



CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

9º CONRESOL

9º Congresso Sul-Americano  
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade



## AValiação DO POTENCIAL DE RECUPERAÇÃO ENERGÉTICA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS VIA DIGESTÃO ANAERÓBIA NO MUNICÍPIO DE MARINGÁ - PR

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.9.26.XII-002>

Bruno Eduardo Figueiredo Fernandes (\*), Pâmela Herrera Dutra, André Luis Gomes Simões

\* Universidade Estadual de Maringá, email: brunoesp13@gmail.com

### RESUMO

O presente estudo avaliou, de forma aprofundada, o potencial de recuperação energética da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos (FORSU) no município de Maringá-PR por meio da digestão anaeróbia, considerando o crescimento contínuo da geração de resíduos, a necessidade de soluções sustentáveis para sua destinação e os impactos ambientais associados à disposição em aterros sanitários, especialmente a emissão de metano. A metodologia baseou-se em modelos consolidados da literatura para estimar a geração anual de resíduos, a composição gravimétrica, a produção potencial de metano e biogás e a conversão energética em eletricidade, incluindo cenários prospectivos de crescimento populacional e aumento da geração per capita ao longo do horizonte de 2025 a 2045. Os resultados indicaram que a FORSU corresponde a aproximadamente 46,10% dos resíduos urbanos gerados, representando significativa disponibilidade de substrato para conversão biológica, com produção anual estimada entre 5,2 e 6,2 milhões de m<sup>3</sup> de biogás e volume de metano entre 2,86 e 3,43 milhões de m<sup>3</sup> por ano, resultando em geração elétrica potencial entre 9,9 e 11,9 GWh anuais e potencial acumulado de cerca de 232,9 GWh no período analisado. Em termos práticos, a energia gerada poderia abastecer aproximadamente 4,6 a 5,6 mil residências, correspondendo a 13,8 a 16,8 mil habitantes, ou cerca de 3% a 4% da população municipal, além de reduzir a dependência de fontes convencionais e contribuir para a descentralização da matriz energética. Conclui-se que a digestão anaeróbia da FORSU em Maringá apresenta viabilidade técnica, energética e ambiental, promovendo simultaneamente a redução da disposição em aterros, a mitigação das emissões de gases de efeito estufa e a valorização energética da matéria orgânica, configurando-se como alternativa estratégica para a gestão integrada de resíduos sólidos urbanos e para o fortalecimento de políticas públicas voltadas à sustentabilidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** Valorização energética, Gestão de resíduos, Potencial energético, Rota termoquímica, Conversão energética.

### ABSTRACT

The present study comprehensively evaluated the energy recovery potential of the organic fraction of municipal solid waste (OFMSW) in the municipality of Maringá-PR through anaerobic digestion, considering the continuous growth in waste generation, the need for sustainable disposal solutions, and the environmental impacts associated with landfill disposal, especially methane emissions. The methodology was based on consolidated literature models to estimate annual waste generation, gravimetric composition, potential methane and biogas production, and energy conversion into electricity, including prospective scenarios of population growth and increased per capita waste generation over the 2025–2045 planning horizon. The results indicated that OFMSW corresponds to approximately 46.10% of municipal waste generated, representing a significant availability of substrate for biological conversion, with estimated annual production between 5.2 and 6.2 million m<sup>3</sup> of biogas and methane volumes between 2.86 and 3.43 million m<sup>3</sup> per year, resulting in a potential electricity generation of 9.9 to 11.9 GWh annually and an accumulated potential of approximately 232.9 GWh over the analyzed period. In practical terms, the generated energy could supply approximately 4.6 to 5.6 thousand households, corresponding to 13.8 to 16.8 thousand inhabitants, or about 3% to 4% of the municipal population, while also reducing dependence on conventional sources and contributing to the decentralization of the local energy matrix. It is concluded that anaerobic digestion of OFMSW in Maringá presents technical, energy, and environmental feasibility, simultaneously promoting the reduction of landfill disposal, the mitigation of greenhouse gas emissions, and the energy valorization of organic matter, thus representing a strategic alternative for integrated municipal solid waste management and for strengthening public policies aimed at sustainability.

**KEY WORDS:** Energy recovery, Waste management, Energy potential, Thermochemical route, Energy conversion.



CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

9º CONRESOL

9º Congresso Sul-Americano  
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade



## INTRODUÇÃO

A geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) tem aumentado significativamente nas últimas décadas em decorrência do crescimento populacional, da intensificação das atividades econômicas e da elevação dos padrões de consumo da sociedade. Esse cenário tem pressionado os sistemas de gestão de resíduos e ampliado os desafios ambientais associados à disposição final inadequada desses materiais (ABRELPE, 2023).

A fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos representa, em média, entre 40% e 60% da composição gravimétrica dos resíduos gerados em países em desenvolvimento, constituindo um recurso com elevado potencial de recuperação energética por meio de processos biológicos (CHERNICHARO, 2016; MATA-ALVAREZ, 2023). Quando destinados a aterros sanitários, esses resíduos sofrem decomposição anaeróbia não controlada, resultando na emissão de gases de efeito estufa, principalmente metano ( $\text{CH}_4$ ), que apresenta elevado potencial de aquecimento global (IPCC, 2014).

Entre as tecnologias disponíveis para tratamento da fração orgânica dos resíduos, a digestão anaeróbia tem se destacado como uma alternativa eficiente para recuperação energética e estabilização da matéria orgânica. O processo consiste na degradação biológica da matéria orgânica na ausência de oxigênio, resultando na produção de biogás, composto principalmente por metano e dióxido de carbono, além de um resíduo estabilizado que pode ser utilizado como biofertilizante (SPEECE, 2007; CHERNICHARO, 2016).

Diversos estudos indicam que a digestão anaeróbia pode contribuir significativamente para a gestão sustentável de resíduos, reduzindo a quantidade de resíduos destinados à disposição final e permitindo a geração de energia renovável (MATA-ALVAREZ, 2023). Dalmo (2019) destaca que a avaliação do potencial energético dos resíduos sólidos urbanos depende diretamente da quantificação da geração de resíduos, da composição gravimétrica e da estimativa do potencial de produção de biogás da fração orgânica.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é avaliar o potencial de recuperação de energia a partir da digestão anaeróbia da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos em escala municipal, contribuindo para o desenvolvimento de estratégias integradas de gestão de resíduos e aproveitamento energético.

## OBJETIVOS

Avaliar o potencial de recuperação energética de resíduos sólidos urbanos via digestão anaeróbia para o município de Maringá-PR.

## METODOLOGIA

A metodologia adotada neste estudo baseou-se em modelos consolidados na literatura para estimativa da produção de biogás a partir da digestão anaeróbia da fração orgânica de resíduos sólidos urbanos, conforme descrito por Speece (2007), Chernicharo (2016), Mata-Alvarez (2023) e Dalmo (2019).

Inicialmente, estimou-se a massa total anual de RSU gerados no município, a partir de dados de geração per capita e projeções populacionais. A partir desse valor, foi determinada a fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos (FORSU), com base na composição gravimétrica disponível em estudos municipais de caracterização de resíduos. A massa anual da fração orgânica foi calculada utilizando a Equação (1):

$$M_{org} = M_{RSU} \times f_{org} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde  $M_{org}$  representa a massa anual de resíduos orgânicos (t/ano),  $M_{RSU}$  corresponde à massa total de resíduos sólidos urbanos gerados (t/ano) e  $f_{org}$  indica a fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos. A estimativa da produção de metano foi realizada considerando valores médios de produção específica de metano reportados na literatura para resíduos orgânicos urbanos. Diversos estudos indicam valores típicos entre 90 e 200  $\text{m}^3 \text{CH}_4$  por tonelada de resíduo orgânico (MATA-ALVAREZ, 2023). A produção anual de metano foi estimada pela Equação (2):

$$V_{CH_4} = M_{org} \times Y_{CH_4} \quad \text{Equação (2)}$$



CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

9º CONRESOL

9º Congresso Sul-Americano  
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade



Onde  $V_{CH_4}$  representa o volume anual de metano produzido ( $m^3/ano$ ) e  $Y_{CH_4}$  corresponde à produção específica de metano ( $m^3 CH_4/t$ ). Para estimar a produção de biogás total, considerou-se que o metano representa aproximadamente 60% da composição volumétrica do biogás (SPEECE, 2007). Assim, pela equação (3):

$$V_{biogás} = \frac{V_{CH_4}}{0,6} \quad \text{Equação (3)}$$

A conversão energética do biogás em eletricidade foi estimada considerando o poder calorífico inferior do metano, aproximadamente  $35,8 MJ/m^3$ , e eficiência elétrica média de sistemas de geração baseados em motores a biogás, estimada entre 30% e 40% (CHERNICHARO, 2016).

## RESULTADOS

A análise da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos do município de Maringá indicou que a FORSU corresponde a aproximadamente 46,10% da massa total de resíduos gerados, conforme demonstrado na Figura 1. Considerando a geração anual estimada de resíduos sólidos urbanos no município, essa proporção representa uma quantidade significativa de matéria orgânica potencialmente disponível para tratamento via digestão anaeróbia.

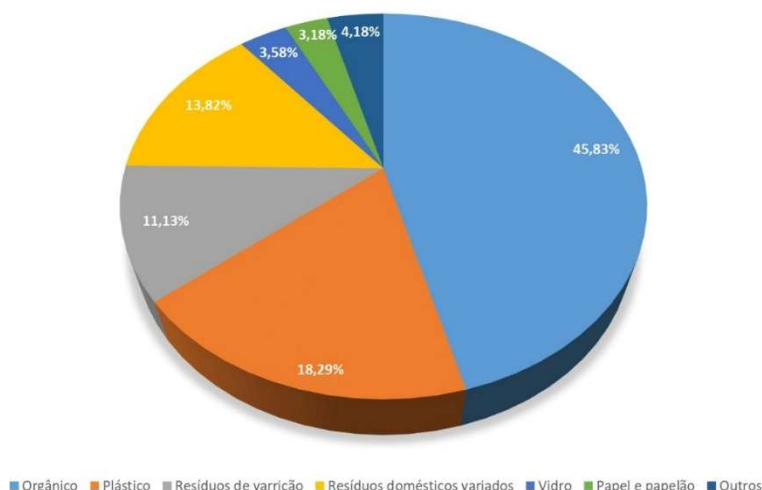
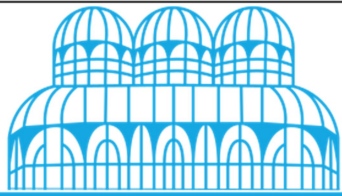


Figura 1: Composição gravimétrica dos RSU de Maringá (PR). Adaptado de Longuini (2017)

A partir dos dados de geração de RSU e dos parâmetros de produção de biogás reportados por Dalmo (2019), estimou-se o potencial anual de geração de biogás proveniente da digestão anaeróbia da FORSU. Os resultados indicaram uma produção anual entre 5,2 e 6,2 milhões de  $m^3$  de biogás, valores compatíveis com estimativas reportadas em estudos de aproveitamento energético de resíduos orgânicos em escala municipal (MATA-ALVAREZ et al., 2014; CHERNICHARO, 2016; KOTHARI et al., 2014).

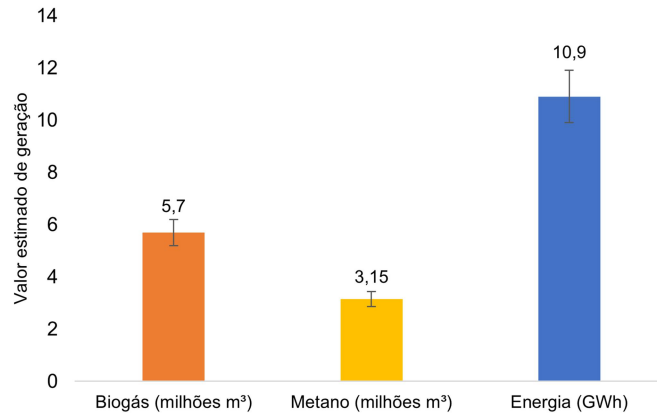
Considerando a composição típica do biogás gerado em processos de digestão anaeróbia, na qual o metano representa aproximadamente 55% a 60% do volume total, o volume anual de metano foi estimado entre 2,86 e 3,43 milhões de  $m^3$ , constituindo a principal fração energética utilizada em sistemas de geração elétrica (CHERNICHARO, 2016; MATA-ALVAREZ et al., 2014). A conversão energética desse volume foi estimada a partir do poder calorífico inferior do metano e de eficiências típicas de sistemas de geração baseados em motores a biogás, resultando em uma produção anual de aproximadamente 9,9 a 11,9 GWh de energia elétrica, conforme Figura 2.



CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

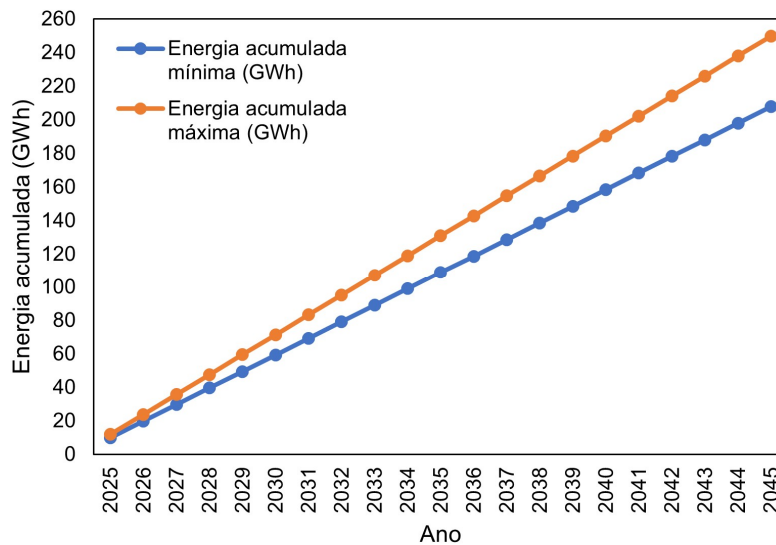
9º CONRESOL

9º Congresso Sul-Americano  
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade



**Figura 2: Potencial médio anual estimado de geração de biogás, metano e energia elétrica no município de Maringá (PR).**

Ao longo do período analisado (2025 – 2045), o potencial acumulado de geração foi estimado em cerca de 232,9 GWh (Figura 3), evidenciando a relevância do aproveitamento energético da fração orgânica dos resíduos urbanos (KOTHARI et al., 2014; IEA, 2020).



**Figura 3: Potencial acumulado estimado de geração elétrica a partir da digestão anaeróbia da FORSU (2025-2045).**

Considerando o consumo médio residencial de energia elétrica no Brasil de 178 kWh/mês por unidade consumidora (2.136 kWh/ano), conforme a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o potencial anual estimado de geração seria suficiente para abastecer aproximadamente 4.600 a 5.600 residências, o que corresponde a cerca de 13.800 a 16.800 habitantes, considerando média de três moradores por domicílio. Em relação à população de aproximadamente 430 mil habitantes de Maringá, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), esse potencial representaria o atendimento de cerca de 3% a 4% da população municipal.

Os resultados indicam que a digestão anaeróbia da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos apresenta potencial relevante para recuperação energética, além de contribuir para a estabilização da matéria orgânica e redução das emissões de gases de efeito estufa associadas à disposição em aterros (Mata-Alvarez et al., 2014; Carlos Augusto de Lemos Chernicharo, 2016; Mata-Alvarez et al., 2023).



CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

9º CONRESOL

9º Congresso Sul-Americano  
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade



## CONCLUSÕES

A digestão anaeróbia da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos (FORSU) demonstrou potencial relevante como alternativa de valorização energética no contexto da gestão integrada de resíduos. No município de Maringá, a fração orgânica representa aproximadamente 46,10% da massa total dos resíduos gerados, evidenciando significativa disponibilidade de substrato para conversão biológica.

As estimativas indicaram produção anual de biogás entre 5,2 e 6,2 milhões de m<sup>3</sup>, com volume de metano variando de 2,86 a 3,43 milhões de m<sup>3</sup> por ano. A energia elétrica resultante manteve-se na faixa de 9,9 a 11,9 GWh anuais, acumulando aproximadamente 232,9 GWh ao longo do período de 20 anos analisado.

Esse potencial energético poderia suprir a demanda elétrica de aproximadamente 13,8 mil a 16,8 mil habitantes, ou cerca de 4,6 mil a 5,6 mil residências por ano, correspondendo ao atendimento de cerca de 3% a 4% da população do município. Dessa forma, a digestão anaeróbia da FORSU em Maringá apresenta-se como alternativa tecnicamente viável e ambientalmente favorável, contribuindo para o aproveitamento energético dos resíduos orgânicos e para a diversificação da matriz energética local.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABRELPE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2023**. São Paulo: ABRELPE, 2023.
2. CHERNICHARO, C. A. L. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: reatores anaeróbios. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 2016.
3. DALMO, F. C. **Avaliação do potencial energético de resíduos sólidos urbanos no Brasil**. 2019. Tese (Doutorado) – *Federal University of Jequitinhonha and Mucuri Valleys*, 2019.
4. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanco Energético Nacional 2024: ano base 2023**. Rio de Janeiro: EPE, 2024. Disponível em: <https://www.epe.gov.br>. Acesso em: 16 out. 2025.
5. IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Outlook for biogas and biomethane: prospects for organic growth**. Paris: IEA, 2020.
6. IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate change 2014: mitigation of climate change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.
7. KOTHARI, R.; TYAGI, V. V.; PATHAK, A. Waste-to-energy: a way from renewable energy sources to sustainable development. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 9, p. 3164–3170, 2014.
8. MATA-ALVAREZ, J.; DOSTA, J.; MACÉ, S.; ASTALS, S. Codigestion of solid wastes: a review of its uses and perspectives including modeling. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 5, p. 3053–3063, 2014.
9. MATA-ALVAREZ, J.; DOSTA, J.; ROMERO-GÚIZA, M.; FERNÁNDEZ, I.; PECES, M.; ASTALS, S. **Anaerobic digestion of organic solid wastes**. 2. ed. Londres: IWA Publishing, 2023.
10. SPEECE, R. E. **Anaerobic biotechnology for industrial wastewaters**. Nashville: Archae Press, 2007.