



## VII-380 - ESTIMATIVA DA GERAÇÃO DE BIOGÁS EM ATERROS SANITÁRIOS NOS MUNICÍPIOS DE ANANINDEUA/PA E MARABÁ/PA

### **Marcello Ádamis Andrade<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal do Pará (FAESA/UFPA). Mestre em Hidráulica e Saneamento pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal do Pará (PPGESA/ITEC/UFPA). Doutorando em Engenharia Hídrica pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC/ITEC/UFPA).

### **Lauro Henrique Hamoy Guerreiro<sup>(2)</sup>**

Engenheiro Químico pela Universidade Federal do Pará (FEQ/UFPA). Mestre em Engenharia Química pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química (PPGEQ/ITEC/UFPA). Doutorando em Engenharia Hídrica pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC/ITEC/UFPA).

### **Leticia Cavalcante da Silva Bastos<sup>(3)</sup>**

Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal do Pará (FAESA/UFPA). Mestranda em Engenharia Urbana na Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro (POLI/UFRJ).

### **Risete Maria Queiroz Leão Braga<sup>(4)</sup>**

Engenharia Civil pela Universidade Federal do Pará (FEC/UFPA). Mestre em Engenharia de Solos pela Universidade de São Paulo (USP). Doutora em Geologia pelo Instituto de Geociência da Universidade Federal do Pará (IG/UFPA). Professora da Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental (ITEC/UFPA).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Igarapé Tucunduba, 888-974 - Guamá - Belém - PA - CEP: 66075-123 - Brasil - Tel: (91) 98014-6376 - e-mail: [marcello.andrade@itec.ufpa.br](mailto:marcello.andrade@itec.ufpa.br)

### **RESUMO**

O biogás desempenha um papel crucial na busca pela sustentabilidade nos âmbitos ambiental, social e econômico. Sua contribuição se estende à redução da poluição e ao estímulo da distribuição descentralizada de energia. O presente artigo investigou a estimativa da geração de biogás em uma proposta de aterros sanitários nos municípios de Ananindeua/PA e Marabá/PA. A metodologia utilizou os softwares LandGEM (EPA) e Biogás (Cetesb), ferramentas essenciais na análise e modelagem dessa importante fonte de energia renovável. Uma análise comparativa entre os dois softwares revelou resultados semelhantes na determinação de biogás para uma geração de resíduos orgânicos em Marabá, enquanto em Ananindeua essa variação de biogás foi mais expressiva. Os resultados demonstraram que o emprego de softwares pode contribuir na estimativa da geração de biogás em possíveis implantações de usinas em aterros para fins energéticos. Apesar das contribuições, o estudo identificou limitações, como a sensibilidade das projeções a fatores locais e a necessidade de considerar projeção de população para vida útil do aterro, e consequente geração de biogás.

**PALAVRAS-CHAVE:** Biogás, Aterros sanitários, Energia renovável.

### **INTRODUÇÃO**

O cenário atual das mudanças climáticas destaca a urgente necessidade de que as autoridades nacionais coloquem a questão ambiental no centro dos debates econômicos, buscando soluções ambientalmente adequadas para reduzir a dependência de combustíveis fósseis e não renováveis como fontes alternativas de energia (NASCIMENTO ET AL., 2019). O crescimento populacional acelerado e as mudanças nos padrões de vida, associados ao processo de urbanização, resultaram em um aumento no consumo de bens e serviços, que resultam em um significativo aumento na geração de resíduos.

No Brasil, foi instituída a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), por meio da Lei Federal nº 12.305/2010, que estabelece o marco regulatório no setor de resíduos sólidos (BRASIL, 2010). Dentro de suas diversas diretrizes, a política estabelece como prioridades a não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, incluindo o seu aproveitamento energético, considerando a disposição final em aterros apenas como último recurso.



Silva, Konrad e Callado (2022) afirmam que os aterros sanitários são estruturas de engenharia projetadas para a disposição de resíduos. Esses aterros podem ser concebidos como reatores biológicos anaeróbios, nos quais resíduos sólidos e água constituem as entradas, enquanto biogás e chorume, ricos em compostos orgânicos e inorgânicos, representam as saídas. O biogás gerado durante esse processo é composto principalmente por dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e gás metano (CH<sub>4</sub>), além de outros gases como hidrogênio (H<sub>2</sub>), nitrogênio (N<sub>2</sub>) e sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S). O metano destaca-se como o principal precursor e é utilizado como combustível, sendo uma fonte potencial de energia renovável (LYRA ET AL., 2018).

Zavarise et al., (2021) destacam que o metano possui um potencial de aquecimento global de 23 a 28 vezes superior ao do dióxido de carbono. O biogás originado em aterros sanitários, além de representar uma alternativa energética viável devido ao elevado poder calorífico do metano, desempenha um papel essencial na redução dos impactos ambientais, provocados por essa modalidade de disposição de resíduos.

Os gases provenientes de aterros sanitários podem ser empregados em diversas finalidades, variando conforme o nível de tratamento ao qual são submetidos. Isso inclui a utilização direta, a geração de eletricidade, a produção combinada de calor e eletricidade, além do abastecimento veicular (FERNANDES ET AL., 2022).

Diversos fatores têm o potencial de influenciar a composição do biogás originado de aterros municipais, incluindo a fração de matéria orgânica nos resíduos sólidos domésticos, a umidade desses resíduos, o método de operação do aterro e variáveis climáticas (SILVA, KONRAD E CALLADO, 2022).

No Brasil, no período entre 2004 e 2015, o biogás gerado em aterros de resíduos foi explorado em nove termelétricas, contribuindo para uma produção conjunta de 86,6 MW de energia elétrica. Além disso, em duas usinas, foram gerados diariamente 57 mil metros cúbicos de biometano, enquanto em três aterros sanitários, o biogás foi utilizado como fonte de calor para a evaporação do lixiviado (NASCIMENTO ET AL., 2019). Esses dados evidenciam não apenas a viabilidade técnica do aproveitamento do biogás, mas também a diversidade de suas aplicações.

A realização da recuperação e aproveitamento energético do biogás demanda estudos que comprovem a viabilidade técnica e econômica desses projetos (ZAVARISE ET AL., 2021). Atualmente, diversos estudos abrangem estimativas de geração desses gases, utilizando projeções populacionais e de resíduos para vários municípios brasileiros (SILVA ET AL., 2021). Diversos softwares estão disponíveis para calcular a produção de biogás em aterros sanitários, comumente baseados em equações matemáticas. É necessário, no entanto, exercer precaução ao selecionar e aplicar esses programas, considerando critérios específicos para garantir resultados confiáveis (PINAS ET AL., 2016).

Portanto, o biogás desempenha um papel crucial na busca pela sustentabilidade nos âmbitos ambiental, social e econômico. Sua contribuição se estende à redução da poluição, ao estímulo da distribuição descentralizada de energia e, como resultado, a representação de um produto de elevado valor agregado.

## OBJETIVO

Realizar uma estimativa da geração de biogás em aterros sanitários nos municípios de Ananindeua/PA e Marabá/PA, a partir do emprego dos softwares LandGEM (EPA) e Biogás (Cetesb), ferramentas que podem ser utilizadas na análise da possibilidade de implantação de usinas de biogás em aterros. Visa, portanto, não apenas fornecer dados sobre a geração de biogás, mas também contribuir para embasar decisões estratégicas no sentido de promover práticas sustentáveis e eficiência no gerenciamento de resíduos sólidos urbanos.

## METODOLOGIA

Ao conduzir a presente pesquisa, realizou-se uma análise abrangente por meio da consulta a diversas fontes, visando conferir amplitude e substância à abordagem quanto aos dados de população e o manejo de resíduos sólidos dos dois municípios paraenses. No site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) foi consultado, com foco particular na exploração do Censo Demográfico onde foi obtido os dados detalhados relativos à população.

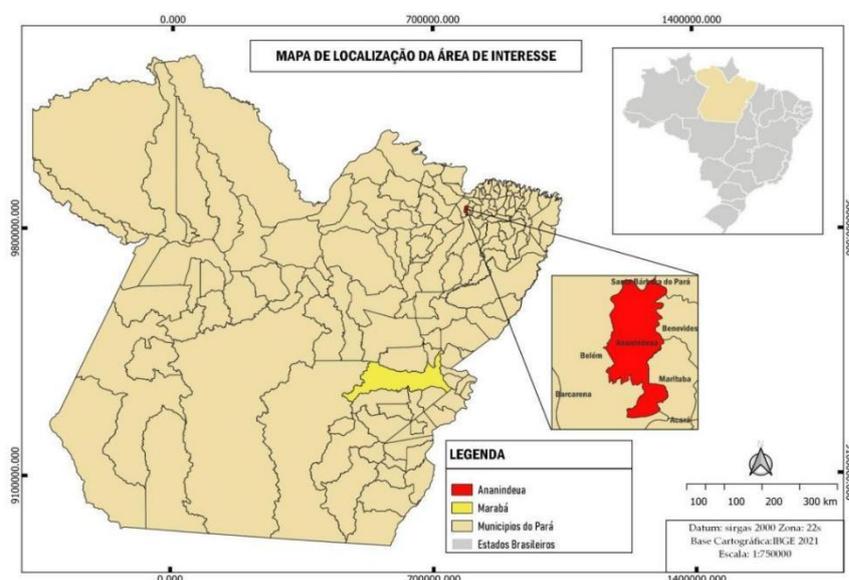
E o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) foi a fonte de referência para compreender a infraestrutura de saneamento acerca do manejo de resíduos sólidos nos municípios. Além desses, foi realizada uma revisão da literatura, a fim de possibilitar uma análise profundamente embasada de estudos, artigos científicos e publicações pertinentes.

As duas etapas de trabalho serão descritas a seguir:

## ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo são os municípios de Ananindeua e Marabá, ambos situados no estado do Pará, região norte do Brasil (Figura 1).

Figura 1 - Localização da área de estudo.



Fonte: Autores (2024)

Situado na região metropolitana de Belém, o município de Ananindeua possui uma população estimada de 478.778 habitantes e área territorial de 109.581 km<sup>2</sup> (IBGE, 2022a). A disposição final dos resíduos sólidos urbanos gerados no município é realizada em um aterro sanitário particular localizado em Marituba, município pertencente à Região Metropolitana de Belém.

Com relação ao município de Marabá, este possui população residente de 266.533 habitantes, compreendendo uma área territorial de 15.128,058 km<sup>2</sup> (IBGE, 2022b). A disposição dos resíduos sólidos gerados em Marabá é realizada em um aterro localizado no próprio município, sendo caracterizado como um aterro controlado, visto que não possui todas as estruturas necessárias para ser classificado como um aterro sanitário (SILVA; LIMA; VIDAL, 2017).

A taxa de crescimento populacional para os dois municípios foi calculada a partir da Equação 1 com dados oficiais do IBGE dos anos de 2010 e 2022 e foram agrupados na Tabela 2.

$$r = \left[ \left( \sqrt{\frac{P_2}{P_0}} \right) - 1 \right] \times 100 \quad (1)$$



## OS SOFTWARES LANDGEM E BIOGÁS (CETESB)

O LandGEM, ou Landfill Gas Emissions Model, é um software desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) para avaliar e calcular as emissões de gases provenientes de aterros sanitários. Seu principal foco é estimar a quantidade de metano e outros gases emitidos durante o processo de decomposição de resíduos sólidos em aterros.

O funcionamento do LandGEM baseia-se em modelar as condições específicas de um aterro, considerando fatores como o tipo de resíduo depositado, as características do solo, o clima local e as práticas de gerenciamento do aterro. O software utiliza equações matemáticas e algoritmos para simular o processo de degradação anaeróbica dos resíduos orgânicos, resultando na produção de gases, principalmente metano.

O cálculo da geração de metano (CH<sub>4</sub>) e outros gases pode ser encontrado pela Equação 2.

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0,1}^1 kL_0 \left(\frac{M_t}{10}\right) e^{-kt_{i,j}} \quad (2)$$

Onde:

$Q_{CH_4}$  = geração anual de metano no ano do cálculo (m<sup>3</sup>/ano);

$i$  = incremento de tempo de 1 ano;

$n$  = (ano do cálculo) – (ano inicial do cálculo);

$j$  = incremento de tempo de 0,1 ano;

$k$  = taxa de geração de metano;

$L_0$  = capacidade potencial de geração de metano (m<sup>3</sup>/Mg);

$M_t$  = massa de resíduos aceita no  $t$ -ésimo ano Mg;

$T_{i,j}$  = idade da  $j$ -ésima seção de massa de resíduo  $M_i$ , aceita no  $i$ -ésimo ano (anos em número decimal, p. ex. 3,2 anos).

O BIOGÁS, desenvolvido pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), é um software dedicado à avaliação da geração de biogás em aterros sanitários. Sua função primordial é modelar, de maneira matemática, com equação cinética de primeira ordem a produção de biogás ao longo do tempo decorrente da decomposição anaeróbica de resíduos sólidos orgânicos, conforme a Equação 3.

$$\sum Q_x = kL_0 \sum (R_x e^{-k(x-T)}) \quad (3)$$

$$\int \frac{dQ}{dt} = kR_x L_0$$

$$Q_x = kR_x L_0 e^{-k(x-T)}$$

Onde:



$Q_x$  = vazão de metano ( $m^3 CH_4$ /ano);

$k$  = constante de decaimento (1/ano);

$L_0$  = potencial de geração de biogás ( $m^3/kg$ );

$R_x$  = fluxo de resíduos (t/ano);

$x$  = ano atual;

$T$  = ano de deposição do resíduo.

Os dois softwares permitem aos gestores ambientais e pesquisadores uma análise detalhada das emissões de gases em aterros sanitários, possibilitando estratégias eficazes de mitigação e gerenciamento ambiental. Na determinação da estimativa do biogás pelos softwares foram empregados os parâmetros de taxa de capitação do biogás no aterro (%), potencial de geração de metano -  $L_0$  - ( $m^3$  de  $CH_4$ ), taxa de geração de metano ( $k$ ) e motor a combustão interna a pistão (%) obtidos nos estudos de Piñas et al., (2016) que estimaram a quantidade de biogás e energia gerada da decomposição anaeróbica em um aterro sanitário na cidade de Três Corações, Minas Gerais, a partir dos modelos LandGEM (EPA) e Biogás (Cetesb).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de entrada para utilização nos softwares foram obtidos através dos sites do IBGE e SNIS, e dos estudos de Pinãs et al., (2016), conforme a Tabela 1. Foi considerado para os dois aterros uma vida útil de 30 anos.

**Tabela 1: Dados de entrada para os softwares**

Variáveis	Ananindeua	Marabá	Fonte
População urbana em 2022 - ano 1 (habitantes)	478.778,00	266.533,00	IBGE
Quantidade de RSU produzida (toneladas)	191.448,50	100.000,00	SNIS (2022)
Índice de geração de RSU per capita (kg/hab/dia)	0,68	0,56	SNIS (2022)
Taxa de coleta dos RSU (%)	99,00	86,91	SNIS (2022)
Taxa de capitação do biogás no aterro (%)	50,00	50,00	PINAS ET AL. (2016)
Potencial de geração de metano - $L_0$ - ( $m^3$ de $CH_4$ )	170,00	170,00	PINAS ET AL. (2016)
Taxa de geração de metano ( $k$ )	0,05	0,05	PINAS ET AL. (2016)
Motor a combustão interna a pistão (%)	33,00	33,00	PINAS ET AL. (2016)

Conforme a Tabela, o município de Ananindeua se destaca com uma população maior, apresentando também um per capita relativamente mais elevado e uma taxa de coleta de RSU de 99% maior que Marabá, enquanto o município de Marabá apesar de possuir uma população menor, apresenta um per capita aproximado e uma taxa de coleta inferior, de 86,91%.

Quanto a taxa de crescimento populacional, na Tabela 2 está apresentada os valores de acordo com a Equação 1.

**Tabela 2: Taxa de crescimento populacional**

Município	População (2010)	População (2022)	Taxa de crescimento populacional (Dados IBGE)
Ananindeua	471.980	478.778	0,12
Marabá	233.669	266.533	1,1

## GERAÇÃO NO BIOGÁS

As Figuras 2 e 3 refletem as projeções e estimativas geradas pelos softwares Biogás, considerando variáveis como tipo de resíduo, condições climáticas e características locais dos aterros sanitários.

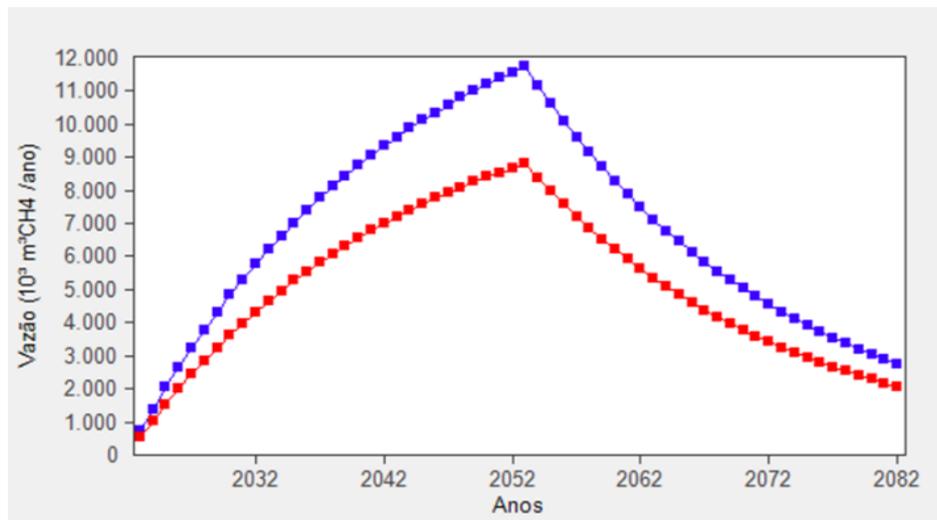


Figura 2- Vazão de metano Ananindeua (Biogás)

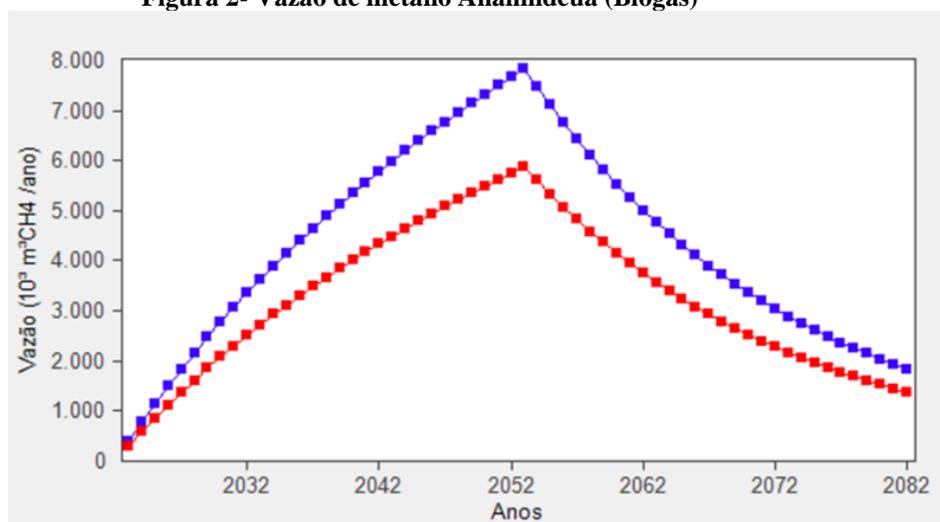


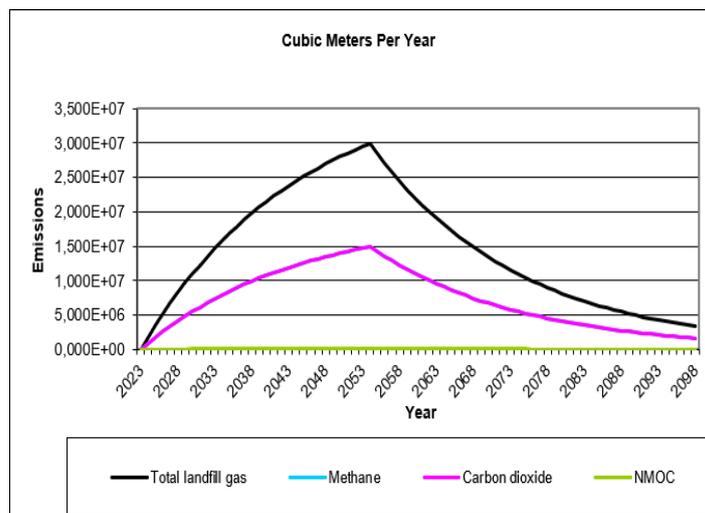
Figura 3 - Vazão de metano Marabá (Biogás)

O município de Ananindeua, no ano inicial de funcionamento do aterro sanitário apresentaria uma vazão de metano de  $711 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{ano}$ , enquanto no pico de geração de metano, seria de  $11.747 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{ano}$ , com uma vazão de Metano coletado na casa do  $8.810 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{ano}$  para uma população de 496.317 habitantes.

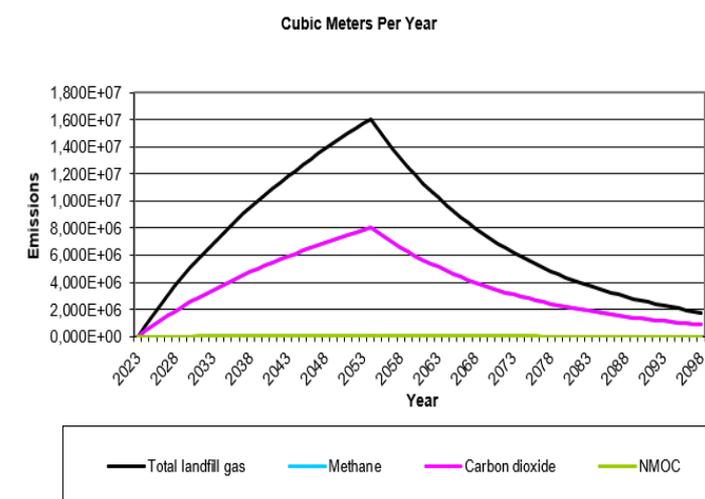
Conquanto, o município de Marabá, no ano inicial de funcionamento do aterro sanitário apresentaria uma vazão de metano de  $394 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{ano}$ , enquanto no pico de geração de metano, seria de  $7.850 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{ano}$ , com uma vazão de Metano coletado na casa do  $5.888 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{ano}$  para uma população de 370.072 habitantes.

### GERAÇÃO NO LANDGEM

As Figuras 4 e 5 refletem as projeções e estimativas geradas pelos software Landgem.



**Figura 4 - Pico de geração em Ananindeua (Landgem)**

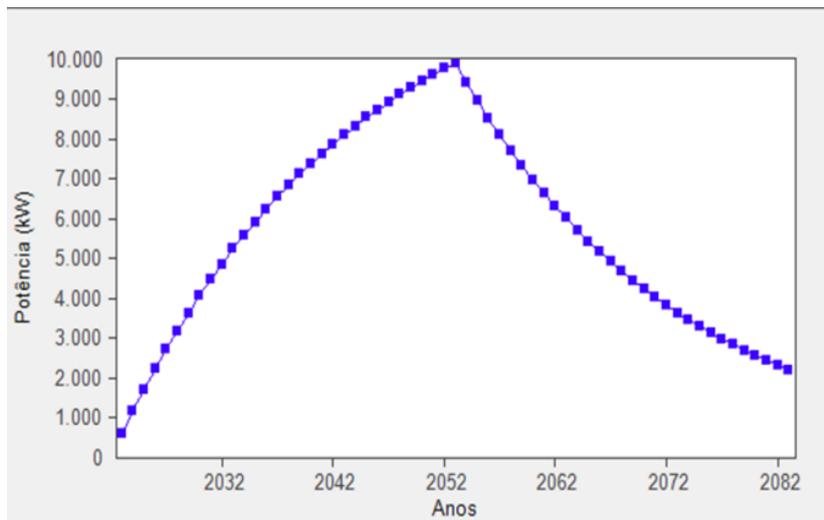
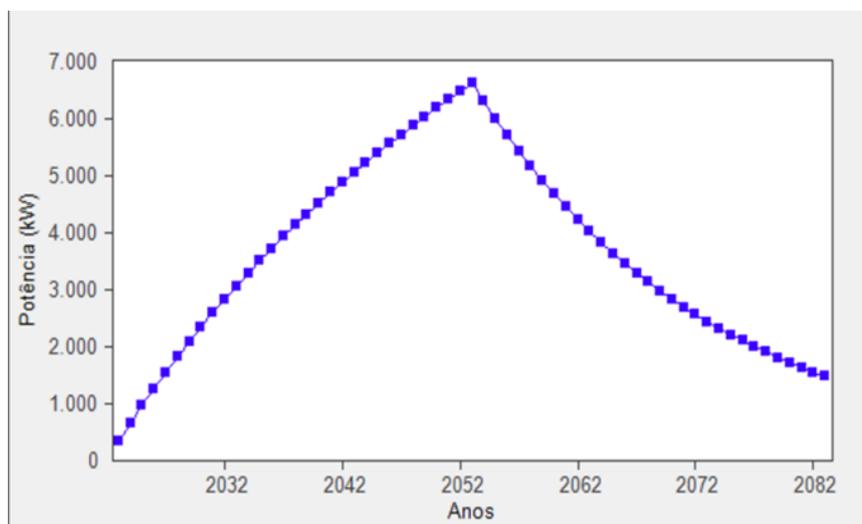


**Figura 5 - Pico de geração em Marabá (Landgem)**

O pico de geração de gases para o município de Ananindeua será em 2054, um ano após o encerramento da vida útil do aterro, onde de acordo com o programa a quantidade de metano e dióxido de carbono gerado será equivalente, apresentando uma queda na quantidade gerada a partir de então. A quantidade de metano gerado em 2054 será de  $1,494E+07$  m<sup>3</sup>/ano.

Quanto ao município de Marabá, o pico de geração de gases também será em 2054, apresentando uma queda na quantidade gerada a partir de então. A quantidade de metano gerado em 2054 será de  $8,029E+06$  m<sup>3</sup>/ano. No Gráfico da Figura 5 os valores de metano e dióxido de carbono são iguais, pela mesma razão.

Quanto à potência de energia, que poderia ser gerada, conforme os gráficos (Figuras 6 e 7), a mesma também teria seu pico no ano de 2053, ano de encerramento da atividade de recebimento de resíduos pelo aterro sanitário.


**Figura 6 - Potência de Ananindeua**

**Figura 7 - Potência de Marabá**

O município de Ananindeua, no ano inicial de funcionamento do aterro sanitário apresentaria uma potência de 601 kW, equivalente a 2.050 MMBtu/h, enquanto no pico de geração de potência ela chegaria a 9.926 kW e 33.869 MMBtu/h (Tabela 3).

**Tabela 3: Potência produzida de Ananindeua**

Ano	Potência (kW)	Potência (m <sup>3</sup> /h)	Potência (MMBtu/h)
2023	601	69	2.050
2053	9.926	1.133	33.869
2083	2.215	253	7.557

O município de Marabá, conquanto, no ano inicial de funcionamento do aterro sanitário apresentaria uma potência de 333 kW, equivalente a 1.135 MMBtu/h, enquanto no pico de geração de potência ela chegaria a 6.633 kW e 22.633 MMBtu/h (Tabela 4).

**Tabela 4: Potência produzida de Marabá**



Ano	Potência (kW)	Potência (m <sup>3</sup> /h)	Potência (MMBtu/h)
2023	333	38	1.135
2053	6.633	757	22.633
2083	1.480	169	5.050

A meticulosa avaliação desses dados proporciona uma compreensão abrangente do potencial de produção de biogás nessas localidades, um fator decisivo na gestão de resíduos e na avaliação dos impactos ambientais associados. Esses elementos são fundamentais para o desenvolvimento de estratégias sustentáveis de gestão ambiental e para a avaliação do potencial de aproveitamento energético proveniente dos resíduos orgânicos.

Importante ressaltar que a interpretação destes resultados requer uma análise criteriosa, levando em consideração as particularidades de cada município. A apresentação das informações tabulares e gráficas a seguir oferece insights significativos sobre a dinâmica da geração de biogás em Ananindeua e Marabá, contribuindo para uma compreensão mais aprofundada do panorama ambiental e energético dessas localidades.

## CONCLUSÕES

A utilização do metano para geração de energia elétrica é considerada uma das melhores opções, uma vez que, por um lado, contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa e, por outro, apresenta benefícios econômicos, seja pela economia de energia elétrica ou pela possibilidade de venda à rede elétrica.

Na seleção dos softwares Biogás e LandGEM recomenda-se uma análise detalhada das características e requisitos específicos de cada software, levando em conta aspectos como facilidade de uso, precisão dos resultados e adaptabilidade às condições locais. Em última instância, a escolha do software mais adequado dependerá das demandas e objetivos particulares de quem o utilizam, proporcionando uma abordagem mais completa para a gestão eficaz das emissões de gases em aterros sanitários.

A análise comparativa entre os softwares Biogás e LandGEM proporcionou insights valiosos sobre a estimativa da geração de biogás em aterros sanitários para os municípios de Ananindeua/PA e Marabá/PA, caso seja implantado usinas nos mesmos. No entanto, é crucial reconhecer algumas limitações encontradas ao longo deste estudo, como as variações dos resultados dos softwares mais pronunciadas em Ananindeua.

Diante dessas limitações, recomenda-se que novos estudos sejam conduzidos, incorporando dados mais detalhados e aprimorando os modelos utilizados. Essas pesquisas futuras contribuirão para uma compreensão mais robusta da geração de biogás em aterros sanitários, fundamentando ainda mais as decisões relacionadas à gestão de resíduos e à produção sustentável de energia.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANANINDEUA (PA). Pasta nº 1 - Termo de Referência. Projeto de drenagem visando a correção dos alagamentos na área da Cidade Nova VIII, município de Ananindeua-PA. Ananindeua: Secretaria Municipal de Saneamento e Infraestrutura, nov. 2022
2. BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 3 ago. 2010. Seção 1, p. 1.
3. 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. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 27, p. 67-77, 2022.



SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO  
DE ENGENHARIA SANITÁRIA  
E AMBIENTAL



4. IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Panorama do Município de Ananindeua. 2022a. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pa/anandindeua.html>. Acesso em: 18 jan. 2024.
5. \_\_\_\_\_. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Panorama do Município de Marabá. 2022b. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pa/maraba.html>. Acesso em: 18 jan. 2024.
6. LYRA, G. B., DE CARVALHO, A. L., LYRA, G. B., MAIA, S. M. F., SANTOS, L. R., MAGALHÃES, I. D., ... & CANTARELLI, A. L. D. Estimativa de geração de biogás em aterro sanitário no Estado de Alagoas (Biogas generation estimation in the sanitary land of the milk bowl of the state of Alagoas). *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 11, n. 7, p. 2276-2286, 2018.
7. MARABÁ. História do Município. In: Câmara Municipal de Marabá. Marabá-PA, 21 set. 2016. Disponível em: <https://maraba.pa.leg.br/institucional/maraba>. Acesso em: 20 jan. 2023.
8. NASCIMENTO, M. C. B., FREIRE, E. P., DANTAS, F. D. A. S., & GIANSANTE, M. B. Estado da arte dos aterros de resíduos sólidos urbanos que aproveitam o biogás para geração de energia elétrica e biometano no Brasil. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 24, p. 143-155, 2019.
9. PIÑAS, J. A. V., VENTURINI, O. J., LORA, E. E. S., OLIVEIRA, M. A. D., & ROALCABA, O. D. C. Aterros sanitários para geração de energia elétrica a partir da produção de biogás no Brasil: comparação dos modelos LandGEM (EPA) e Biogás (Cetesb). *Revista Brasileira de Estudos de População*, v. 33, p. 175-188, 2016.
10. SILVA, C. O., KONRAD, O., & CALLADO, N. H. Geração de Biogás no Aterro Sanitário de Maceió a Partir de Modelos Empíricos. *Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science*, v.11, n.2, 68.-82. 2022 • p. 68-82
11. SILVA, H. L. D. C., CARVALHO, H. D. C. D., PINTO, J., NASCIMENTO, L. W., & SILVA, R. M. Gerenciamento de resíduos sólidos orgânicos do Consórcio do Maciço de Baturité: Análise técnica e econômica da geração de biogás por aterro sanitário e usina de digestão anaeróbia. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 26, p. 855-864, 2021.
12. SILVA, S. B. C., LIMA, J.P. C., VIDAL, M. R. Gestão dos Resíduos Sólidos no “Aterro Sanitário” da Cidade de Marabá-PA. In: VIII Semana Acadêmica da UEPA. n° 4, 2017, Marabá-PA. *Anais Eletrônicos*, ISSN: 2447-7605. Marabá-PA: 2017.
13. SOUZA, A. R. D., SILVA, A. T. Y. L., TRINDADE, A. B., FREITAS, F. F., & ANSELMO, J. A. Análise do potencial de aproveitamento energético de biogás de aterro e simulação de emissões de gases do efeito estufa em diferentes cenários de gestão de resíduos sólidos urbanos em Varginha (MG). *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 24, p. 887-896, 2019.
14. ZAVARISE, J. P., PIMASSONI, Y. S., PINOTTI, L. M., & LEMOS, E. C. L. Emissões teóricas de biogás de aterro e seu aproveitamento energético no Brasil: um estudo bibliométrico. *Latin American Journal of Energy Research*, v. 8, n. 1, p. 96-108, 2021.