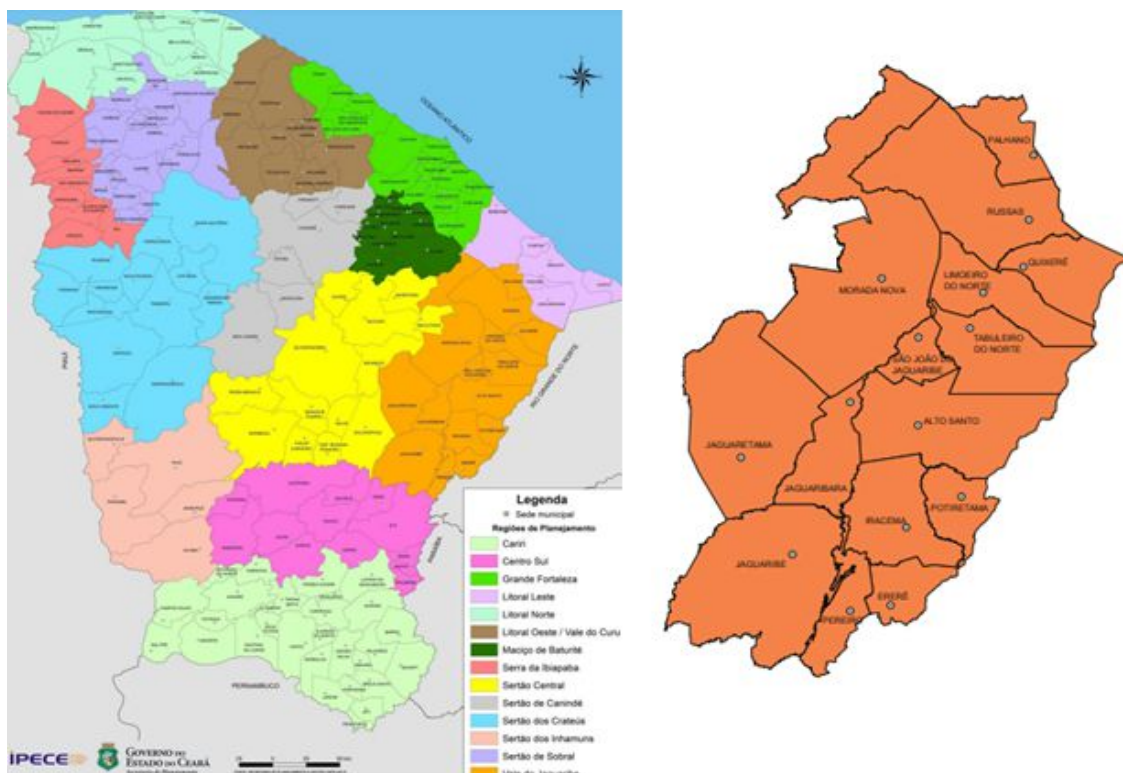
Portanto, o presente trabalho, considerando as particularidades de cada município, como a composição gravimétrica e sua população urbana, irá estimar o potencial de geração de energia elétrica das 15 cidades do Vale do Jaguaribe, a partir do biogás gerado por meio da biodegradação dos resíduos. Dessa maneira, considera-se que haverá a captação de biogás no aterro, servindo como fonte de combustível, e permitindo sua utilização em diferentes atividades.

### OBJETIVO

Estimar o potencial de geração de biogás e de energia elétrica a partir dos resíduos sólidos urbanos na região do Vale do Jaguaribe-CE.

### METODOLOGIA

Os 15 municípios estudados compõem o Vale do Jaguaribe, uma região socioeconômica do Estado do Ceará. São eles: Alto Santo, Ererê, Iracema, Jaguarétama, Jaguaribara, Jaguaribe, Limoeiro do Norte, Morada Nova, Palhano, Pereiro, Potiretama, Quixerê, Russas, São João do Jaguaribe e Tabuleiro do Norte. Essa composição da região foi definida pela Lei Estadual Complementar nº 154 (CEARÁ, 2015). Na Figura 1, está ilustrada a posição geográfica do Vale do Jaguaribe no Estado, além da disposição territorial dos municípios.



**Figura 1: Regiões de planejamento do Estado do Ceará e disposição dos municípios**  
Fonte: Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará – IPECE (2015)

O clima predominante na região é o Tropical Quente Semiárido, que apresenta escassez e irregularidade pluviométrica associado a altas taxas de evapotranspiração. Os municípios possuem precipitação pluviométrica média de 800 mm/ano. (IPECE, 2012). Esses fatores contribuem para a ausência de umidade no maciço sanitário. Dessa maneira, o potencial máximo estimado de geração de biogás pode não ser atingido.



Nesse estudo, foi elaborada uma estimativa da emissão de biogás dos municípios do Vale do Jaguaribe, de acordo com uma metodologia proposta pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. Em seguida, o trabalho mostrou o potencial de geração de energia elétrica a partir desse biogás, tanto da região, quanto dos municípios individualmente.

Segundo Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2006), obtém-se uma projeção da quantidade de material orgânico degradável no RSU, possibilitando determinar o nível de metano que pode ser gerado. Para isso, dentre outros fatores, as especificidades dos diferentes tipos de resíduos domésticos são consideradas no cálculo. Objetivando maior precisão nas projeções, o IPCC recomenda coleta de dados estatísticos sobre a população e a característica dos RSU. Não havendo, são utilizados padrões fornecidos pelo IPCC.

A Equação 1 determina a quantidade de CH<sub>4</sub>, em toneladas, emitida por ano.

$$Q_{CH_4} = [(POP_{urb} \times TAXA_{rsu} \times RSU_f \times L_0) - R] \times (1 - OX) \quad \text{equação (1)}$$

Sendo:

$Q_{CH_4}$  = Emissão de gás metano (tonelada de CH<sub>4</sub>/ano)

$POP_{urb}$  = População urbana (n<sup>o</sup> de habitantes)

$TAXA_{rsu}$  = Taxa anual de geração de RSU per capita (kg<sub>RSU</sub> / habitante\*ano)

$RSU_f$  = Fração de RSU depositada em aterros sanitários (%)

$L_0$  = Potencial de geração de metano dos RSU (tonelada de CH<sub>4</sub>/tonelada de RSU)

$R$  = Metano recuperado (tonelada de CH<sub>4</sub> /ano)

$OX$  = Fator de oxidação de metano na superfície do aterro.

O IPCC (2006) afirma que o potencial de geração de metano dos RSU ( $L_0$ ) pode ser utilizado não somente na metodologia desenvolvida pelo Painel, como também em softwares destinados à projeção de metano gerado nos aterros sanitários. Nesse contexto,  $L_0$  é determinado através da Equação 2.

$$L_0 = FCM \times COD \times COD_f \times F \times (16/12) \quad \text{equação (2)}$$

Onde:

$L_0$  = Potencial de geração de metano dos RSU (tonelada de CH<sub>4</sub>/tonelada de RSU)

$FCM$  = Fator de correção de metano (%)

$COD$  = Carbono orgânico degradável (kg<sub>C</sub>/kg<sub>RSU</sub>)

$COD_f$  = Fração de COD dissolvida (kg<sub>C</sub>/kg<sub>RSU</sub>)

$F$  = Fração de metano no biogás de aterro

$16/12$  = Fator de conversão de carbono em metano (tonelada de CH<sub>4</sub>/tonelada de C).

Para  $F$ , que indica a fração de metano no biogás, o parâmetro utilizado foi 50%, já para o fator de oxidação de metano na superfície do aterro ( $OX$ ), considera-se o valor zero, de acordo com IPCC (2006, p. 3.15). Além disso, ainda segundo IPCC (2006, p. 3.19), o valor a ser utilizado para a quantidade de metano recuperado ( $R$ ) também é zero. A densidade do metano é igual a 0,717 kg/m<sup>3</sup>, conforme United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC, 2017, p.9). O termo (16/12) representa a conversão de carbono para metano.

O  $FCM$ , ou fator de correção de metano (%), tem valor 1 para situação de aterro sanitário, de acordo com IPCC (1996a, p. 3.14). O termo  $COD_f$  é a quantidade de carbono disponível para a decomposição bioquímica e, conforme Bingemer e Crutzen (1987, p. 1), varia com a temperatura na faixa anaeróbia do aterro. Nesse sentido, admite-se que a temperatura permanecerá constante em 35°C, segundo IPCC (1996b, p. 6.9). Portanto,  $COD_f$  pode ser expresso como:

$$COD_f = (0,014 \times T) + 0,28 \quad \text{equação (3)}$$

Conforme IPCC (1996), o  $COD$  representa o carbono orgânico que está disponível para decomposição bioquímica. Ele é função da composição dos resíduos e pode ser determinado através de uma média ponderada do teor de carbono de vários componentes dos resíduos sólidos urbanos. Dessa forma, é considerada a composição gravimétrica dos RSU e a quantidade de carbono constatada em cada componente do RSU. Com a utilização de valores padrões de carbono por conteúdo, a Equação 4 estima o  $COD$ .

$$COD = (0,4 \times A) + (0,17 \times B) + (0,15 \times C) + (0,4 \times D) + (0,3 \times E) \quad \text{equação (4)}$$



Sendo:

A = Percentual de papel e papelão no RSU

B = Percentual dos resíduos de parques e jardins, como poda, jardinagem e outros materiais orgânicos não alimentícios no RSU

C = Percentual de resíduos alimentícios orgânicos no RSU

D = Percentual de têxteis no RSU

E = Percentual de madeira e resíduos florestais no RSU.

Para estimar o potencial de geração de energia elétrica, foram utilizadas equações sugeridas por ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade (2009), tendo como base a quantidade de CH<sub>4</sub> emitida. Ainda segundo ICLEI (2009), os motores do tipo Ciclo Otto são os mais utilizados para a queima do biogás, uma vez que possuem maior rendimento elétrico e menor custo, em comparação com outras tecnologias. Inicialmente, determina-se a potência disponível, seguindo a Equação 5:

$$P = (Q_{CH_4} \times PCI \times \eta) / 860000 \quad \text{equação (5)}$$

Sendo:

P = Potência disponível (MW)

Q<sub>CH<sub>4</sub></sub> = Quantidade de metano emitida (m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/dia)

PCI = Poder calorífico inferior do metano. Como não há valores de campo do aterro, e considerando 50% de metano presente no biogás, adotou-se PCI sendo 5500 kcal/m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>.

η = Eficiência de motores = 28%

860000 = Conversão de kcal para MW

Em seguida, calcula-se a energia disponível:

$$E = P \times R \times T \quad \text{equação (6)}$$

Onde:

E = Energia disponível (MWh/dia)

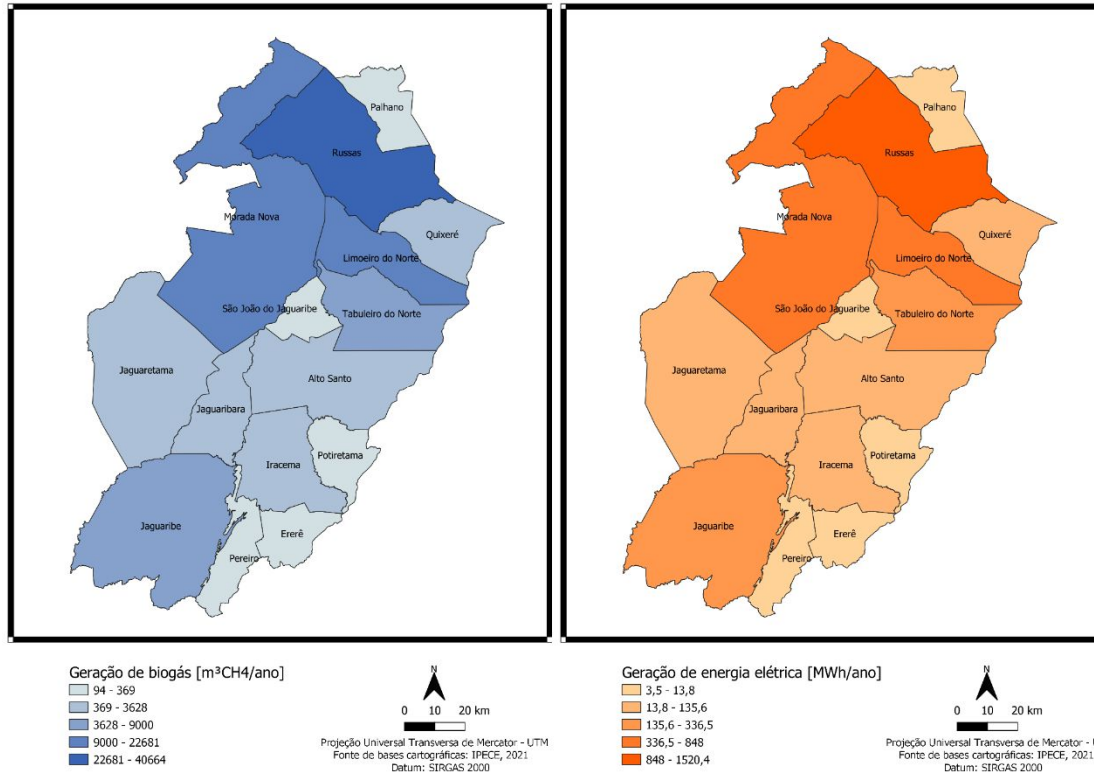
P = Potência disponível (MW)

R = Rendimento de motores a plena carga = 87%

T = Tempo de operação do motor = 24 h/dia

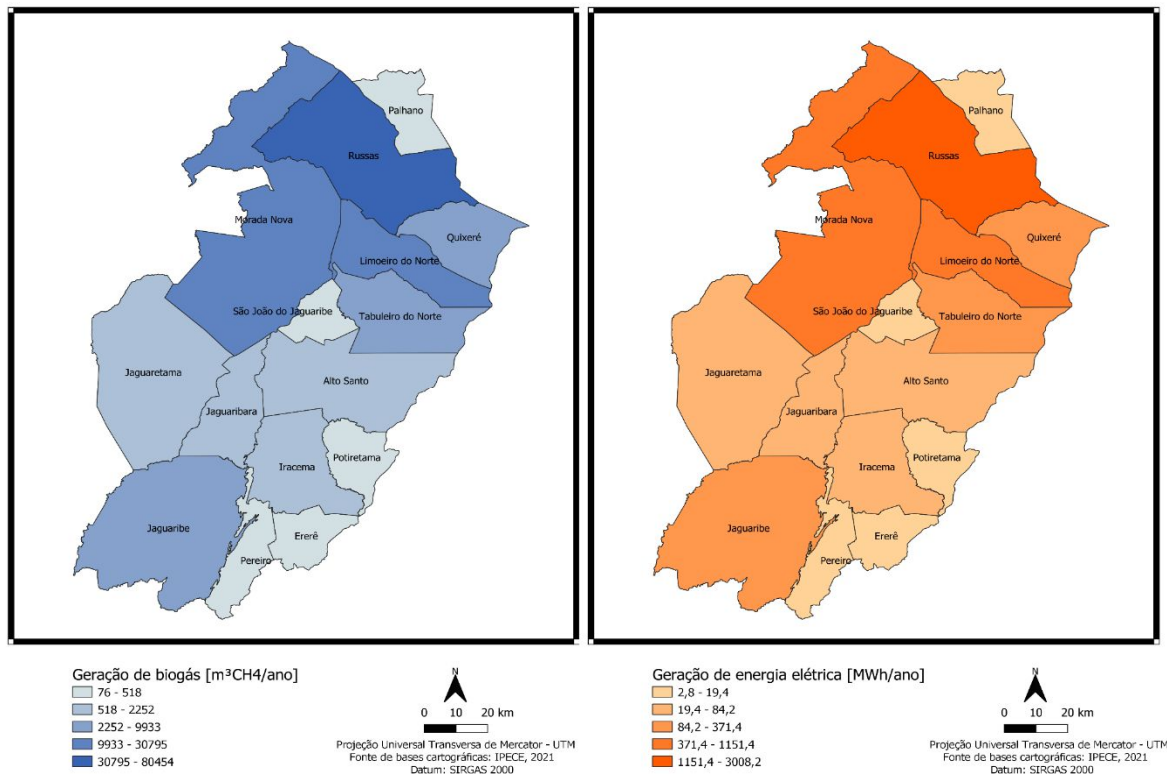
## RESULTADOS

Após análise dos valores obtidos, verifica-se que as cidades de Russas, Limoeiro do Norte e Morada Nova apresentaram os maiores valores da região. Considerando que 60% dos resíduos serão destinados aos aterros sanitários, o total da emissão de biogás para todos os componentes do Vale do Jaguaribe, em 2025, será de 110.545 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/ano. Já a geração de energia elétrica será de 4.133 MWh/ano, conforme Figura 2.



**Figura 2: Estimativa de geração de biogás e energia elétrica – 2025**  
Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

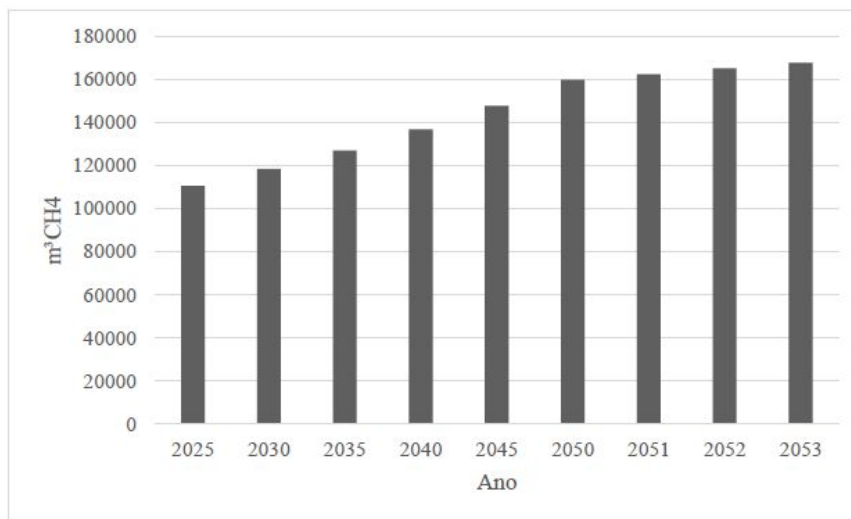
Para o ano de 2053, considerando todos os municípios da região, são estimados 167.817 m³CH₄/ano. No contexto da geração de energia elétrica, a estimativa é de 6.275 MWh/ano, como ilustrado na Figura 3.



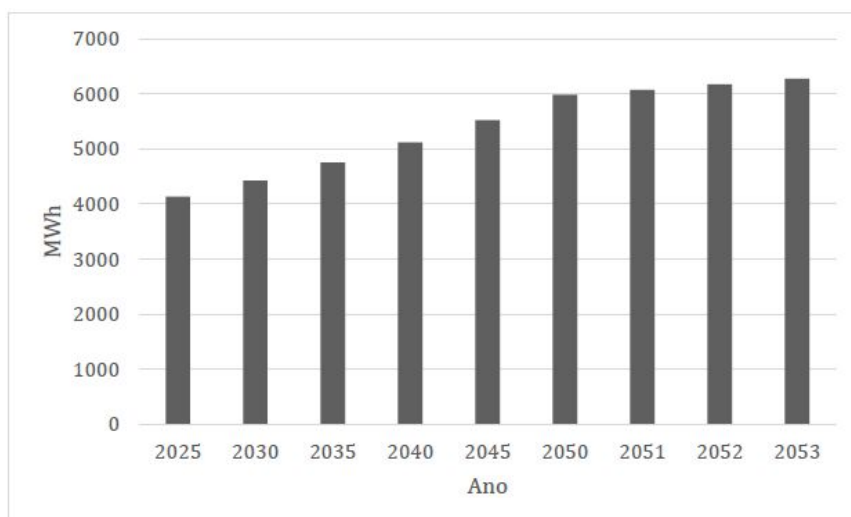
**Figura 3: Estimativa de geração de biogás e energia elétrica – 2053**  
Fonte: Elaborado pelo autor (2021)



Nas Figuras 4 e 5 são mostradas, respectivamente, as evoluções do total de geração de biogás e de energia elétrica.



**Figura 4: Total de geração de biogás ao longo dos anos**  
Fonte: Elaborado pelo autor (2021)



**Figura 5: Total de geração de energia elétrica ao longo dos anos**  
Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

## CONCLUSÕES

Diante do que foi exposto, nota-se que uma gestão ampla de resíduos sólidos urbanos é de fundamental importância para que, dessa maneira, o meio ambiente seja garantido como um bem de uso coletivo do povo e essencial à qualidade de vida sadia. Nesse sentido, as esferas públicas, em conjunto com a sociedade, devem agir para promover práticas responsáveis, como o consumo consciente e a destinação final adequada de resíduos. Portanto, caso haja aproveitamento energético no aterro sanitário, a região pode ser beneficiada de diversas formas, seja no fornecimento para a população, na diminuição da dependência de concessionárias, ou mesmo para operação do próprio aterro sanitário

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABRELPE. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil. São Paulo, 2018.



2. BINGEMER, H. G.; CRUTZEN, P. J. The production of methane from solid wastes. In: Journal of geophysical research, vol. 92, nº D2. 1987. Disponível em: <<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/JD092iD02p02181>>. Acesso em: 9 fev. 2021.
3. CEARÁ. Lei complementar 154. 2015. Disponível em: <[https://www.cidades.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/12/2013/01/lei\\_complementar\\_no154\\_20-10-2015.pdf](https://www.cidades.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/12/2013/01/lei_complementar_no154_20-10-2015.pdf)>. Acesso em: 9 jun. 2020
4. ICLEI. Governos Locais pela Sustentabilidade. Manual para aproveitamento de biogás. Volume 1 – Aterros sanitários. São Paulo, 2009.
5. IPCC. INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Guidelines for National Greenhouse Inventories. 2006. Disponível em:< <https://www.ipcc.ch/report/2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/>>. Acesso em: 5 mai. 2020.
6. \_\_\_\_\_. INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Guidelines for National Greenhouse Inventories: Reference Manual (Vol.3). 1996. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs6>>. Acesso em: 5 mai. 2020.
7. \_\_\_\_\_. INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual - Vol. 3. Waste - Chapter 6. Mexico City: 2003.
8. IPECE. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. As regiões de planejamento do Estado do Ceará. Fortaleza, 2015. Disponível em: <[https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2014/02/TD\\_111.pdf](https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2014/02/TD_111.pdf)>. Acesso em: 20 set. 2020.
9. IPECE. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. Caracterização territorial do Estado do Ceará. Fortaleza, 2012.
10. SEMA. Secretaria do Meio Ambiente. Panorama dos Resíduos Sólidos do Ceará. Fortaleza, 2015. Disponível em: <<https://www.sema.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/36/2018/12/Versao-resumida-Finalizada-.pdf>>. Acesso em: 21 out. 2020.
11. UNFCCC. UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. Methodological tool: Project emissions from flaring. In: ACM0001: Flaring or use os landfill gas, v. 18.0. Bonn, 2017.