

VALORIZAÇÃO ENERGÉTICA DE RESÍDUOS: CONCEITOS, TECNOLOGIAS E APLICAÇÕES

MARQUES, J. de O.¹, SCHWANK, C. M.², CAMARGO, L. L. R.³, RUIZ, H. A.⁴

¹ Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA) – Bagé – RS – Brasil –

juliamarques.aluno@unipampa.edu.br

² Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA) – Bagé – RS – Brasil – cristineschwanke@unipampa.edu.br

³ Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA) – Bagé – RS – Brasil – luizalupe.aluno@unipampa.edu.br

⁴ Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA) – Bagé – RS – Brasil – hemilyruiz.aluno@unipampa.edu.br

RESUMO

Este trabalho é uma pesquisa bibliográfica exploratória e descritiva que analisa rotas tecnológicas para valorizar resíduos orgânicos e subprodutos agroindustriais na bioeconomia circular. A gestão da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos (RSU) e de coprodutos agroindustriais é ao mesmo tempo um desafio ambiental e uma oportunidade para a transição a uma economia de baixo carbono. A metodologia baseou-se na revisão de literatura (2011–2024) e legislações, abordando biodigestão anaeróbia, bioprodutos alimentícios e hidrogênio verde. Os resultados indicam alto potencial da biodigestão para gerar biogás (50%–70% de metano) e digestato agrícola, além da viabilidade do uso de sementes de mamão como insumo nutricional e antioxidante. O hidrogênio verde surge como alternativa promissora, apesar de desafios de eficiência. A discussão articula esses temas à Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), ao Plano Nacional de Economia Circular (PNEC) e aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), destacando a importância da integração entre rotas energéticas e biotecnológicas. Conclui-se que a valorização de resíduos é tecnicamente viável e favorecida pelo cenário regulatório, embora ainda exija avanços em eficiência e integração de processos.

Palavras-chave: biodigestão, energia renovável, resíduos orgânicos.

1 INTRODUÇÃO

A intensificação das atividades humanas nas últimas décadas resultou em um aumento expressivo na geração de resíduos sólidos, impulsionado pelo crescimento populacional, urbanização acelerada e expansão industrial e agropecuária. No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010, estabelece marcos regulatórios essenciais, priorizando a não geração, redução, reutilização e reciclagem antes da disposição final. Entretanto, a gestão da fração orgânica, que corresponde a mais de 50% dos resíduos sólidos urbanos (RSU),

permanece um desafio crítico para os municípios brasileiros (Brasil, 2010). A má gestão desses resíduos gera graves problemas ambientais e sociais, além de perdas financeiras significativas para o país. Estima-se que, até 2050, a produção global de resíduos sólidos urbanos atinja 3,4 bilhões de toneladas, evidenciando a urgência de soluções eficazes (Orizon, 2026).

Nesse cenário, a valorização de resíduos surge como uma oportunidade estratégica para transformar materiais biodegradáveis em insumos de alto valor agregado. Entre as tecnologias de destaque, a biodigestão anaeróbia permite a produção de biogás (rico em metano) e digestato, contribuindo para a matriz de energia renovável e a mitigação de gases de efeito estufa (GEE). Além da rota energética, a bioeconomia circular propõe o aproveitamento de subprodutos agroindustriais, como sementes de frutas, para a obtenção de bioprodutos funcionais. Este trabalho analisa a viabilidade técnica e ambiental dessas rotas tecnológicas, integrando a gestão de resíduos aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU (Brasil, 2024a) e ao recém-instituído Plano Nacional de Economia Circular (PNEC) (Brasil, 2024b).

O objetivo do trabalho foi analisar, de forma integrada, o potencial de valorização de resíduos orgânicos, com ênfase em resíduos urbanos e sementes de mamão, por meio de tecnologias como a biodigestão anaeróbia, a produção de biogás/biometano, o desenvolvimento de bioprodutos e o uso de hidrogênio verde, considerando também os aspectos regulatórios brasileiros, a fim de avaliar sua contribuição para a bioeconomia circular e a transição para uma matriz energética sustentável.

2 METODOLOGIA

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa bibliográfica de natureza exploratória e descritiva, realizada por meio de revisão sistemática da literatura. O levantamento bibliográfico foi conduzido nas plataformas SciELO, Science Direct, Google Acadêmico e em bases governamentais (gov.br), com foco em publicações científicas e documentos regulatórios publicados entre 2011 e 2025. Esse recorte temporal buscou contemplar discussões atualizadas sobre valorização de resíduos, bioeconomia circular e o contexto do Programa de Aceleração da Transição Energética (PATEN).

Os critérios de seleção incluíram artigos científicos, teses, dissertações, livros e documentos oficiais relacionados à valorização de resíduos orgânicos, biodigestão

anaeróbia, produção de biogás e metano, aproveitamento de subprodutos agroindustriais, desenvolvimento de bioprodutos, hidrogênio verde e políticas públicas voltadas à gestão de resíduos e energias renováveis no Brasil. Foram priorizados estudos com dados quantitativos, estudos de caso e análises conceituais relevantes aos temas propostos, sendo excluídos trabalhos fora dos eixos temáticos ou com dados desatualizados.

A análise dos materiais selecionados foi estruturada em eixos investigativos, que serviram como pilares para a discussão e integração dos resultados:

- Caracterização de resíduos: análise da composição físico-química de resíduos urbanos, industriais e agrícolas, com foco em subprodutos como sementes de mamão, avaliando lipídios, proteínas, fibras e minerais.
- Processos de biodigestão: estudo da operação de biodigestores em condições mesofílicas e termofílicas, com avaliação da produção de metano e composição do biogás.
- Desenvolvimento de bioprodutos: análise do processamento de sementes para produção de farinhas e extratos, incluindo pré-tratamento, secagem, moagem e avaliação da atividade antioxidante.
- Análise regulatória: avaliação da legislação brasileira quanto à conformidade e aos incentivos para aplicação das tecnologias propostas, incluindo o PNRS, PNEC e PATEN.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da revisão bibliográfica demonstram o significativo potencial da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos (RSU) para a produção de biogás, variando entre 42% e 69% da massa total, conforme a composição alimentar. A digestão anaeróbia destaca-se como tecnologia central, convertendo esses resíduos em biogás com rendimentos de até 0,35 m³ de metano por quilograma de sólidos voláteis, contendo entre 50% e 70% de CH₄ e poder calorífico de 18 a 26 MJ/m³ (Triviño-Pineda *et al.*, 2024). Além da geração de energia, a biodigestão contribui para a estabilização dos resíduos e a mitigação de gases de efeito estufa, podendo reduzir em até 90% as emissões de CO₂ em comparação com combustíveis fósseis. O digestato, rico em nutrientes, pode ser reutilizado como fertilizante, promovendo a economia circular, enquanto a co-digestão com dejetos agropecuários aumenta o rendimento e a estabilidade do processo (Pereira,

2025). No Brasil, a aplicação da economia circular na gestão de resíduos ainda enfrenta desafios, com apenas 8,7% dos resíduos passíveis de reciclagem sendo efetivamente reciclados em 2024 (Orizon, 2026).

No aproveitamento de subprodutos agroindustriais, as sementes de mamão (*Carica papaya* L.) apresentam elevado potencial, com teores de lipídios (26–62%), proteínas (26–28%) e fibras (18–35%) (Guimarães *et al.*, 2023). Seus extratos demonstram atividade antioxidante relevante, ampliando aplicações na indústria de alimentos e nutracêutica (Brito *et al.*, 2024). A incorporação em produtos de panificação é viável até 3%, enriquecendo o valor nutricional sem prejudicar a aceitação sensorial. Contudo, a presença de antinutrientes exige tratamentos adequados para garantir segurança e biodisponibilidade.

O hidrogênio verde desponta como alternativa promissora, especialmente com a tecnologia SESR, que aumenta a eficiência ao capturar CO₂ no reator. Ainda assim, desafios persistem: de 54 kWh iniciais, cerca de 30 kWh úteis chegam ao uso final devido a perdas no processo (Franco, 2022), indicando a necessidade de avanços tecnológicos. A pesquisa e desenvolvimento contínuos são cruciais para otimizar a produção e reduzir os custos, tornando o hidrogênio verde uma opção mais competitiva na matriz energética.

No Brasil, essas rotas são apoiadas por políticas como a PNRS, o Plano Nacional de Economia Circular (PNEC) e a Lei do Combustível do Futuro, além do Programa de Aceleração da Transição Energética (PATEN). Essas iniciativas estão alinhadas aos ODS 7 (Energia Limpa e Acessível), 12 (Consumo e Produção Responsáveis) e 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima) da ONU, fortalecendo a transição para uma economia de baixo carbono por meio da integração entre valorização energética e biotecnológica. O PATEN, em particular, estabelece diretrizes e incentivos para projetos que integram inovação tecnológica, sustentabilidade e geração de energia limpa a partir de fontes renováveis, consolidando a biodigestão como um eixo estratégico para a soberania energética brasileira (Pereira, 2025).

4 CONCLUSÃO

A revisão demonstrou que a valorização de resíduos orgânicos por meio da biodigestão anaeróbia e do desenvolvimento de bioprodutos é uma alternativa promissora para os desafios da gestão de resíduos no Brasil. A produção de metano contribui para a

segurança energética e a redução de emissões de GEE, enquanto o aproveitamento de subprodutos agroindustriais fortalece a bioeconomia circular e a inovação na indústria de alimentos.

Conclui-se que a viabilidade técnica dessas rotas é sustentada por um arcabouço legal em evolução e por resultados positivos apresentados na literatura. Para ampliar sua implementação, são necessários incentivos à geração distribuída e investimentos em tecnologias de purificação de biogás e processamento de biomassa, promovendo benefícios econômicos, sociais e ambientais alinhados às metas de sustentabilidade. A integração entre poder público, setor privado e sociedade civil é essencial para ampliar as oportunidades da economia circular e da valorização energética de resíduos no Brasil.

REFERÊNCIAS

BRASIL. **Decreto nº 12.069, de 21 de junho de 2024.** Dispõe sobre a Estratégia Nacional de Governo Digital e a Rede Nacional de Governo Digital – Rede Gov.br e institui a Estratégia Nacional de Governo Digital para o período de 2024 a 2027. Brasília, DF: Presidência da República, 2024a.

BRASIL. **Decreto nº 12.082, de 27 de junho de 2024.** Institui a Estratégia Nacional de Economia Circular. Brasília, DF: Presidência da República, 2024b.

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. Brasília, DF: Presidência da República, 2010.

BRASIL. **Lei nº 14.993, de 8 de outubro de 2024.** Institui o Programa de Aceleração da Transição Energética (Paten). Brasília, DF: Presidência da República, 2024c.

BRITO, T. S. *et al.* Potencial antioxidante de extratos da farinha das sementes de mamão formosa (*Carica papaya L.*). **Revista SODEBRAS**, v. 19, n. 221, p. 1-13, maio/ago. 2024

GUIMARÃES, M. L. L. *et al.* Potencial de aproveitamento dos coprodutos de frutas tropicais na elaboração de novos produtos alimentícios. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 2, e14312240012, 2023.

FRANCO, Alessandro. Green Hydrogen and the Energy Transition: Hopes, Challenges, and Realistic Opportunities. **Hydrogen**, v. 6, n. 28, p. 1-34, 19 abr. 2025.

ORIZON. **Aplicando economia circular na gestão de resíduos.** Blog Orizon, 2026.

TRIVIÑO-PINEDA, J. *et al.* Biogas production from organic solid waste through anaerobic digestion: A meta-analysis. **Case Studies in Chemical and Environmental Engineering**, v. 9, 100618, 2024.