

PANORAMA CIENTÍFICO DA PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS: TENDÊNCIAS GLOBAIS ENTRE 2021 E 2024

JONES BITTENCOURT MACHADO¹; CAROLINA PINZ MEDRONHA²;
MAELE COSTA DOS SANTOS³; MÁRCIO FRANCISCO DENZER KRÜGER⁴;
CÁSSIA MARILDA DUARTE LIMA BITENCURT⁵; WILLIAN CÉZAR NADALETI⁶

¹*Universidade Federal de Pelotas – jones.bittencourt@gmail.com*

²*Universidade Federal de Pelotas – carolinamedronha@gmail.com*

³*Universidade Federal de Pelotas – maeledossantoseq@gmail.com*

⁴*Universidade Federal de Pelotas – marciokruger09@gmail.com*

⁵*Universidade Federal de Pelotas – cassiaduartelima@gmail.com*

⁶*Universidade Federal de Pelotas – williancezarnadaletti@gmail.com*

1. INTRODUÇÃO

Enquanto o setor energético mundial se prepara para a intensificação do uso das Inteligências Artificiais (IAs), o Brasil tem se mostrado à altura dos desafios energéticos mais urgentes em termos globais, conforme aponta o relatório estatístico da Agência Internacional de Energia. O acesso à energia elétrica está presente na maior parte do território nacional. Além disso, a geração de energia brasileira é uma das mais limpas do mundo, com cerca de 80% da geração por usinas hidrelétricas e uma crescente expansão nos projetos de geração eólica e solar (IEA, 2025a, 2025b).

O Brasil foi um dos pioneiros na implementação de biocombustíveis, instituindo o Programa Nacional do Álcool - PROÁLCOOL em 1975, diversificando a matriz energética nacional e reduzindo a dependência de combustíveis fósseis. Além da enorme capacidade de produção de energia a partir da biomassa da cana de açúcar, o país possui uma das maiores áreas destinadas ao cultivo agrícola e, com isso, uma diversificada oferta de biomassa residual (LOPES HERMSDORFF; SYLVIO; DA C., 2025; OLIVEIRA; TURATTI; FEIL, 2024; SOUZA; ALVES, 2025; STARLING; BORGES; SQUEFF, 2025).

Os resíduos da agricultura, assim como grande parte da biomassa oriunda das atividades cotidianas da sociedade, é possível de utilização para a geração de biocombustíveis gasosos, como biogás, biometano e biohidrogênio. A técnica de conversão da energia química da biomassa em biocombustíveis é madura e atende a emergente necessidade de redução das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) (ASHOKKUMAR *et al.*, 2022; OROOJI *et al.*, 2022; SAINI *et al.*, 2024; WANG *et al.*, 2020).

As pesquisas científicas em torno do tema da produção de energia a partir de métodos biológicos, utilizando a biomassa residual, tem se intensificado nos últimos anos. Além de ser uma metodologia com baixa emissão de carbono também proporciona um aproveitamento de resíduos de diversas culturas, resíduo sólido urbano, resíduos alimentares, resíduos de atividades industriais, entre outros (NAJAFI *et al.*, 2025; MUJTABA *et al.*, 2023; RENA *et al.*, 2020). Nesse sentido, estudar o crescimento das pesquisas produzidas pela comunidade científica internacional acerca produção biológica de energia proporciona uma importante fonte de referências, embasada nas ciências da informação. Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo levantar as principais referências, as fontes mais utilizadas, os países mais envolvidos nas pesquisas desta temática, além dos autores e instituições mais produtivos, por meio da investigação de artigos científicos, ou seja, da cientometria.

2. METODOLOGIA

A investigação se deu na data de 10 de agosto do corrente ano, inicialmente nas bases de dados multidisciplinares da *Web of Science* (WoS) e *Scopus*, ambas disponíveis no acervo digital do Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), através do acesso da Comunidade Acadêmica Federada (CAFe).

A busca inicial foi realizada utilizando as palavras-chave de interesse associadas aos operadores Booleanos *AND* e *OR*, gerando a seguinte *String* de busca: (*TITLE-ABS-KEY ("anaerobic digestion") OR TITLE-ABS-KEY ("anaerobic codigestion") AND TITLE-ABS-KEY ("lignocellulosic biomass") AND TITLE-ABS-KEY (pré-tratamento*) AND TITLE-ABS-KEY (biogas) OR TITLE-ABS-KEY (biomethane) OR TITLE-ABS-KEY (biohydrogen)*).

Os resultados de ambas as buscas passaram pelos critérios de exclusão diretamente realizados nas bases, onde foi selecionado o tipo de documento, o idioma e o ano de publicação conforme segue: Artigos – Inglês – 2021 a 2024.

A partir da implementação dos critérios de exclusão foram coletados os dados por meio de arquivos no formato *BibTeX* totalizando um arquivo para a base *Scopus* e treze arquivos para a base WoS que foram baixados para tratamento.

O tratamento dos dados coletados foi realizado pelo *software* de programação livre *RStudio* na versão 4.5.1 e posteriormente analisados no pacote de análise de dados para linguagem “*R*”, *Bibliometrix* e pela sua ferramenta interativa, *Biblioshiny*. O tratamento dos dados na ferramenta *RStudio* resultou na criação de uma planilha em formato CSV, contendo os documentos resultantes, presentes nos quatorze arquivos baixados, com a exclusão de 95 documentos duplicados. Posteriormente, a planilha foi convertida do formato CSV para o formato XLSX, a fim de ser analisada no pacote *Bibliometrix*.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A busca nas bases de dados *Scopus* e *WoS* resultou em 47.003 documentos, sendo 46.673 da base WoS e 330 da *Scopus*. Após a aplicação dos critérios de exclusão, o resultado foi 12.566 documentos, dos quais 12.463 da WoS e 103 da *Scopus*. A Figura 1 apresenta uma visão geral da investigação.

Figura 1: Visão geral da pesquisa no período entre 2021 e 2025.



Fonte: Autores (2025).

Desta análise, constatou-se a presença de 12.471 artigos, com 30.355 autores, sendo que destes, 129 artigos de autoria única e cerca de 31,1% com colaboração internacional. Além disso, constatou-se 982 fontes (revistas, livros,

etc), documentos com idade média de 2,4 anos, média de 13,9 citações por artigos e média de 3,8 citações anuais por documento. No entanto, a pesquisa apresentou uma taxa de crescimento anual negativa de 40% dentro do período estudado.

Dentre as fontes mais utilizadas para publicação destas pesquisas verificou-se que as cinco mais foram: *Bioresource Technology*, com 1079 documentos, seguida por *Science of the Total Environment* com 500 documentos, *Journal of Cleaner Production* com 440 documentos, *International Journal of Hydrogen Energy* com 416 documento e finalmente, *Energies* com 397 documentos entre 2021 e 2024. A Tabela 1 apresenta os cinco países mais produtivos no período.

Tabela 1: Países mais produtivos entre os anos de 2021 e 2025

Países	Artigos	Citações
China	3.706	61.847
Índia	672	11.779
Itália	585	8.037
Brasil	559	5.062
USA	481	6.915

Fonte: Autores (2025).

Dos cinco países mais envolvidos em pesquisas acerca da temática investigada no período de 2021 à 2024, verifica-se em primeiro lugar a China, como mais produtivo. Em seguida, aparecem Índia, Itália, Brasil e, finalmente, USA.

Entre as universidades que mais produziram pesquisas acerca da produção de biocombustíveis, a Universidade Chinesa Tongji aparece em primeiro lugar, com 607 artigos, seguida pela Universidade Agrícola da China, com 395 artigos e a Universidade de São Paulo, com 316 artigos produzidos no período, versando a terceira universidade com maior produção na temática investigada. Os dados evidenciam a liderança da China na produção científica sobre biocombustíveis, destacando-se em publicações, citações, periódicos e universidades.

4. CONCLUSÕES

A análise cientométrica realizada permitiu identificar tendências relevantes, evidenciando um panorama abrangente da produção científica sobre biocombustíveis entre 2021 e 2024, revelando não apenas o volume expressivo de publicações, mas também a diversidade de fontes e a significativa colaboração internacional. Apesar da taxa de crescimento negativa observada no período, os dados apontam para uma retomada gradual da atividade científica, especialmente após o fim das restrições da pandemia de Covid-19, com destaque para o aumento das publicações em 2024.

Além disso, a liderança da China em número de artigos e citações, bem como a presença marcante da Universidade de São Paulo entre as instituições mais produtivas, reforçam a relevância global e regional da temática. O uso predominante de periódicos especializados como *Bioresource Technology*, *Science of the Total Environment*, *International Journal of Hydrogen Energy* e *Energies* indica a consolidação de canais específicos para a disseminação desses estudos, contribuindo para o avanço contínuo da pesquisa em biocombustíveis, energias renováveis, transição energética, uso eficiente de energia e desenvolvimento sustentável.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASHOKKUMAR, V. *et al.* Recent advances in lignocellulosic biomass for biofuels and value-added bioproducts - A critical review. **Bioresource Technology**, [s. l.], v. 344, 2022.
- IEA. **Monthly electricity statistics**. [S. l.], 2025a. Disponível em: <https://www.iea.org/countries/brazil>. Acesso em: 9 ago. 2025.
- IEA. **World Energy Outlook Special Report Energy and AI**. Paris: [s. n.], 2025b. Disponível em: www.iea.org/reports/energy-and-ai. Acesso em: 9 ago. 2025.
- LOPES HERMSDORFF, W.; SYLVIO, A.; DA COSTA, V. O biogás como combustível para geração de energia elétrica no Brasil. **Geoambiente On-line**, [s. l.], v. 52, p. 1–25, 2025. Disponível em: <https://orcid.org/0000-0001-8284-5055>;
- MUJTABA, M. *et al.* Lignocellulosic biomass from agricultural waste to the circular economy: a review with focus on biofuels, **biocomposites and bioplastics**. [S. l.]: Elsevier Ltd, 2023.
- NAJAFI, F. *et al.* Prioritizing industrial wastes and technologies for bioenergy production: Case study. **Ren. and Sust. Energy Reviews**, [s. l.], v. 207, 2025.
- OLIVEIRA, V. E. M. de; TURATTI, L.; FEIL, A. A. Desempenho financeiro, econômico e social da agricultura orgânica no Brasil: uma revisão sistemática da literatura. **Revista de Gestão e Secretariado**, [s. l.], v. 15, n. 3, p. e3384, 2024.
- OROOJI, Y. *et al.* Valorisation of nuts biowaste: Prospects in sustainable bio(nano)catalysts and environmental applications. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 347, 2022.
- RENA *et al.* Bio-hydrogen and bio-methane potential analysis for production of bio-hythane using various agricultural residues. **Bioresource Technology**, [s. l.], v. 309, 2020.
- SAINI, N. *et al.* Utilization of Biomass to Produce Biofuels, Fertilizers, Biochar, and Other Value-Added Products. In: FROM WASTE TO WEALTH. Singapore: Springer Nature Singapore, 2024. p. 1333–1355.
- SOUZA, R. S.; ALVES, A. F. A produção agrícola do Brasil sob a dependência da limitação da expansão de áreas cultiváveis entre 2015 e 2020. **Revista de Economia Mackenzie**, [s. l.], v. 22, n. 1, p. 191–209, 2025.
- STARLING, E. T.; BORGES, A. W.; SQUEEFF, T. de A. F. R. C. Transformações na Regulação dos Biocombustíveis no Brasil: Percurso Histórico-Institucional e Perspectivas Sustentáveis. **ARACÊ**, [s. l.], v. 7, n. 6, p. 29124–29137, 2025.
- WANG, Y. *et al.* Comparison of bio-hydrogen and bio-methane production performance in continuous two-phase anaerobic fermentation system between co-digestion and digestate recirculation. **Bioresource Technology**, [s. l.], v. 318, 2020.