

## Sustentabilidade na gestão de resíduos do setor sucroalcooleiro: um estudo bibliométrico e sistemático

Lucas Vinicius Borges Pereira\*  
Solange Maria de Vasconcelos\*\*  
Pollyana Caetano Ribeiro Fernandes\*\*\*  
Joelda Dantas\*\*\*\*

### Resumo

A cana-de-açúcar é um dos principais pilares do agronegócio brasileiro, desempenhando um papel crucial tanto na produção de alimentos quanto na geração de energia. A sua elevada produção gera resíduos como vinhaça, torta de filtro, palha e bagaço, que se não forem tratados corretamente, podem causar sérios problemas ambientais. Dessa forma, foi objetivado no presente artigo uma análise bibliométrica e sistêmica de um portfólio bibliográfico abrangendo a sustentabilidade e a gestão de resíduos no setor sucroalcooleiro, destacando a importância aos incentivos governamentais, como os créditos de carbono, atuando como mecanismo de mercado para impulsionar a produção de biocombustíveis. A pesquisa foi realizada buscando a identificação das aplicações atuais destes materiais e sua relação com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. A partir do estudo, observou-se algumas aplicações mais pertinentes, a saber, direcionadas à produção de biocombustíveis, para aditivos suplementares à produção de concreto na construção civil e à extração de moléculas de interesse para produção de bioprodutos de valor agregado. O ano de 2024 apresentou o maior número de artigos, representando 29,01% em relação ao total de materiais presentes no portfólio bibliográfico. Além disso, os países que mais ganharam destaque foram China, Brasil e Tailândia. Essa descoberta permite visualizar que a contribuição da gestão de resíduos, considerando a sustentabilidade como premissa na indústria de cana-de-açúcar, já se mostra bem consolidada. Por outro lado, considerando a sua magnitude, os resultados abrem caminho para a introdução de novos avanços no setor, com vistas no aumento da circularidade para este tipo de resíduo agrícola.

**Palavras-chave:** Resíduos; Bioprodutos; Aplicações; Sustentabilidade.

### Sustainability in waste management in the sugar and ethanol sector: a bibliometric and systematic study

#### Abstract

Sugarcane is one of the main pillars of Brazilian agribusiness, playing a crucial role in both food production and energy generation. Its high production generates waste such as vinasse, filter cake, straw, and bagasse, which, if not treated properly, can cause serious environmental problems. Thus, this article aims to provide a bibliometric and systemic analysis of a bibliographic portfolio covering sustainability and waste management in the sugar and alcohol sector, highlighting the importance of government incentives, such as carbon credits, acting as a market mechanism to boost biofuel production. The research was conducted to identify the current applications of these materials and their relationship with the Sustainable Development Goals. Based on the study, some of the most relevant applications were observed, namely those aimed at the production of biofuels, supplementary additives for concrete production in civil construction, and the extraction of molecules of interest for the production of value-added bioproducts. The year 2024 had the highest number of articles, representing 29.01% of the total materials in the bibliographic portfolio. In addition, the countries that gained the most prominence were China, Brazil, and Thailand. This finding shows that the contribution of waste management, considering sustainability as a premise in the sugarcane industry, is already well established. On the other hand, considering its magnitude, the results pave the way for the introduction of new advances in the sector, with a view to increasing circularity for this type of agricultural waste.

**Keywords:** Waste; Bioproducts; Applications; Sustainability.

### Sostenibilidad en la gestión de residuos del sector azucarero y alcohólico: un estudio bibliométrico y sistemático

#### Resumen

La caña de azúcar es uno de los principales pilares de la agroindustria brasileña, desempeñando un papel crucial tanto en la producción de alimentos como en la generación de energía. Su elevada producción genera residuos como vinaza, torta de filtro, paja y bagazo, que si no se tratan correctamente pueden causar graves problemas medioambientales. Por lo tanto, el objetivo de este artículo es realizar un análisis bibliométrico y sistémico de una cartera bibliográfica que abarca la sostenibilidad y la gestión de residuos en el sector azucarero y alcohólico, destacando la importancia de los incentivos gubernamentales, como los créditos de carbono, que actúan como mecanismo de mercado para impulsar la producción de biocombustibles. La investigación se llevó a cabo con el fin de identificar las aplicaciones actuales de estos materiales y su relación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible. A partir del estudio, se observaron algunas aplicaciones más pertinentes, a saber, dirigidas a la producción de biocombustibles, a aditivos suplementarios para la producción de hormigón en la construcción civil y a la extracción de moléculas de interés para la producción de bioprodutos de valor añadido. El año 2024 presentó el mayor número de artículos, lo que representa el 29,01 % del total de materiales presentes en la bibliografía. Además, los países que más destacaron fueron China, Brasil y Tailandia. Este hallazgo permite visualizar que la contribución de la gestión de residuos, considerando la sostenibilidad como premisa en la industria de la caña de azúcar, ya está bien consolidada. Por otro lado, considerando su magnitud, los resultados abren camino para la introducción de nuevos avances en el sector, con miras a aumentar la circularidad para este tipo de residuos agrícolas.

**Palabras clave:** Resíduos; Bioprodutos; Aplicaciones; Sostenibilidad.



Licença de Atribuição BY do Creative Commons  
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Aprovado em 05/06/2025  
Publicado em 10/06/2025

## 1 introdução

A cana-de-açúcar é uma das principais *commodities* da agricultura mundial, com o Brasil se destacando como o maior produtor dessa planta (Mansy *et al.*, 2025). Por exemplo, a produção de cana-de-açúcar na safra 2024/25 é estimada em 678,67 milhões de toneladas, com uma produção de 44 milhões de toneladas de açúcar e 36,08 bilhões de litros de etanol (CONAB, 2024). Esse setor é responsável pelo fornecimento de produtos essenciais à alimentação humana e à matriz energética. Nesse contexto, tem-se também que a elevada produção está associada à geração de resíduos, que não sendo devidamente gerenciados, podem causar danos ao meio ambiente.

O cenário sucroalcooleiro abrange resíduos como palha e bagaço de cana-de-açúcar, torta de filtro e vinhaça, que podem ser utilizados como matérias-primas no próprio setor de produção agrícola desta planta, e para outros processos na indústria química, adaptando as práticas atuais para alternativas sustentáveis.

A vinhaça consiste em um detrito, obtido na etapa de destilação do mosto fermentado, com alto potencial poluente, visto que, quando administrado de forma errada, atua contaminando rios, solos e lençóis freáticos em função da sua alta ação redutora. Esse subproduto pode ser utilizado como fertilizante na agricultura e também aplicado na produção de compostos químicos. Já a torta de filtro é um resíduo do setor sucroalcooleiro, que pode ser utilizada para fertilização do solo, quando tratada corretamente, em virtude da sua composição rica em nutrientes. Entretanto, o descarte sem o devido tratamento pode ocasionar a contaminação de solos e rios, tendo em vista que trata de um material obtido na etapa clarificação do caldo de cana-de-açúcar, podendo conter ainda substâncias tóxicas (Almeida; Rizzatto, 2022; Oliveira; Cavichioli, 2024).

Essas premissas são abordadas na literatura destacando que o conceito de sustentabilidade, no âmbito atual, é marcado por pilares ambientais, sociais e econômicos, bem como está atrelado a princípios de ESG - *Environmental, Social e Governance* e aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS (Kunsch, 2022). O setor sucroalcooleiro é caracterizado pela constante busca por sustentabilidade, uma vez que a maioria dos resíduos gerados nesse setor é reaproveitada dentro da própria usina, como na cogeração de energia, ou é vendida para outros setores, como o uso do bagaço de cana-de-açúcar como ração animal.

Outra grande contribuição do setor sucroenergético abrange a produção de biocombustíveis, atendendo às demandas estabelecidas por programas governamentais, como RenovaBio e o Rota 2023, adequando a expansão dos biocombustíveis na matriz energética, principalmente o etanol. A diversificação de produtos e a integração de tecnologias celulósicas de primeira e segunda geração aumentam a sustentabilidade econômica, bem como impulsionam o uso de diferentes alternativas para a produção bioprodutos (Shibukawa *et al.*, 2023).

No setor sucroalcooleiro, as certificações e os programas de sustentabilidade desempenham um papel fundamental na promoção de práticas responsáveis e na gestão eficiente de resíduos. A importância da gestão de resíduos representa uma alternativa significativa frente às consequências negativas atribuídas a prática de queimadas das biomassas vegetais (Rathour *et al.*, 2023). Nesse contexto, certificações ambientais atestam que empresas estão adotando padrões de proteção ambiental e melhoria na gestão de recursos naturais.

Por exemplo, a certificação Bonsucro corresponde a uma das estratégias de sustentabilidade que objetiva a redução de impactos socioambientais na produção de cana-de-açúcar, reconhecendo a necessidade de sua viabilidade econômica (Rangel; Conceição; Santos, 2024). Além disso, incentivos como os Créditos de Carbono (CBio's) atuam como mecanismo de mercado para impulsionar a produção de biocombustíveis, pois uma unidade de CBIO corresponde a uma tonelada de dióxido de carbono CO<sub>2</sub> equivalente e constitui um ativo que pode ser

negociado na bolsa de valores (Tiburcio; Macêdo; Neto, 2023).

O grande volume de informações presentes na literatura sobre a sustentabilidade e a destinação adequada de resíduos desponta como um alerta para o uso de métodos que permitam a construção de um maior entendimento, objetivando a extração de conclusões sobre os resultados analisados (Peixe; Pinto, 2021). Nesse sentido, no presente artigo foi objetivado a realização de um estudo bibliométrico e sistemático para analisar e evidenciar as particularidades de destaque em um portfólio bibliográfico sobre o tema sustentabilidade e gestão de resíduos no setor sucroalcooleiro.

## 2 Procedimentos Metodológicos

### 2.1 Método de Revisão

A bibliometria e a análise sistemática foram escolhidas como métodos de revisão, buscando compreender os fundamentos que englobam a sustentabilidade e a gestão de resíduos no setor sucroenergético. A bibliometria corresponde a uma ferramenta importante na identificação de tendências no desenvolvimento do fluxo documental e das nuances que abordam o tema refletido (Krymskaya, 2023). Essa metodologia visa ressaltar padrões nos dados bibliográficos com base em diretrizes estatísticas, englobando o embasamento quantitativo referente a diversos temas, autores, instituições e palavras-chave (Rowe; Kanita; Walsh, 2024).

A análise sistemática foi adotada em virtude do seu potencial na obtenção de lacunas presentes na literatura a respeito do tema proposto. O objetivo dessa metodologia é sintetizar todas as evidências sobre os diferentes caminhos que podem ser seguidos na temática por meio de uma busca extensiva dos estudos presentes na literatura (Vo; Vansteelandt, 2022). Assim, a análise sistemática destaca-se como um importante caminho utilizado na identificação de aspectos por meio de múltiplas fontes, caracterizando-se como uma ferramenta essencial que dispõe de observações confiáveis no campo da pesquisa científica (Uttley *et al.*, 2023).

### 2.2 Coleta de dados

A coleta de dados foi efetuada objetivando encontrar publicações com relevância científica considerada nas bases de dados *Web of Science* e *Scopus* devido a sua expressiva relevância nas práticas de avaliação científica por todo o mundo. Além disso, as publicações indexadas em ambas as bases têm valor potencial para análises em larga escala em diversas áreas do conhecimento, incluindo Ciência, Tecnologia, Medicina, Ciências Sociais e Humanidades (Chinchilla-Rodriguez *et al.*, 2024). Em síntese, ambas são importantes em função de sua abrangência e da sua relevância para uma série de artigos, expressa por meio do *Journal Citation Reports* e do Fator de Impacto na *Web of Science*, além de oferecerem uma comparação de impacto com o *CiteScore* e os aspectos mais recentes na *Scopus* (Hussain *et al.*, 2024).

A busca nestas bases de dados foi realizada partindo dos eixos de pesquisa (I) Sustentabilidade e (II) Tipos de resíduos sucroalcooleiros. Para tanto, foram determinadas palavras-chave associadas a cada eixo, sendo elas: para o primeiro eixo foram escolhidas as expressões sustentabilidade e Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS; e para o segundo eixo abordando os resíduos sucroalcooleiros foram aplicados os termos resíduos de cana-de-açúcar, bagaço de cana-de-açúcar, palha de cana-de-açúcar, torta de filtro, vinhaça e aplicação. Logo, realizou-se a combinação das palavras-chave, em inglês, por meio de indicadores *booleanos* AND e OR resultando na seguinte associação: “*sustainability*” AND “*sustainable development goals*” AND “*sugarcane residue*” AND “*sugarcane bagasse*” OR “*sugarcane straw*” OR “*filter cake*” OR “*stillage*” AND “*application*”.

## 2.3 Análise de dados

Na etapa de análise de dados foram utilizados os *software's* RStudio e Bibliometrix. O RStudio foi utilizado dado ao seu potencial na identificação de artigos duplicados nas duas bases de dados escolhidas. Esse *software* faz uso da linguagem R para categorizar e organizar os dados na forma de gráficos, planilhas e mapas, objetivando maior compreensão do tema proposto. Vale ressaltar que trata-se de um mecanismo amplamente adotado no desenvolvimento estatístico de análises bibliométricas no campo acadêmico e científico. No total, foram identificadas 1053 publicações, das quais 1022 foram obtidas na *Web of Science* e 31 na *Scopus*. A aplicação do RStudio permitiu a identificação de 3 artigos duplicados, seguindo com 1050 publicações para análise bibliométrica no Bibliometrix.

O Bibliometrix é uma ferramenta de código aberto comumente empregada em pesquisas quantitativas de cunho cienciométrico e bibliométrico (Kemec; Altinay, 2023). Esse *software* promove a visualização de tópicos de tendências, mapa temático e o mapa mundial de colaborações dentro da análise de palavras-chave. O Bibliometrix possui uma interface simples e intuitiva chamada de Biblioshiny, que facilita a realização, obtenção, representação e tratamento de dados estatísticos de buscas bibliográficas (López; Marin; Pérez, 2024).

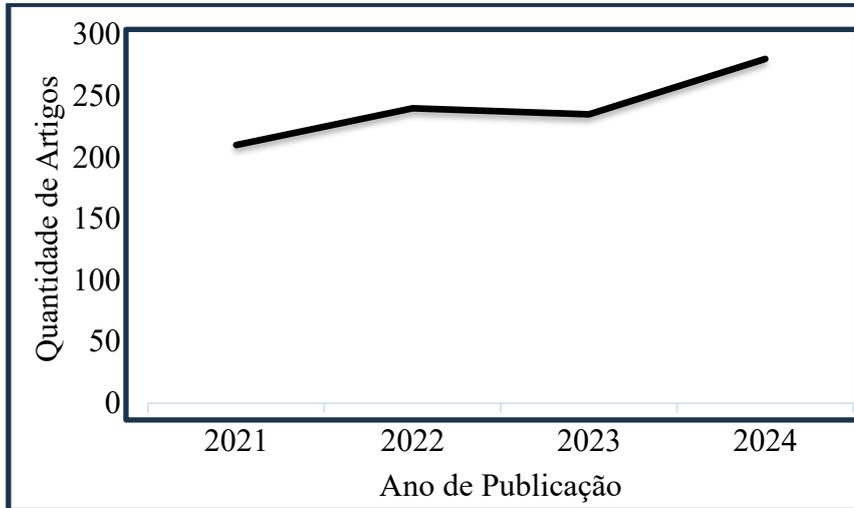
A etapa seguinte compreendeu a determinação de critérios de análise dos materiais mais relevantes utilizando o *software* Bibliometrix. Logo, foram estabelecidos filtros objetivando a identificação de artigos científicos e artigos de revisão, publicados entre os anos de 2021 a 2024, abordados em chinês, inglês, japonês, russo, espanhol, turco, alemão e polonês. Vale ressaltar que esses parâmetros foram escolhidos em função da melhor delimitação com a *string* de busca utilizada. Esse processo resultou em 965 artigos que passaram por análise da produção científica por ano, a produção em cada país, relevância dos periódicos, autores mais citados, a ocorrência das palavras-chave e dos autores que trabalham em conjunto sobre o tema da presente pesquisa.

A análise sistemática foi realizada utilizando os 10 artigos mais citados dentre o portfólio de 965 publicados abordadas no estudo. Os materiais foram lidos na íntegra e analisados quanto a presença das palavras-chave, como também buscou-se a identificação de questões pertinentes sobre a sustentabilidade e a gestão de resíduos no setor sucroalcooleiro. Por meio da análise sistemática objetivou-se compreender a gestão de resíduos no setor sucroalcooleiro e suas aplicações que podem trazer sustentabilidade ao âmbito industrial.

## 3 Análise dos Dados: Resultados e Discussão

O primeiro fundamento observado na análise bibliométrica abordando a sustentabilidade e gestão de resíduos no setor sucroalcooleiro consiste no aspecto temporal das publicações analisadas. Nesse sentido, a Figura 1 ilustra a produção científica considerando o recorte entre os anos de 2021 a 2024 sobre o referido tema. Verifica-se que o ano de 2024 apresentou o maior número de artigos, representando 29,01% em relação ao total de materiais presentes no portfólio bibliográfico. Esse quantitativo pode ter sido impulsionado pelo avanço do protocolo Etanol Mais Verde, no Estado de São Paulo, que enfatiza o aproveitamento dos subprodutos da cana-de-açúcar para agregar sustentabilidade à cadeia produtiva do etanol. Além disso, o ano de 2024 foi marcado por iniciativas voltadas ao desenvolvimento de biocombustíveis sustentáveis, destacando a Lei de Combustíveis do Futuro que alterou o percentual de etanol à gasolina para no mínimo 22% e podendo chegar até 35% (Senado Federal, 2024; SEMIL, 2024). Vale destacar que o ano de 2021 apresentou o menor índice de publicações com, 210 artigos, representando 21,76% em relação ao total de materiais analisados.

Figura 1. Produção Científica entre os anos de 2021-2024 abordando o tema sustentabilidade e gestão de resíduos no setor sucroalcooleiro.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Na Tabela 1 estão ilustrados os 10 periódicos de maior relevância no estudo da sustentabilidade e da gestão de resíduos no setor sucroalcooleiro, entre os anos de 2021 e 2024. Os periódicos *Geoenergy Science and Engineering*, *Separation and Purification Technology* e *Acs Omega* destacaram-se com maior número de artigos publicados, com 24, 22 e 21, respectivamente. Essas fontes são comumente conhecidas por abordarem pesquisas voltadas à geração de energia sustentável, captura e armazenamento de carbono, ciência dos materiais, química orgânica, biotecnologia, recuperação e reciclagem de recursos. Ademais, fontes como *Scientific Reports* e *Energy & fuels* também apresentaram quantitativos considerados e são amplamente buscadas no campo da engenharia e do aproveitamento energético no contexto do desenvolvimento sustentável. Vale destacar que as demais fontes que compõem o portfólio bibliográfico de 965 artigos apresentaram valores próximos e inferiores a 13 publicações.

Tabela 1. Relevância dos 10 principais periódicos no estudo da sustentabilidade e gestão de resíduos no setor sucroalcooleiro.

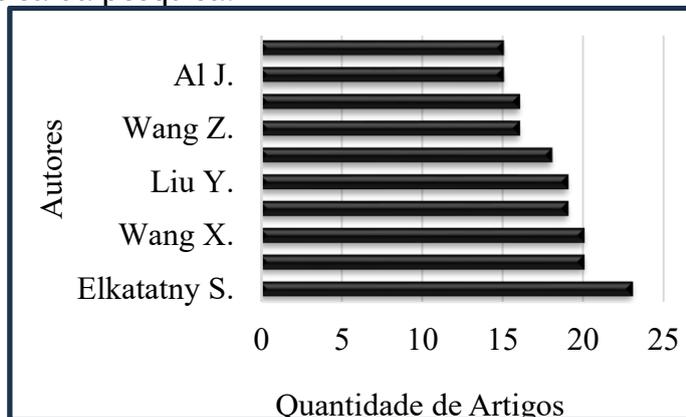
Periódicos	Artigos
Geoenergy science and engineering	24
Separation and purification technology	22
Acs omega	21
Fuel	21
Scientific reports	17
Energy \& fuels	16
Tunnelling and underground space technology	16
Journal of petroleum science and engineering	15
Powder technology	14
Construction and building materials	13

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Um dos aspectos abordados na análise bibliométrica corresponde à identificação dos autores, por quantidade de artigos publicados, abordando o tema da pesquisa. Nesse contexto, a Figura 2 apresenta os 10 principais autores e suas produções abordando a sustentabilidade e a gestão de resíduos entre os anos de 2021 e 2024. Observa-se em destaque os autores Elkatatny S., Liu J. e Wang X. com 23, 20 e 20 artigos, respectivamente. Entretanto, autores como Sun J. e Al J. apareceram com a menor produção de artigos, cada um com apenas 15 publicações.

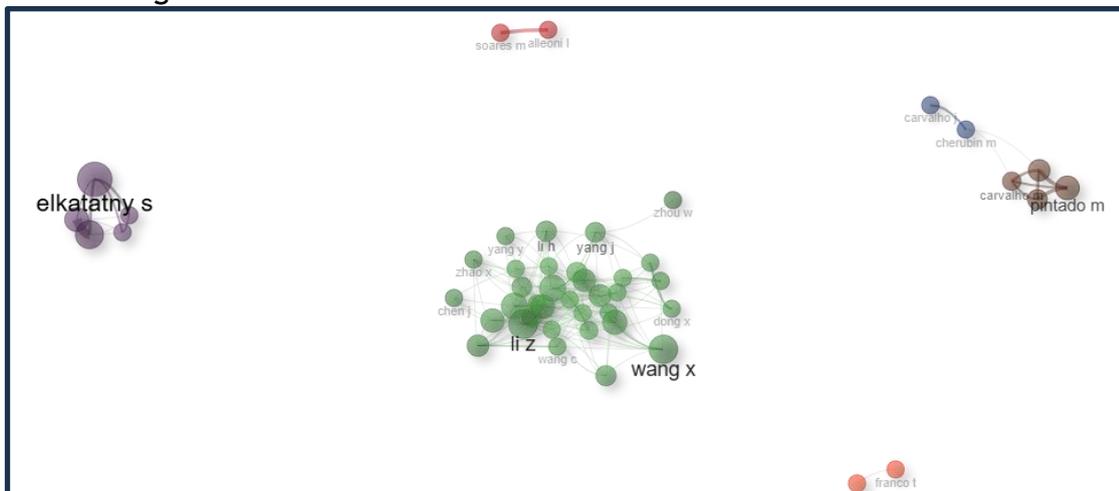
Correlacionando os dados, na Figura 3 estão ilustrados 6 clusters ou grupos resultantes da análise de coautoria utilizando o *software* Bibliometrix. Nesse cenário não foi possível identificar relação de coautoria entre os autores, pois a análise não apresentou *links* de ligação entre os grupos expressos em roxo, verde, azul, laranja, marrom e vermelho. Logo, é possível inferir que os autores trabalham de forma separada com seus respectivos grupos de pesquisa sobre o tema sustentabilidade e gestão de resíduos no setor sucroalcooleiro. Por outro lado, o grupo em verde apresenta diversos círculos de forma aproximada, indicando a constante colaboração entre esses autores no mesmo campo de pesquisa.

Figura 2. Identificação dos 10 principais autores por quantidade de artigos publicados entre 2021-2024 abordando a temática da pesquisa.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Figura 3. Análise de coautoria dos autores presentes no portfólio bibliográfico do estudo sobre sustentabilidade e gestão de resíduos no setor sucroalcooleiro.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Na Tabela 2 estão descritas as 10 filiações mais relevantes no estudo sobre sustentabilidade e gestão de resíduos no setor sucroalcooleiro entre os anos de 2021 a 2024. As filiações que mais se destacaram foram a Universidade de Petróleo e Minerais King Fahd com 116 publicações, sendo uma instituição privada na Arábia Saudita que oferece programas de negócios, engenharia e ciências naturais. Já a Universidade de São Paulo aparece com 110 artigos publicados, correspondendo a uma instituição brasileira renomada que oferece cursos de graduação em várias áreas de ensino. A Universidade de Khon Kaen é uma instituição da Tailândia conhecida por trabalhar diretrizes computacionais e o pensamento estatístico, apresentando-se com 84 artigos publicados.

Tabela 2. Filiações mais relevantes no estudo sobre sustentabilidade e gestão de resíduos no setor sucroalcooleiro entre os anos de 2021-2024.

<b>Filiações</b>	<b>Artigos</b>
King Fahd Univ Petr and Minerals	116
Univ São Paulo	110
Khon Kaen Univ	84
China Univ Petr East China	73
Southwest Petr Univ	73
Univ Campinas Unicamp	48
China Univ Petr	42
China Univ Min and Technol	39
Univ Estadual Campinas	37
São Paulo State Univ Unesp	35

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Na Tabela 3 estão apresentados os 10 principais países que mais concentram pesquisas voltadas a sustentabilidade e a gestão de resíduos no setor sucroalcooleiro. Relacionando esse aspecto aos idiomas que foram utilizados durante os critérios de busca, observa-se que apesar do português não ter sido usado como idioma de busca, o Brasil apresenta visibilidade com 681 produções publicadas. Além disso, a China e a Tailândia também emergem com valores significativos, sendo 1282 e 161 artigos, respectivamente. Essa premissa pode ser justificada mediante ao potencial dos três países na produção de cana-de-açúcar, principalmente o Brasil que se destaca como maior produtor mundial dessa planta.

Tabela 3. Quantidade de publicações por países que mais concentram pesquisas voltadas a sustentabilidade e a gestão de resíduos no setor sucroalcooleiro.

<b>País</b>	<b>Artigos</b>
China	1282
Brasil	681
Tailândia	161
Arábia Saudita	158
Alemanha	149
Estados Unidos	127
Irã	99
Reino Unido	81
Índia	73
Rússia	50

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A nuvem de palavras-chave, expressa na Figura 4, indica os termos mais utilizados nos estudos que compõe o portfólio bibliográfico analisado. Nesse sentido, o tamanho das palavras-chave está associado a frequência de ocorrência nos textos analisados. Logo, as palavras *ethanol*, *nanoparticles*, *biomass*, *pyrolysis*, *polymer* aparecem em destaque e consistem em termos abordados no contexto da utilização de resíduos provenientes no setor sucroalcooleiro. Destacam-se as expressões "pirólise" e "pré-tratamento" como alternativas importantes para o reaproveitamento energético desses materiais, uma vez que a pirólise é um processo termoquímico utilizado na obtenção de biocarvão, bio-óleo e biogás, enquanto o pré-tratamento se apresenta como uma solução promissora para facilitar a produção de etanol de segunda geração, tornando o processo mais eficiente.

Figura 4. Nuvem de Palavras do portfólio bibliográfico analisado sobre a sustentabilidade e a gestão de resíduos no setor sucroalcooleiro.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Na Tabela 4 estão ilustrados os 10 artigos mais citados dentre o portfólio bibliográfico de 965 publicações. Esse material passou por análise sistemática para a compreensão de parâmetros importantes ao tema sustentabilidade e gestão de resíduos no setor sucroalcooleiro, observando principalmente as aplicações abordadas para esses detritos e as novas diretrizes que relacionam o processamento industrial com o meio ambiente.

Tabela 4. Conjunto dos 10 artigos mais citados utilizados na análise sistemática abordando a sustentabilidade e a gestão de resíduos no setor sucroalcooleiro entre os anos de 2021-2024.

Resíduo	Metodologia	Aplicação	Referência
Bagaço de cana-de-açúcar	Pré-tratamento, torrefação e carbonização hidrotermal assistidas por micro-ondas	Produção de biocombustíveis	Arpia <i>et al.</i> (2021)
Bagaço de cana-de-açúcar	Torrefação induzida por micro-ondas	Produção de Biocombustíveis	Abdulyekeen <i>et al.</i> (2021).
Cinzas do bagaço de cana-de-açúcar	Revisão de literatura	Suplemento para produção de concreto	Charitha <i>et al.</i> (2021)
Cinzas do bagaço de cana-de-açúcar	Revisão de literatura	Suplemento para produção de concreto	Athira <i>et al.</i> (2021)
Palha de cana-de-açúcar	Avaliação sustentável do solo: Soil Management Assessment Framework (SMAF)	Produção de bioenergia e etanol	Cherubin <i>et al.</i> (2021)
Vinhaça	Extração por solvente e extração eletroquímica	Produção de plastificantes e produtos de higiene pessoal	Carvajal-Arroyo <i>et al.</i> (2021)
Palha de cana-de-açúcar	Digestão anaeróbica	Produção de Biogás	Devi <i>et al.</i> (2022)
Palha de cana-de-açúcar	Hidrólise ácida	Obtenção de nanocristais de celulose	Lu <i>et al.</i> (2022)
Torta de filtro	Lixiviação	Extração de Zinco aplicado a fotocatalise	Ghamarpoor <i>et al.</i> (2023)
Torta de filtro	Codigestão anaeróbica	Produção de Metano	Wongarmat <i>et al.</i> (2022)

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Conforme Arpia *et al.* (2021), resíduos provenientes da indústria de cana-de-açúcar representam uma fonte renovável, com grande potencial para aplicações biotecnológicas que contribuem para a redução dos impactos ambientais. Nesse sentido, os autores abordam a utilização do bagaço de cana-de-açúcar na produção de biocombustíveis por meio de processos como o aquecimento assistido por micro-ondas, tipo de pré-tratamento que facilita a quebra da estrutura lignocelulósica do material; a torrefação em temperaturas entre 200 a 300 °C, em ambiente sem oxigênio, destacando que a indução por micro-ondas melhora o poder calorífico do bagaço em até 57%; e a carbonização hidrotermal, que compreende o tratamento do resíduo em água subcrítica sob irradiação de micro-ondas, potencializando a densidade energética e o poder calorífico. Análogo a isso, Abdulyekeen *et al.* (2021) também fazem ressalva a torrefação do bagaço de cana-de-açúcar para produção de biocombustível sólido, destacando a importância do processo para o aquecimento uniforme do material.

Dentre os resíduos sucroalcooleiros, Charitha *et al.* (2021) mencionam o uso das cinzas do bagaço de cana-de-açúcar, subproduto obtido com a combustão do bagaço de cana-de-açúcar em caldeiras, como suplemento adicionado ao concreto para melhorar suas propriedades mecânicas, incluindo resistência a tração e compressão. Já Athira *et al.* (2021) também fazem uso das cinzas do bagaço de cana-de-açúcar como suplemento para produção de concreto, atrelando sustentabilidade ao setor de construção civil com a redução das emissões de carbono.

Segundo Cherubin *et al.* (2021) a remoção de palha de cana-de-açúcar do campo é uma estratégia promissora para aumentar a produção de bioenergia e etanol celulósico no Brasil. Os autores empregam a avaliação sustentável do solo, por meio do *software* Soil Management Assessment Framework, para analisar os impactos da remoção de palha na saúde do solo, considerando aspectos químicos, físicos e biológicos. Devi *et al.* (2022) complementam abordando outra aplicação a esse resíduo com a produção de biogás por meio do processo de digestão anaeróbica, visto que o uso desse produto contribui para redução das emissões dos gases do efeito estufa. Nesse cenário, Wongarmat *et al.* (2022) retratam um processo semelhante ao trabalharem a codigestão anaeróbica da torta de filtro para a produção de metano, destacando a importância desse processo na obtenção de bioprodutos de valor agregado.

Partindo do princípio de extração de moléculas de interesse a partir de resíduos, Lu *et al.* (2022) retratam que a palha de cana-de-açúcar pode ser utilizada para obtenção de nanocristais de celulose que podem ser aplicados na fabricação de materiais compósitos, cosméticos e embalagens sustentáveis. Além disso, Ghamarpoor *et al.* (2023) discorrem a extração de zinco da torta de filtro para produção de nanopartículas de óxido de zinco que auxiliam na produção de um filme acrílico fotocatalítico, atuando na remoção de benzeno do ar e outras partículas da água. Os autores destacam que as nanopartículas modificadas removeram até 35% do benzeno do ar.

Carvajal-Arroyo *et al.* (2021) trabalharam a extração de ácidos carboxílicos de cadeia média presentes na vinhaça, resíduo obtido na etapa de destilação do mosto fermentado, que podem ser aplicados a produção de plastificantes e produtos de higiene pessoal. Os autores propõem o uso de duas metodologias de extração, solvente e eletroquímica, sendo a extração por solvente seguida pela separação da fase eletroquímica dos ácidos com auxílio de uma membrana. Logo, esse cenário demonstrou maior eficiência de extração de n-caproico.

Com base nos resultados, observa-se a pluralidade de aplicações atuais atribuídas aos resíduos do setor sucroalcooleiro, tendo como base a *string* de busca e os critérios de inclusão elencados anteriormente. Nesse contexto, estão descritas aplicações voltadas a produção de biocombustíveis, aditivos suplementares à produção de concreto na construção civil e a extração de moléculas de interesse para produção de bioprodutos de valor agregado. Essas vertentes estão relacionadas ao Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS 7, promovendo o

desenvolvimento de energia limpa e acessível, e ao ODS 12 com o consumo e produção sustentável. Logo, a amplitude dos resultados desta pesquisa reflete a natureza global das questões ambientais voltadas para a sustentabilidade, promovendo o uso responsável de recursos naturais e a redução de impactos ambientais.

#### 4 conclusões

Neste estudo, foi executada uma análise bibliométrica e sistemática da literatura abordando a sustentabilidade e a gestão de resíduos na indústria de cana-de-açúcar. A revisão bibliométrica foi realizada com base em palavras-chave predeterminadas, analisando os aspectos de autoria e periódicos mais citados, países que mais abordam o tema, ocorrência de relação entre os autores e filiações mais relevantes do portfólio bibliográfico analisado. Para tanto, a análise sistemática foi realizada utilizando os 10 artigos mais citados buscando a identificação das aplicações atuais dos resíduos sucroalcooleiros.

A análise bibliométrica possibilitou a determinação da atuação de países como China, Brasil e Tailândia, que se destacaram com o maior número de publicações sobre a sustentabilidade e a gestão de resíduos no setor sucroalcooleiro. Os periódicos *Geoenergy Science and Engineering*, *Separation and Purification Technology* e *Acs Omega* apresentaram os maiores índices de artigos, tendo em vista que são fontes conhecidas por retratarem pesquisas voltadas a geração de energia sustentável, captura e armazenamento de carbono.

A análise sistemática contribuiu para a identificação de resíduos, como bagaço, torta de filtro, palha, vinhaça e cinzas do bagaço de cana-de-açúcar, destacando a utilização desses materiais em processos termoquímicos para a produção de biocombustíveis, bem como na extração de moléculas de interesse para aplicação em diversas vertentes industriais.

Em síntese, a sustentabilidade e a gestão de resíduos no setor sucroalcooleiro são fundamentais para promover o incentivo à economia circular ao transformar resíduos em bioprodutos de alto valor. Essa abordagem sustentável fortalece o setor sucroenergético em termos de competitividade e inovação, atendendo a exigências globais e aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, por produções mais sustentáveis ao correlacionar o âmbito industrial com o meio ambiente.

#### Referências

ABDULYEKEEN, K. A. *et al.* Torrefaction of biomass: Production of enhanced solid biofuel from municipal solid waste and other types of biomass. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 150, p. 111436, 2021.

ALMEIDA, J. N. S.; RIZZATTO, M. L. Biogás de vinhaça: uma revisão. **Scientific Electronic Archives**, v. 15, n. 6, 2022.

ARPIA, A. A. *et al.* Sustainable biofuel and bioenergy production from biomass waste residues using microwave-assisted heating: A comprehensive review. **Chemical Engineering Journal**, v. 403, p. 126233, 2021.

ATHIRA, V. S. *et al.* Agro-waste ash based alkali-activated binder: Cleaner production of zero cement concrete for construction. **Journal of Cleaner Production**, v. 286, p. 125429, 2021.

CARVAJAL-ARROYO, J. M. *et al.* Production and extraction of medium chain carboxylic acids at a

semi-pilot scale. **Chemical Engineering Journal**, v. 416, p. 127886, 2021.

CHARITHA, V. *et al.* Use of different agro-waste ashes in concrete for effective upcycling of locally available resources. **Construction and Building Materials**, v. 285, p. 122851, 2021.

CHERUBIN, M. R. *et al.* Soil health response to sugarcane straw removal in Brazil. **Industrial Crops and Products**, v. 163, p. 113315, 2021.

CHINCHILLA-RODRÍGUEZ, Z. *et al.* Examining the quality of the corresponding authorship field in Web of Science and Scopus. **Quantitative Science Studies**, v. 5, n. 1, p. 76-97, 2024.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Produção de cana-de-açúcar na safra 2024/25 sofre redução devido a condições climáticas adversas. Brasília, DF, 28 nov. 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5841-producao-de-cana-de-acucar-na-safra-2024-25-sofre-reducao-devido-a-condicoes-climaticas-adversas>. Acesso em: 27 mar. 2025.

DEVI, M. K. *et al.* Recent advances in biogas production using Agro-Industrial Waste: A comprehensive review outlook of Techno-Economic analysis. **Bioresource Technology**, v. 363, p. 127871, 2022.

GHAMARPOOR, R. *et al.* Preparation of dual-use GPTES@ ZnO photocatalyst from waste warm filter cake and evaluation of its synergic photocatalytic degradation for air-water purification. **Journal of environmental management**, v. 342, p. 118352, 2023.

HUSSAIN, W. *et al.* Half a century of Omega-The International Journal of Management Science: A bibliometric analysis. **Omega**, p. 103226, 2024.

KEMEC, A.; ALTINAY, A. T. Sustainable energy research trend: A bibliometric analysis using VOSviewer, RStudio bibliometrix, and CiteSpace software tools. **Sustainability**, v. 15, n. 4, p. 3618, 2023.

KRYMSKAYA, A. S. The Bibliometrics of Bibliometrics as a New Area of Research. **Scientific and Technical Information Processing**, v. 50, n. 4, p. 286-291, 2023.

KUNSCH, M. M. K. Estratégias comunicativas nos processos de parcerias para implementação da Agenda 2030 da ONU. **Organicom**, v. 19, n. 39, p. 16-31, 2022.

LÓPEZ, A. C. C.; MARIN, A. A. L.; PÉREZ, M. Á. L. H. Indagación, modelización y pensamiento computacional: Un análisis bibliométrico con el uso de Bibliometrix a través de Biblioshiny. **Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias**, [S. l.], v. 21, n. 1, p. 1102, 2024. DOI: 10.25267/Rev\_Eureka\_ensen\_divulg\_cienc.2024.v21.i1.1102. Disponível em: <https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/10036>. Acesso em: 23 mar. 2025.

LU, S. *et al.* Facile extraction and characterization of cellulose nanocrystals from agricultural waste sugarcane straw. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 102, n. 1, p. 312-321, 2022.

MANSY, A. E. *et al.* Catalytic production of aviation jet biofuels from biomass: a

review. **Environmental Chemistry Letters**, p. 1-43, 2025.

OLIVEIRA, G. F.; CAVICHIOLI, F. A. Uso de torta de filtro na cultura da cana-de-açúcar. **Revista Interface Tecnológica**, v. 21, n. 1, p. 597-607, 2024.

PEIXE, A. M. M.; PINTO, J. S. P. Infometria nas bases Web of Science e Scopus: governança corporativa, informação e tecnologia da informação; precificação de ações e riscos de mercado. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 5, p. e56110515433-e56110515433, 2021.

RANGEL, H. S.; CONCEIÇÃO, E. V.; SANTOS, D. F. L. The economic value of sustainability certification for sugarcane farms. **Journal of Cleaner Production**, v. 467, p. 143005, 2024.

RATHOUR, R. K. *et al.* Recent trends, opportunities and challenges in sustainable management of rice straw waste biomass for green biorefinery. **Energies**, v. 16, n. 3, p. 1429, 2023.

ROWE, F.; KANITA, N.; WALSH, I. The importance of theoretical positioning and the relevance of using bibliometrics for literature reviews. **Journal of Decision Systems**, v. 33, n. 4, p. 613-628, 2024.

SEMIL - Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. Protocolo Etanol Mais Verde. Disponível em:

<https://semil.sp.gov.br/sma/etanolverde/#:~:text=O%20objetivo%20principal%20do%20Protocolo,continuidade%20%C3%A0s%20atividades%20desenvolvidas%20no>. Acesso em: 25 mar. 2025.

SENADO FEDERAL. Lei que incentiva combustíveis do futuro é sancionada com vetos. **Notícias Senado**, 10 out. 2024. Disponível em:

[https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2024/10/10/lei-que-incentiva-combustiveis-do-futuro-e-sancionada-com-vetos#:~:text=Foi%20sancionada%20pelo%20presidente%20da,R%C3%A0go%20\(MDB%2DPB\)](https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2024/10/10/lei-que-incentiva-combustiveis-do-futuro-e-sancionada-com-vetos#:~:text=Foi%20sancionada%20pelo%20presidente%20da,R%C3%A0go%20(MDB%2DPB)). Acesso em: 25 mar. 2025.

SHIBUKAWA, V. P. *et al.* Impact of product diversification on the economic sustainability of second-generation ethanol biorefineries: A critical review. **Energies**, v. 16, n. 17, p. 6384, 2023.

TIBURCIO, R. S.; MACÊDO, T. R.; NETO, A. M. P. Brazilian Biofuels Policy (RenovaBio): Overview and generation of decarbonization credits by biodiesel production facilities. **Energy for Sustainable Development**, v. 77, p. 101334, 2023.

UTTLEY, L. *et al.* The problems with systematic reviews: a living systematic review. **Journal of Clinical Epidemiology**, v. 156, p. 30-41, 2023.

VO, T.; VANSTEELANDT, S. Challenges in systematic reviews and meta-analyses of mediation analyses. **American Journal of Epidemiology**, v. 191, n. 6, p. 1098-1106, 2022.

WONGARMAT, W. *et al.* Anaerobic co-digestion of biogas effluent and sugarcane filter cake for methane production. **Biomass Conversion and Biorefinery**, p. 1-12, 2022.

## Informações sobre os Autores

### \*Lucas Vinicius Borges Pereira

Tecnólogo em Produção Sucroalcooleira (UFPB). Graduando em Química. Mestrando em Energias Renováveis - UFPB. Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis - UFPB.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4175-4573>

E-mail: [lucas.pereira@cear.ufpb.br](mailto:lucas.pereira@cear.ufpb.br)

### \*\*Solange Maria de Vasconcelos

Engenheira Química - UFPE. Mestre e Doutora em Engenharia Química - UFPE. Coordenadora e Professora do Departamento de Tecnologia em Produção Sucroalcooleira - UFPB.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6773-0724>

E-mail: [solange.vasconcelos@gmail.com](mailto:solange.vasconcelos@gmail.com)

### \*\*\*Pollyana Caetano Ribeiro Fernandes

Engenheira de Materiais - UFCG. Mestrado e Doutorado em Engenharia de Materiais - UFCG. Professora do Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis - UFPB.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6478-3345>

E-mail: [pollyana@cear.ufpb.br](mailto:pollyana@cear.ufpb.br)

### \*\*\*\*Joelda Dantas

Engenheira de Materiais - UFCG. Mestrado e Doutorado em Engenharia de Materiais - UFCG. Professora do Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis - UFPB.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2512-8089>

E-mail: [joelda.dantas@cear.ufpb.br](mailto:joelda.dantas@cear.ufpb.br)

## Contribuição dos autores

Concepção e redação do artigo, coleta e análise de dados; redação do texto e revisão da redação final.

## Dados

O conjunto completo de dados que sustenta os resultados deste estudo foi publicado no próprio artigo.

## Declaração de conflito

Os autores declaram não ter interesses comerciais ou associativos que representem um conflito de interesses em relação ao manuscrito.

## Financiamento

Não houve apoio ou financiamento.