



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 INCINERAÇÃO NO MUNICÍPIO DE MARINGÁ - PR

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.9.26.XII-005>

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

(*) Universidade Estadual de Maringá, e-mail: brunoesp13@gmail.com

RESUMO

Este estudo avalia o potencial teórico de geração de energia elétrica a partir da incineração de resíduos sólidos urbanos (RSU) no município de Maringá, Paraná, considerando os desafios crescentes relacionados ao aumento da geração de resíduos, à limitação de áreas disponíveis para disposição final e à necessidade de integração entre planejamento energético e gestão sustentável de resíduos. A metodologia adotada baseou-se na estimativa da geração anual de RSU a partir de dados per capita e projeções populacionais, no poder calorífico inferior médio e na conversão da energia térmica disponível em eletricidade por meio do ciclo Rankine com parâmetros típicos de eficiência de plantas comerciais de médio porte. As projeções indicam que a geração anual de RSU deverá aumentar de 113.068 t·ano⁻¹ em 2025 para 135.407 t·ano⁻¹ em 2045, totalizando aproximadamente 2,64 milhões de toneladas ao longo do período analisado. Após a exclusão da fração inerte, cerca de 2,19 milhões de toneladas foram consideradas aptas à recuperação energética. Com base em um poder calorífico inferior médio de 7,31 MJ·kg⁻¹ e eficiência global de conversão elétrica de 25%, estimou-se um potencial térmico acumulado de aproximadamente 4,49 PJ, equivalente a cerca de 1.246.773 MWh de energia elétrica ao longo de 20 anos, resultando em uma potência média instalada próxima de 7,1 MW. Os resultados evidenciam que a incineração com recuperação energética apresenta potencial relevante para reduzir significativamente o volume de resíduos destinados a aterros sanitários, contribuindo simultaneamente para a mitigação de impactos ambientais associados à disposição final, como emissões de gases de efeito estufa e geração de lixiviados, além de desempenhar papel importante na diversificação da matriz energética municipal e na valorização dos resíduos como recurso energético. Dessa forma, a recuperação energética de RSU por incineração configura-se como alternativa tecnicamente viável, ambientalmente estratégica e alinhada aos princípios da gestão integrada de resíduos sólidos e do planejamento energético de longo prazo.

PALAVRAS-CHAVE: Recuperação energética; poder calorífico inferior; economia circular; sustentabilidade urbana; planejamento energético

ABSTRACT

This study evaluates the theoretical potential for electricity generation from the incineration of municipal solid waste (MSW) in the municipality of Maringá, Paraná, considering the growing challenges related to increasing waste generation, the limitation of available areas for final disposal, and the need for integration between energy planning and sustainable waste management. The adopted methodology was based on estimating annual MSW generation using per capita data and population projections, the average lower heating value, and the conversion of available thermal energy into electricity through the Rankine cycle with efficiency parameters typical of medium-scale commercial plants. The projections indicate that annual MSW generation is expected to increase from 113,068 t·year⁻¹ in 2025 to 135,407 t·year⁻¹ in 2045, totaling approximately 2.64 million tons over the analyzed period. After excluding the inert fraction, about 2.19 million tons were considered suitable for energy recovery. Based on an average lower heating value of 7.31 MJ·kg⁻¹ and an overall electrical conversion efficiency of 25%, an accumulated thermal potential of approximately 4.49 PJ was estimated, equivalent to about 1,246,773 MWh of electricity over 20 years, resulting in an average installed capacity close to 7.1 MW. The results demonstrate that incineration with energy recovery presents significant potential to substantially reduce the volume of waste sent to landfills, while simultaneously contributing to the mitigation of environmental impacts associated with final disposal, such as greenhouse gas emissions and leachate generation, in addition to playing an important role in diversifying the municipal energy matrix and valuing waste as an energy resource. Thus, energy recovery from MSW through incineration is configured as a technically viable, environmentally strategic alternative aligned with the principles of integrated solid waste management and long-term energy planning.

KEY WORDS: Energy recovery; lower heating value; circular economy; urban sustainability; energy planning



CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

9º CONRESOL

9º Congresso Sul-Americano
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade



INTRODUÇÃO

O crescimento da geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) constitui um dos principais desafios ambientais contemporâneos, estando associado ao aumento populacional, à urbanização acelerada e à intensificação dos padrões de consumo (IEA, 2016; Hoornweg; Bhada-Tata, 2012). Estima-se que a geração global de resíduos ultrapasse 1,3 bilhão de toneladas por ano, com tendência de crescimento nas próximas décadas, especialmente em países em desenvolvimento (IEA, 2016). Esse cenário pressiona os sistemas de disposição final e reforça a necessidade de integração entre políticas de gestão de resíduos e planejamento energético.

No Brasil, a destinação predominante dos RSU ocorre em aterros sanitários, que, apesar de considerados ambientalmente adequados, apresentam limitações relacionadas à ocupação de grandes áreas, geração de lixiviados e emissões de metano provenientes da decomposição da fração orgânica (Brasil, 2010; IPCC, 2014). Nesse contexto, a Política Nacional de Resíduos Sólidos reconhece a recuperação energética como alternativa de destinação final, desde que comprovada sua viabilidade técnica e ambiental.

Entre as tecnologias disponíveis, destaca-se a incineração com recuperação de energia, amplamente utilizada em países europeus e asiáticos para redução do volume de resíduos e geração de eletricidade por meio do aproveitamento térmico do processo (Klinghoffer; Castaldi, 2013; Themelis, 2013). Apesar da aplicação internacional consolidada, no Brasil ainda são limitados os estudos que avaliam o potencial de recuperação energética por incineração em escala municipal. Diante desse contexto, este trabalho tem por objetivo avaliar o potencial teórico de geração de energia elétrica a partir da incineração de resíduos sólidos urbanos no município de Maringá (PR).

OBJETIVOS

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

METODOLOGIA

A estimativa do potencial de geração de energia elétrica por incineração dos resíduos sólidos urbanos (RSU) foi realizada com base na geração anual de resíduos e na composição gravimétrica fornecida pela Prefeitura de Maringá, seguindo a abordagem metodológica de Dalmo et al. (2019). Inicialmente, foi adotado o poder calorífico inferior médio ponderado da fração combustível dos resíduos (PCI_{total}) utilizado por Dalmo, o qual pode ser obtido pela soma do produto entre a fração mássica de cada componente e seu respectivo poder calorífico inferior, conforme apresentado por Dalmo (2019) na Equação (1).

$$PCI_{total} = \sum(f_i \cdot PCI_i) \quad \text{Equação (1)}$$

em que f_i representa a fração mássica do componente i e PCI_i corresponde ao poder calorífico inferior do componente i ($\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$). A fração inerte não foi considerada no cálculo energético, conforme procedimento adotado por Dalmo (2019).

Com o PCI_{total} definido, a energia térmica anual disponível nos resíduos combustíveis foi determinada multiplicando-se o valor obtido pela massa anual da fração combustível (M_{comb}), conforme a Equação (2):

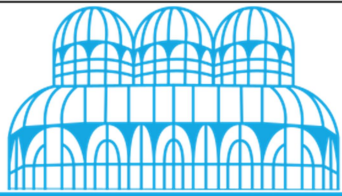
$$E_t = M_{comb} \cdot PCI_{total} \quad \text{Equação (2)}$$

em que E_t corresponde à energia térmica anual disponível ($\text{MJ} \cdot \text{ano}^{-1}$).

A conversão da energia térmica em energia elétrica foi considerada com base no ciclo Rankine com turbina a vapor, tecnologia predominante em plantas comerciais de incineração, conforme descrito por Klinghoffer e Castaldi (2013) e por Nickolas Themelis (2013). A energia elétrica anual teórica gerada foi calculada segundo a Equação (3):

$$E_{el} = E_t \cdot \eta \cdot 0,28 \quad \text{Equação (3)}$$

em que η representa a eficiência térmica global da planta e 0,28 corresponde ao fator de conversão de MJ para MWh (Mamede, 2013). A eficiência adotada foi de 25%, valor compatível com plantas de médio porte e situado na faixa de 20% a 35% reportada por World Bank (1999), Defra (2013) e Trindade et al. (2018). Esse valor contempla perdas térmicas e consumo de sistemas auxiliares, conforme discutido por C-tech Innovation (2003) e Nordi (2017). A



CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

9º CONRESOL

9º Congresso Sul-Americano
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade



potência instalada foi estimada dividindo-se a energia elétrica anual pelo número total de horas do ano (8.760h), conforme a Equação (4):

$$P = \frac{E_{el}}{8760} \quad \text{Equação (4)}$$

em que P representa a potência instalada (MW).

Para representar condições reais de operação, foram consideradas 8.000 horas anuais efetivas de funcionamento, incorporando paradas para manutenção preventiva e corretiva.

$$E_{final} = P \cdot 8000 \quad \text{Equação (5)}$$

Os resultados foram expressos em $MWh \cdot ano^{-1}$ e $GWh \cdot ano^{-1}$, permitindo a avaliação do potencial de contribuição da incineração para a matriz energética municipal e sua comparação com a demanda elétrica local, em consonância com a metodologia aplicada por Dalmo (2019).

RESULTADOS

De acordo com estimativas do IPARDES e considerando a tendência de crescimento da geração de resíduos sólidos urbanos (RSU), projeta-se a evolução da geração anual para o período analisado. A estimativa adota como base uma taxa per capita inicial de $0,72 \text{ kg} \cdot \text{hab}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$, que apresenta aumento gradual até atingir $0,78 \text{ kg} \cdot \text{hab}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$ ao final da série histórica.

Com base nesses parâmetros, a Figura 1 indica que a geração anual de RSU deverá aumentar de $113.068 \text{ t} \cdot \text{ano}^{-1}$ em 2025 para $135.407 \text{ t} \cdot \text{ano}^{-1}$ em 2045, totalizando aproximadamente 2.639.235 toneladas ao longo do período analisado. Esse crescimento reforça a necessidade de adoção de soluções tecnológicas mais avançadas para tratamento e valorização energética dos resíduos, uma vez que a disposição em aterros sanitários tende a se tornar progressivamente menos sustentável a longo prazo.

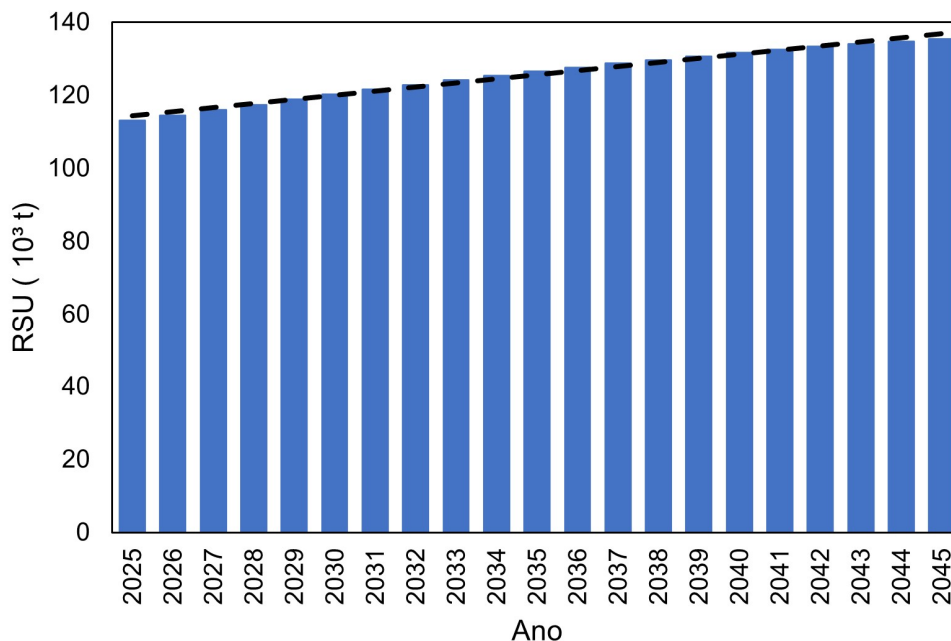


Figura 1: Projeção de crescimento da geração de RSU (t/ano) em Maringá (PR)

A composição gravimétrica dos RSU foi extraída do Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos - PMGIRS (2017), sendo utilizada como referência para calcular o potencial energético de recuperação energética. Considerando o horizonte de 20 anos (2025–2045), a estimativa indica uma geração total de aproximadamente 2.639.235 toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU). Desse total, estima-se que cerca de 2.193.204 toneladas correspondem à fração aproveitável, descontada a fração inerte (16,90%).



CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

9º CONRESOL

9º Congresso Sul-Americano
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade



A partir desse volume, projeta-se uma geração acumulada de aproximadamente 4,49 PJ, equivalente a cerca de 1.246.773 MWh ao longo do período analisado, o que corresponde a uma potência média aproximada de 7,1 MW ao longo das duas décadas avaliadas, conforme Figura 2.

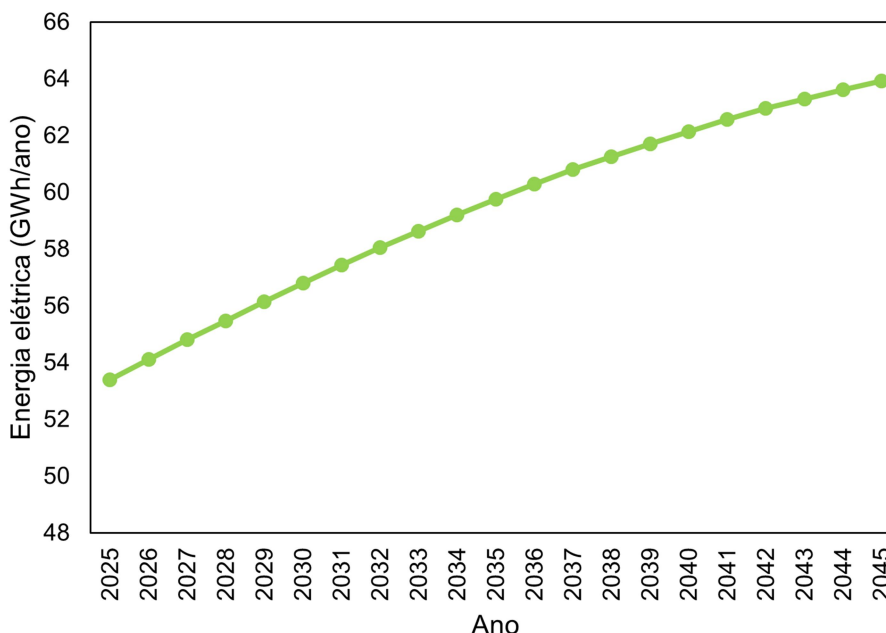


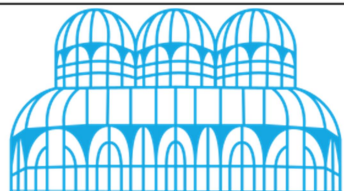
Figura 2: Projeção da geração anual de energia elétrica por incineração de RSU em Maringá (PR) (2025–2045)

As projeções indicam que o crescimento populacional previsto para o município contribui diretamente para o aumento da geração de resíduos sólidos urbanos ao longo do período analisado. Nesse contexto, a incineração com recuperação energética apresenta potencial relevante para o aproveitamento energético desses resíduos, permitindo simultaneamente reduzir o volume destinado a aterros sanitários e contribuir para a diversificação da matriz energética municipal.

CONCLUSÕES

Os resultados indicam que o município de Maringá (PR) apresenta potencial significativo para a adoção da incineração com recuperação energética como alternativa de gestão de resíduos sólidos urbanos. Considerando o crescimento populacional projetado pelo IPARDES (2025), estima-se uma geração acumulada superior a 2,6 milhões de toneladas de resíduos entre 2025 e 2045. A análise termoquímica, baseada em um poder calorífico inferior médio ponderado de 7,31 MJ/kg e eficiência de conversão energética de 25%, aponta uma produção acumulada de aproximadamente 1,246 TWh de energia elétrica ao longo de 20 anos, com potência anual variando de 6,68 MW em 2025 para cerca de 8,00 MW em 2045.

Esses resultados evidenciam o potencial da incineração como alternativa tecnicamente viável para recuperação energética dos resíduos urbanos, contribuindo para a redução da disposição em aterros sanitários e para a diversificação da matriz energética municipal. Dessa forma, a valorização energética dos RSU configura-se como estratégia relevante para promover avanços na sustentabilidade urbana e na gestão integrada de resíduos.



CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

9º CONRESOL

9º Congresso Sul-Americano
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL. **Lei nº 12.305**, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 3 ago. 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 7 out. 2025.
2. C-TECH INNOVATION. Landfill Gas Modeling and Emissions Estimation. United Kingdom: C-Tech Innovation Ltd., 2003.
3. DALMO, F. C. et al. Energy recovery overview of municipal solid waste in São Paulo State, Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 212, p. 461–474, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.016>. Acesso em: 2 jun. 2025.
4. DEFRA – Department for Environment, Food & Rural Affairs. Energy from waste: a guide to the debate. London: DEFRA, 2013.
5. HOORNWEG, D.; BHADA-TATA, P. **What a waste: a global review of solid waste management**. Washington, DC: World Bank, 2012. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org>. Acesso em: 13 mar. 2026.
6. IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **World Energy Outlook 2016**. Paris: IEA, 2016. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2016>. Acesso em: 16 out. 2025.
7. IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate change 2014: mitigation of climate change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2014. (Fifth Assessment Report – AR5). Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/>. Acesso em: 16 out. 2025.
8. KLINGHOFFER, N.; CASTALDI, M. J. **Waste to energy conversion technology**. Cambridge: Woodhead Publishing, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1533/9780857096364>. Acesso em: 16 out. 2025.
9. MAMEDE, M. C. S. **Avaliação econômica e ambiental do aproveitamento energético de resíduos sólidos no Brasil**. 2013. 141 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.
10. NORDI, G. H.; PALACIOS-BERECHÉ, R.; GALLEGO, A. G.; NEBRA, S. A. Electricity production from municipal solid waste in Brazil. **Waste Management & Research**, v. 35, n. 6, p. 580–589, 2017.
11. THEMELIS, N. J. An overview of the global waste-to-energy industry. **Waste Management World**, v. 14, n. 4, p. 40–48, 2013.
12. TRINDADE, A.; PALACIO, J.; GONZÁLEZ, A.; RÚA OROZCO, D.; LORA, E.; RENÓ, M. Advanced exergy analysis and environmental assessment of the steam cycle of an incineration system of municipal solid waste with energy recovery. **Energy Conversion and Management**, v. 157, p. 195–214, 2018.
13. WORLD BANK. **What a Waste: Solid Waste Management in Asia**. Washington, DC: World Bank, 1999.