

**POTENCIAL DE BIOGÁS A PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS
NO BAIXO JAGUARIBE-CE: OPORTUNIDADES PARA
APROVEITAMENTO ENERGÉTICO**

Ana Alice Alexandre Pereira¹; Diego Carvalho Silva ²; Daniela Lima Machado da Silva ³

Resumo –Este estudo teve como objetivo estimar o potencial de geração de biogás na Região Geográfica Imediata de Russas - Limoeiro do Norte, localizada no Ceará, identificando os municípios com maior capacidade de produção. A análise incluiu os municípios de Alto Santo, Limoeiro do Norte, Morada Nova, Palhano, Quixeré, Russas, São João do Jaguaribe e Tabuleiro do Norte. A metodologia utilizada baseou-se nas diretrizes do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) para cálculo das emissões de metano, considerando projeções de geração de resíduos até 2050. Os resultados indicam que a região do Baixo Jaguaribe possui um potencial estimado de 18 milhões de m³ de CH₄/ano, volume que, se convertido em energia elétrica, poderia gerar aproximadamente 40 mil MWh/ano. Esse aproveitamento representaria não apenas uma redução nas emissões de gases de efeito estufa, mas também uma alternativa sustentável para a gestão de resíduos e geração de energia local. Conclui-se que a implementação de sistemas de captação e conversão de biogás nessa região é tecnicamente viável e ambientalmente benéfica. Recomenda-se, para estudos futuros, uma avaliação econômica detalhada e a elaboração de projetos piloto para verificação *in loco* das condições de viabilidade operacional.

Palavras-Chave – Biogás; Resíduos Sólidos Urbanos; Energias Renováveis.

Abstract –This study aimed to estimate the biogas generation potential in the Immediate Geographic Region of Russas - Limoeiro do Norte, located in Ceará, Brazil, identifying the municipalities with the highest production capacity. The analysis included the municipalities of Alto Santo, Limoeiro do Norte, Morada Nova, Palhano, Quixeré, Russas, São João do Jaguaribe, and Tabuleiro do Norte. The methodology followed the guidelines of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) for methane emission calculations, considering waste generation projections up to 2050. The results indicate that the Baixo Jaguaribe region has an estimated potential of 18 million m³ of CH₄/year, which, if converted into electrical energy, could generate approximately 40,000 MWh/year. This utilization would not only reduce greenhouse gas emissions but also provide a sustainable alternative for waste management and local energy generation. In conclusion, the implementation of biogas capture and conversion systems in this region is technically feasible and environmentally beneficial. Further studies should include a detailed economic assessment and pilot projects to verify operational feasibility on-site.

Keywords: Biogas; Municipal Solid Waste; Renewable Energy.

¹ Aluno, Universidade Federal do Ceará, (85) 997452498, anaalicealexandre30@alu.ufc.br

² Aluno, Universidade Federal do Ceará, (89) 994357996, diegocasilva@alu.ufc.br

³ Professora., Doutora, Universidade Federal do Ceará, (83) 996315101, danielalms@ufc.br

1. INTRODUÇÃO

De acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2022), o Brasil gerou aproximadamente 82,5 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU) no último ano, dos quais 40% ainda são descartados de maneira inadequada. Esse cenário ressalta a necessidade de soluções sustentáveis para o gerenciamento de resíduos, especialmente no que se refere à destinação em aterros sanitários e ao aproveitamento energético dos gases resultantes da decomposição da matéria orgânica.

O biogás é um subproduto da biodegradação anaeróbica da fração orgânica dos RSU, sendo composto majoritariamente por metano (40-75%) e dióxido de carbono (15-60%), além de pequenas quantidades de outros gases, como vapor d'água, sulfeto de hidrogênio, amônia e monóxido de carbono. Seu aproveitamento energético contribui para a redução das emissões de CO₂, mitigando o efeito estufa e promovendo uma alternativa renovável à geração de energia (MARTINS et al., 2015).

Quando bem gerenciada, a destinação de resíduos a aterros sanitários pode viabilizar a captura e o uso do metano (CH₄) na geração de energia elétrica. No entanto, em regiões de clima semiárido, como o Baixo Jaguaribe (CE), a decomposição anaeróbica dos resíduos enfrenta desafios, especialmente devido à baixa umidade, fator que pode impactar a geração de biogás (SILVA, 2023). A eficiência desse processo depende de múltiplos fatores, como composição dos resíduos, condições climáticas e infraestrutura para captação e tratamento do biogás.

Diante desse contexto, este estudo tem como objetivo estimar o potencial de geração de biogás na Região Geográfica Imediata de Russas - Limoeiro do Norte, identificando os municípios com maior viabilidade para essa produção. A partir dos resultados obtidos, pretende-se contribuir para a formulação de estratégias voltadas ao aproveitamento energético do biogás, promovendo um modelo sustentável de gestão de resíduos na região.

2. METODOLOGIA

Os municípios analisados neste estudo são Alto Santo, Limoeiro do Norte, Morada Nova, Palhano, Quixeré, Russas, São João do Jaguaribe e Tabuleiro do Norte. Todos eles pertencem à Região Geográfica Imediata de Russas-Limoeiro do Norte, conforme ilustrado na Figura 1, que apresenta suas localizações geográficas e distribuição territorial no estado do Ceará.

A região do Baixo Jaguaribe é caracterizada por um clima semiárido tropical quente, tendo uma temperatura média anual de 26°C a 28°C. De acordo com Silva (2023), a faixa térmica ideal para a decomposição anaeróbica da matéria orgânica e, conseqüentemente, na produção de metano (CH₄) é entre 30°C e 40°C, o que mostra que as condições da região do Baixo Jaguaribe são próximas do ideal para o processo de decomposição. Entretanto, o baixo índice pluviométrico, em torno dos 750mm anuais, ocasiona o ressecamento dos resíduos, interferindo diretamente na atividade microbiana e reduzindo a produção de biogás.

Com isso, a estimativa da emissão de biogás será realizada com base na metodologia proposta pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2006), utilizando as equações de cálculo do metano gerado em aterros sanitários.



Figura 1: Regiões de planejamento do estado do Ceará
 Fonte: Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará – IPECE

Os dados de composição dos RSU e de destinação dos resíduos foram obtidos de fontes oficiais, como IPECE (Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará), SEMA-CE (Secretaria do Meio Ambiente e Mudança do Clima do Estado do Ceará) e de trabalhos que já realizaram estudos semelhantes na região, como Silva (2021). A emissão de metano será dada pela expressão mostra na Equação 1.

$$Q_{CH4} = [(POP_{urb} \times TAXA_{rsu} \times RSU_f \times L_0) - R] \times (1 - OX) \quad (Eq. 1)$$

Onde:

Q_{CH4} = Emissão de gás metano (tonelada de CH₄/ano)

POP_{urb} = População urbana (nº de habitantes).

$TAXA_{rsu}$ = Taxa anual de geração de RSU per capita (kg_{RSU} / habitante*ano);

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

L_0 = Potencial de geração de metano dos RSU (tonelada de CH₄/tonelada de RSU);

R = Metano recuperado (tonelada de CH₄/ano);

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

De acordo com (IPCC, 2006), o L_0 pode ser calculado por meio da Equação 2:

$$L_0 = FCM \times COD \times COD_f \times F \times (16/12). \quad (Eq. 2)$$

Sendo:

L0 = Potencial de geração de metano dos RSU (tonelada de CH₄/tonelada de RSU)

FCM = Fator de correção de metano (%)

COD = Carbono orgânico degradável (kgC/kgRSU)

COD_f = Fração de COD dissolvida (kgC/kgRSU)

F = Fração de metano no biogás de aterro

16/12 = Fator de conversão de carbono em metano (tonelada de CH₄/tonelada de C).

Além do L0, o IPCC (2006) e o IPCC (2006) consideram os parâmetros R (valor de metano recuperado) e OX (fator de oxidação de metano na superfície do aterro) iguais a zero, respectivamente. Já para o parâmetro F (fração de metano no biogás de aterro), foi utilizado o valor de 50%. A fração 16/12 representa a conversão de carbono para metano.

De acordo com o IPCC (1996), o FMC (fator de correção de metano) para aterros sanitários é fixado em 1,0. Bingemer e Crutzen (1987) destacam que a temperatura na zona anaeróbica do aterro pode variar. No entanto, conforme o IPCC (1996b), a temperatura do COD_f (quantidade de carbono disponível para decomposição bioquímica) é assumida como constante em 35°C. Dessa forma, o COD_f é determinado pela Equação 3:

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

Tendo o IPCC (1996) como norma, o parâmetro COD (carbono orgânico degradável) representa a fração do carbono presente nos resíduos sólidos urbanos (RSU) que pode ser degradado biologicamente sob condições anaeróbicas, resultando na produção de metano. Ele é calculado com base na composição dos resíduos sólidos urbanos, levando em conta a fração de cada tipo de material e sua respectiva fração de carbono orgânico degradável, expresso pela Equação 4:

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

Onde:

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.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com a aplicação da metodologia proposta, Russas, Limoeiro do Norte e Morada Nova se destacam como os municípios que mais emitem metano (CH₄) entre os analisados. Pois são os municípios com as maiores populações urbanas do Baixo Jaguaribe, logo, os municípios que mais geram resíduos sólidos urbanos (RSU). A projeção ao longo dos anos indica um crescimento gradual na geração de biogás, atingindo aproximadamente 18 milhões de m³ CH₄/ano até 2050, conforme ilustrado nas Figuras 2A e 2B. Dentre os municípios expostos, conforme analisado na

Figura 3, Russas, sozinho, possui uma geração de biogás maior que a soma dos municípios de Palhano e São João do Jaguaribe, ultrapassando os 6 milhões $\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{ano}$. Esse número explicita um considerável potencial energético que, com o avanço ao longo dos anos de políticas públicas que incentivem a instalação de sistemas de captação e o aproveitamento de biogás em aterros sanitários, seja capaz de se converter o biogás em energia elétrica, reduzindo a dependência de fontes de energias não limpas.

Entretanto, a baixa eficiência de muitos aterros utilizados, a falta de infraestrutura para coletar e tratar os gases, a escassez de mão de obra especializada para realização dessas operações e a não integração de planos de gestão de resíduos sólidos nos municípios, torna a conversão um processo longo e desafiador.

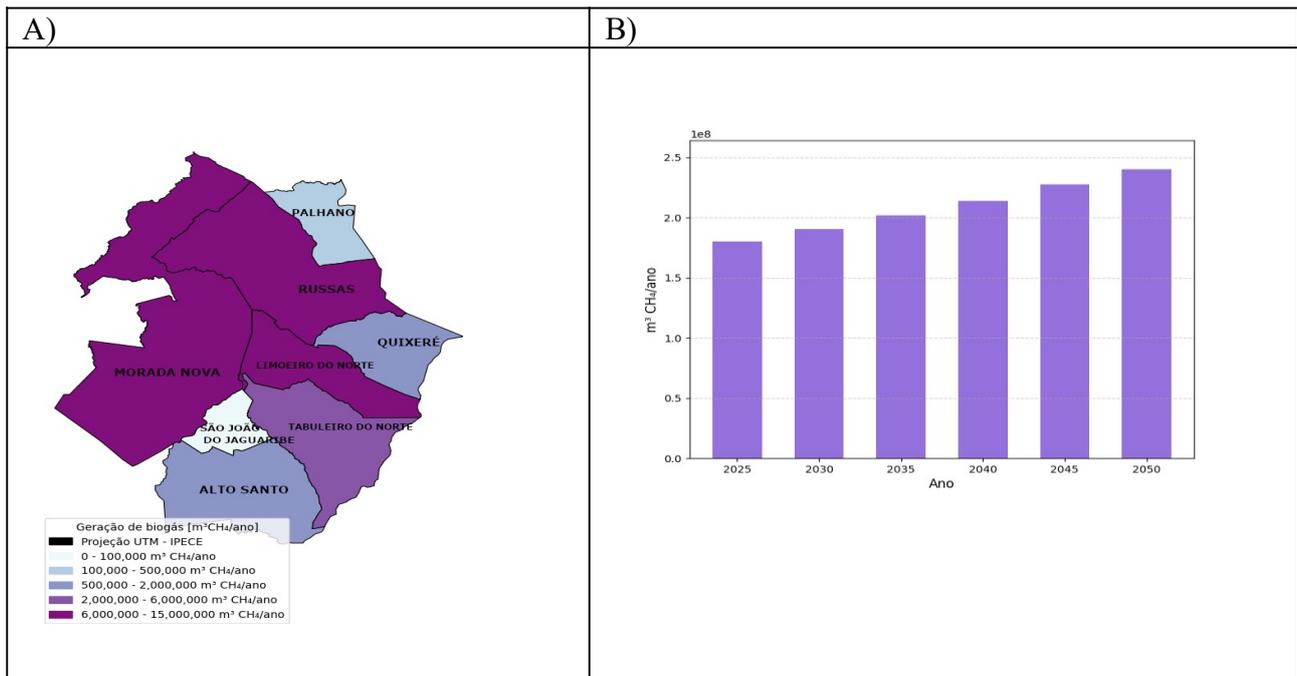


Figura 2: Previsão da geração de metano. A) Mapa geração por municípios; B) Estimativa da geração de biogás nos municípios do Baixo Jaguaribe para até 2050.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

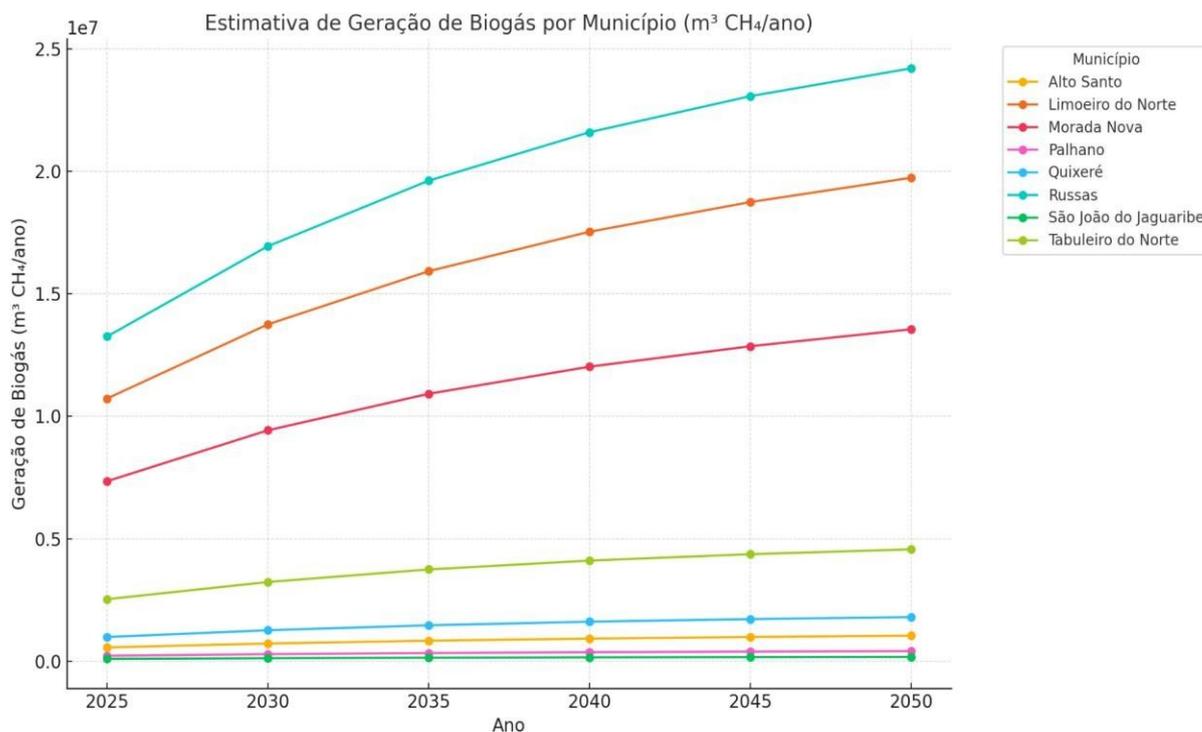


Figura 3: Estimativa por ano considerando os municípios separadamente
 Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Outro fator que contribui para a maior emissão de CH_4 nos municípios de Russas, Limoeiro do Norte e Morada Nova é o alto percentual de matéria orgânica, com valores de 40%, 45,4% e 33,9%, respectivamente. Embora esses percentuais sejam próximos aos das demais cidades, o impacto é potencializado pelo maior número de habitantes, conforme mencionado anteriormente. Ademais, a matéria orgânica gerada nesses municípios apresenta valores elevados quando comparada à porcentagem de outros RSU, como metal ou vidro.

O aumento da geração de biogás até 2050 pode ser impulsionado por fatores além do crescimento populacional, como a expansão da agropecuária, que contribui para a maior produção de matéria orgânica. Além disso, investimentos em biodigestores — equipamentos responsáveis pela decomposição da matéria orgânica (que representa a maior porcentagem dos resíduos sólidos urbanos no Baixo Jaguaribe) por meio de bactérias anaeróbias — também podem favorecer esse crescimento.

O biogás surge como uma solução para alguns empecilhos, como o destino final dos RSU, contribuindo para a redução dos impactos dos aterros sanitários, como a ocupação do solo e a contaminação do solo e da água. Outro fator bastante importante é a geração de energia elétrica, que pode substituir fontes não renováveis, como os combustíveis fósseis.

Assim, os principais desafios que podem surgir para a implementação de tecnologias de captação e aproveitamento do biogás são os altos custos iniciais, a falta de capacitação técnica e as barreiras regulamentadoras. Esses desafios podem ser solucionados por meio das respectivas políticas públicas, como programas de incentivo à pesquisa e inovação, com o objetivo de desenvolver tecnologias mais baratas e eficientes, além de formar profissionais experientes para trabalhar nesse setor, incentivos fiscais e tributários, e legislações específicas e claras para o biogás,

4. CONCLUSÃO

Diante dos resultados obtidos, este estudo contribui para a compreensão do potencial energético do biogás proveniente dos resíduos sólidos urbanos do Baixo Jaguaribe, fornecendo informações relevantes para o planejamento de políticas públicas e projetos ambientais voltados para a sustentabilidade. Além de que, a projeção da geração de biogás nos aterros sanitários do Baixo Jaguaribe permite uma análise detalhada da viabilidade da implantação de sistemas de captação e aproveitamento energético do metano. Esse aproveitamento pode contribuir para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa e para o desenvolvimento de fontes renováveis de energia na região.

A estimativa total de geração de biogás da região do Baixo Jaguaribe, em 2050, é de aproximadamente 18 milhões de m³ CH₄/ano, que convertido, chega a quase 40 mil MWh de energia elétrica. Levando em consideração o consumo médio brasileiro, esse volume seria suficiente para abastecer 20 mil casas durante um ano.

Com isso, os resultados não demonstram apenas o potencial energético dos RSU da região, mas também um caminho para a contribuição de uma matriz energética sustentável reduzindo sempre os gases de efeito estufa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. (2022). *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil em 2022*. Disponível em: <https://www.abrema.org.br/panorama/>. Acesso em: 17 mar. 2025.

Silva, J. V. (2023). *Caracterização Bioclimática para Região do Baixo Jaguaribe - CE, por meio da obtenção do Ano Climático de Referência (TRY) dos Municípios de Jaguaruana e Morada Nova*.

Silva, J. S. C. (2021). *Estimativa do Potencial de Geração de Biogás e de Energia Elétrica a partir de Resíduos Sólidos Urbanos na Região do Vale do Jaguaribe-CE*.

IPCC (2006). *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/>. Acesso em: 26 fev. 2025.

IPCC (1996). *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs6.html>. Acesso em: 26 fev. 2025.

Bingemer, H. G., & Crutzen, P. J. (1987). *The production of methane from solid waste*. Journal of Geophysical Research, 92(D2). Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/JD092iD02p02181>. Acesso em: 26 fev. 2025.

IPECE (2015). *As regiões de planejamento do Estado do Ceará*. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. Disponível em: https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2014/02/TD_111.pdf. Acesso em: 26 fev. 2025.

SEMA-CE (2018). *Panorama dos Resíduos Sólidos do Ceará*. Secretaria do Meio Ambiente e Mudança do Clima do Estado do Ceará. Disponível em: <https://www.sema.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/36/2018/12/Versao-resumida-Finalizada-.pdf>. Acesso em: 26 fev 2025