



## TENDÊNCIAS DE PESQUISA SOBRE O USO DO BAGAÇO DE MALTE: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

## TENDENCIAS DE INVESTIGACIÓN SOBRE EL USO DEL BAGAZO DE MALTA: UN ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO

## RESEARCH TRENDS ON THE USE OF BREWER'S SPENT GRAIN: A BIBLIOMETRIC ANALYSIS

Sergio de França Nunes Júnior<sup>1</sup>; Thiago Marques de Mello<sup>2</sup>; Liliana Andréa dos Santos<sup>3</sup>; André Felipe de Melo Sales Santos<sup>4</sup>; Tatiana Souza Porto<sup>5</sup>

DOI: <https://doi.org/10.31692/2526-7701.VCOINTERPDVAgro.0012>

### RESUMO

O mercado cervejeiro possui grande importância para a economia brasileira, sendo atualmente o terceiro maior produtor de cerveja do mundo. No entanto, são geradas quantidades expressivas de resíduos oriundos de sua fabricação, sendo o principal o bagaço de malte. Esse subproduto é rico em celulose, hemicelulose e lignina, considerados os polímeros mais abundantes encontrados no planeta Terra. Algumas indústrias utilizam a celulase para degradar esse tipo de resíduo lignocelulósico, assim viabilizando economicamente o subproduto. Este estudo, teve como objetivo, realizar uma análise bibliométrica sobre o assunto estudado, foi realizado um levantamento através da plataforma Portal periódicos da CAPES, na base de dados Scopus. Para tanto, foram utilizados operadores booleanos acompanhados de ferramentas como VOSviewer e Excel®. Como resultado, foram selecionadas 63 publicações pertinentes ao tema, viabilizando a construção das redes de coautoria, citação e co-ocorrência de palavras-chave. Os dados da bibliometria revelaram o crescente interesse científico na valorização do bagaço de malte, com destaque para o Brasil como o principal país em número de publicações e citações, também revelando a correlação com outros países, como a Colômbia, México, Egito, Arabia Saudita, Cazaquistão, Portugal e outros. As palavras-chave mais frequentes foram *bagasse*, *enzymes*, *fermentation* e *malt bagasse*, refletindo a consolidação da temática em pesquisas ambientais e industriais. Na análise da evolução das publicações no período de 1985 a 2025, culminando no pico de publicações em 2024, com 15 novos artigos, representando 14,85% do total de documentos. Portanto a utilização do bagaço de malte como substrato para a produção de celulases fúngicas representa um potencial resultado, passando a ser uma oportunidade estratégica, dentro das agroindústria.

**Palavras-Chave:** subproduto da cerveja, aplicações tecnológicas, bibliometria, *Vosviewer*

<sup>1</sup> Engenharia Ambiental, Universidade Federal Rural de Pernambuco, [sergio.nunes@ufrpe.br](mailto:sergio.nunes@ufrpe.br)

<sup>2</sup> Engenharia Ambiental, Universidade Federal Rural de Pernambuco, [thiago.mello@ufrpe.br](mailto:thiago.mello@ufrpe.br)

<sup>3</sup> Doutora, Universidade Federal Rural de Pernambuco, [liliana.andrea.santos@gmail.com](mailto:liliana.andrea.santos@gmail.com)

<sup>4</sup> Professor do Departamento de Tecnologia Rural, Universidade Federal Rural de Pernambuco, [andre.felipesantos@ufrpe.br](mailto:andre.felipesantos@ufrpe.br)

<sup>5</sup> Professora Associada no Departamento de Morfologia e Fisiologia Animal, Universidade Federal Rural de Pernambuco, [tatiana.porto@ufrpe.br](mailto:tatiana.porto@ufrpe.br)

## RESUMEN

El mercado cervecero tiene una gran importancia para la economía brasileña, siendo actualmente el tercer mayor productor de cerveza del mundo. Sin embargo, se generan cantidades significativas de residuos provenientes de su fabricación, siendo el principal el bagazo de malta. Este subproducto es rico en celulosa, hemicelulosa y lignina, considerados los polímeros más abundantes del planeta Tierra. Algunas industrias utilizan celulasas para degradar este tipo de residuo lignocelulósico, haciendo económicamente viable el aprovechamiento del subproducto. Este estudio tuvo como objetivo realizar un análisis bibliométrico sobre el tema, realizando una búsqueda a través de la plataforma Portal de Periódicos CAPES, en la base de datos Scopus. Para ello, se utilizaron operadores booleanos junto con herramientas como VOSviewer y Excel®. Como resultado, se seleccionaron 63 publicaciones pertinentes al tema, lo que permitió la construcción de redes de coautoría, citación y coocurrencia de palabras clave. Los datos bibliométricos revelaron un creciente interés científico en la valorización del bagazo de malta, destacando a Brasil como el principal país en número de publicaciones y citas, y evidenciando correlaciones con otros países como Colombia, México, Egipto, Arabia Saudita, Kazajistán, Portugal, entre otros. Las palabras clave más frecuentes fueron *bagasse*, *enzymes*, *fermentation* y *malt bagasse*, reflejando la consolidación de la temática en investigaciones ambientales e industriales. En el análisis de la evolución de las publicaciones en el período de 1985 a 2025, se observó un pico en 2024, con 15 nuevos artículos, que representan el 14,85% del total de documentos. Por lo tanto, la utilización del bagazo de malta como sustrato para la producción de celulasas fúngicas representa un resultado potencial, constituyendo una oportunidad estratégica dentro de la agroindustria.

**Palabras clave:** Subproducto cervecero, aplicaciones tecnológicas, bibliometría, VOSviewer

## ABSTRACT

The brewing market holds great importance for the Brazilian economy, currently being the third-largest beer producer in the world. However, significant amounts of waste are generated from its production, with malt bagasse being the main byproduct. This residue is rich in cellulose, hemicellulose, and lignin, which are considered the most abundant polymers found on Earth. Some industries use cellulases to degrade this type of lignocellulosic waste, thus economically enabling the valorization of the byproduct. This study aimed to conduct a bibliometric analysis on the subject, performing a search through the CAPES Journal Portal using the Scopus database. Boolean operators were employed along with tools such as VOSviewer and Excel®. As a result, 63 relevant publications were selected, enabling the construction of co-authorship, citation, and keyword co-occurrence networks. The bibliometric data revealed growing scientific interest in the valorization of malt bagasse, highlighting Brazil as the leading country in the number of publications and citations, and showing correlations with other countries such as Colombia, Mexico, Egypt, Saudi Arabia, Kazakhstan, Portugal, among others. The most frequent keywords were *bagasse*, *enzymes*, *fermentation*, and *malt bagasse*, reflecting the consolidation of the theme in environmental and industrial research. The analysis of the evolution of publications from 1985 to 2025 culminated in a peak in 2024, with 15 new articles representing 14.85% of the total documents. Therefore, the use of malt bagasse as a substrate for fungal cellulase production represents a promising outcome, becoming a strategic opportunity within the agro-industry.

**keywords:** Beer by-product, technological applications, bibliometric analysis, VOSviewer

## INTRODUÇÃO

A cerveja é uma das bebidas alcoólicas obtidas pela fermentação de cereais, como trigo, centeio, cevada, entre outros. Teve seu marco inicial na região da Mesopotâmia, onde ganhou seu maior destaque no Império Romano. No Brasil, a cerveja chegou com os colonizadores europeus e

se tornou uma das bebidas mais populares, contribuindo bastante significativamente para a economia nacional (Barreira, 2022). Hoje o Brasil é o terceiro maior produtor do mundo de cerveja, ficando somente atrás da China e EUA (Massardi *et al.*, 2020).

Além disso, a produção de cerveja gera grandes quantidades de resíduos, e suas destinações incorretas podem ter impactos ambientais significativos se não forem devidamente tratados (Figueiredo, 2023). O bagaço de malte é um dos resíduos gerados pelas indústrias cervejeiras, provém do processo de obtenção do mosto. Segundo Allegretti *et al* (2022), estima-se que a cada 100 litros de cerveja produzida, são gerados aproximadamente cerca de 14-20 kg de bagaço do malte, o que evidencia a necessidade de desenvolver alternativas viáveis para seu reaproveitamento.

Medidas de mitigação são utilizadas para transformar esse resíduo e evitar impactos no meio ambiente, com a criação de novas tecnologias, a conversão do bagaço de malte em biochar, biogás e bioetanol vem sendo estudada para produção de materiais de maior valor agregado, contribuindo para a economia circular e sustentável das empresas cervejeiro (Silva *et al.*,2024). Entretanto, além dessas aplicações, o bagaço de malte também se destaca como um substrato promissor para processos biotecnológicos, permitindo a produção de enzimas industriais (celulases, amilases, proteases) e obtenção de bioprodutos (probióticos, bioplásticos, biossurfactantes) entre outras aplicações (Paligundla; Mok, 2021).

Nesse contexto, resíduos lignocelulósicos, como o bagaço de malte, despertam grande interesse para aproveitamento energético. Esses resíduos são caracterizados por sua abundância, baixo custo e origem renovável, o que os torna alternativas viáveis e sustentáveis (Gueri *et al.*, 2021). O bagaço de malte, por sua composição rica em celulose, hemicelulose e lignina (Neta, 2021), permite sua utilização em diferentes processos biotecnológicos.

Diante da crescente demanda por soluções sustentáveis e do interesse em subprodutos agroindustriais, este estudo tem como objetivo analisar as principais tendências de pesquisa científica relacionadas ao uso do bagaço de malte, por meio de uma abordagem bibliométrica.

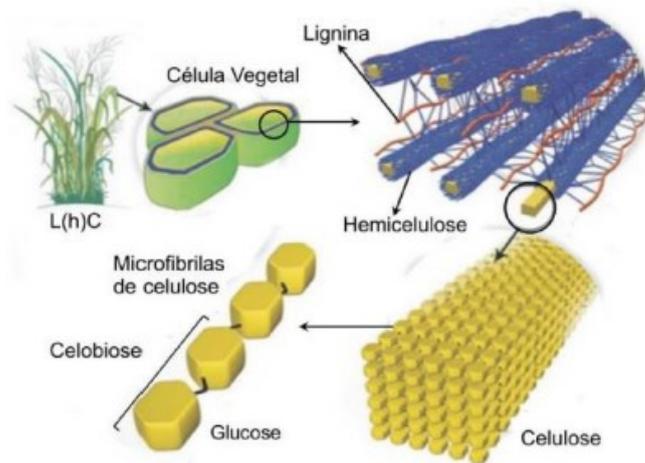
## **FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **Resíduos Lignocelulósicos**

Os resíduos lignocelulósicos são de grande abundância na natureza, sendo constituído por polímeros, como celulose que é um polissacarídeo cristalino composto por unidades de glicose, a hemicelulose que são polissacarídeos heterogêneos ramificados e amorfos e a lignina que é uma macromolécula complexa de compostos polifenólicos em uma estrutura tridimensional que parcialmente encapsula os polissacarídeos, assim formando a estrutura das paredes celulares das

plantas (Davison *et al.*, 2013). Na Figura 01, a estrutura do arranjo destaca a característica de rigidez e resistência da biomassa vegetal. Além disso, esses resíduos têm despertado grande interesse para o aproveitamento energético, pois possuem ampla variedade tipológica, tem baixo custo, também são renováveis e não competem com a produção de alimentos (Brown *et al.*, 2017).

**Figura 01.** Estrutura celular das plantas.



Fonte: Santos *et al.* (2012)

## **Bagaço de Malte**

Segundo Allegretti *et al* (2022) o bagaço de malte representa 85% da produção de resíduos da indústria de cerveja, onde cerca de 100 litros de cerveja produzida, obtemos de 14-20 kg de bagaço. O Brasil é um dos maiores produtores de cerveja do mundo, ficando atrás somente da China e dos EUA.

Nesse contexto, o bagaço de malte é o mais abundante resíduo sólido da indústria cervejeira, resultado do processo de filtração do mosto após a remoção dos componentes solúveis dos 18 cereais maltados (mosturação) (Mussatto *et al.*, 2006).

O bagaço de malte é um composto de cascas de malte, polpa, grãos e aditivos menores (por exemplo, arroz, milho e trigo) remanescentes do processo pós-fermentação (Marchese *et al.*, 2024).

Contudo, a presença de fibras (hemicelulose e celulose), proteínas e ligninas revela a predominância de materiais lignocelulósicos, pela a sua composição, o bagaço de malte tem potencial para ser uma matéria-prima com baixo custo para produção biocombustíveis, devido à alta porcentagem de açúcares fermentáveis e nitrogênio, não necessitando de adição de outros nutrientes (Pinheiro *et al.*, 2019).

Conforme Alhazmi e Loy (2021) a valorização deste resíduo tem sido cada vez mais explorado, na produção de enzimas industriais através da biomassa lignocelulósica, com isso, os

pesquisadores utilizam algumas etapas: a realização do pré-tratamento físico-química que auxiliam no rompimento da estrutura lignocelulósica, facilitando o acesso enzimático à celulose e à hemicelulose; a hidrólise da celulose e hemicelulose para produzir açúcares fermentáveis; e por fim, a fermentação destes açúcares hidrolisados (Gueri *et al.*, 2021).

Além disso, estudos recentes vêm demonstrando o potencial do bagaço de malte no desenvolvimento de biochar (biocarvão). No processo termoquímico chamado de pirólise, caracteriza a formação de um produto com maior resistência e teor de carbono, que ocorre em concentração baixa de oxigênio ou ausência total, resultando em três produtos: sólidos (biochar), líquidos (bio-óleo) e gasosos (gás de síntese) (Liu *et al.*, 2021; Correa *et al.*, 2019; Silva *et al.*, 2024).

### **Potencial de Aplicação do Bagaço de Malte da Produção Cervejeira como Matéria-Prima**

A crescente demanda por fontes energéticas renováveis impulsiona a busca por matérias-primas alternativas com alto potencial de aproveitamento energético e baixo impacto ambiental (Melo; Jesus; Cavalcanti, 2024). Nesse contexto, o bagaço de malte, resíduo lignocelulósico amplamente gerado pela indústria cervejeira, tem se destacado como uma biomassa promissora para a produção de biocombustíveis (Pinheiro *et al.*, 2019). Rico em componentes orgânicos como celulose, hemicelulose, lignina, proteínas e lipídios, esse subproduto apresenta características favoráveis à conversão energética por diferentes rotas tecnológicas, incluindo a digestão anaeróbia para obtenção de biogás, bem como processos termoquímicos, como a pirólise e a gaseificação (Ohra-Aho *et al.*, 2016; Mello, 2014). Além de seu elevado poder calorífico, o bagaço de malte possui baixa toxicidade e está disponível em grandes volumes de forma contínua, especialmente em regiões com forte atividade cervejeira, o que reforça seu potencial como insumo estratégico para a matriz energética sustentável (Khan *et al.*, 2019).

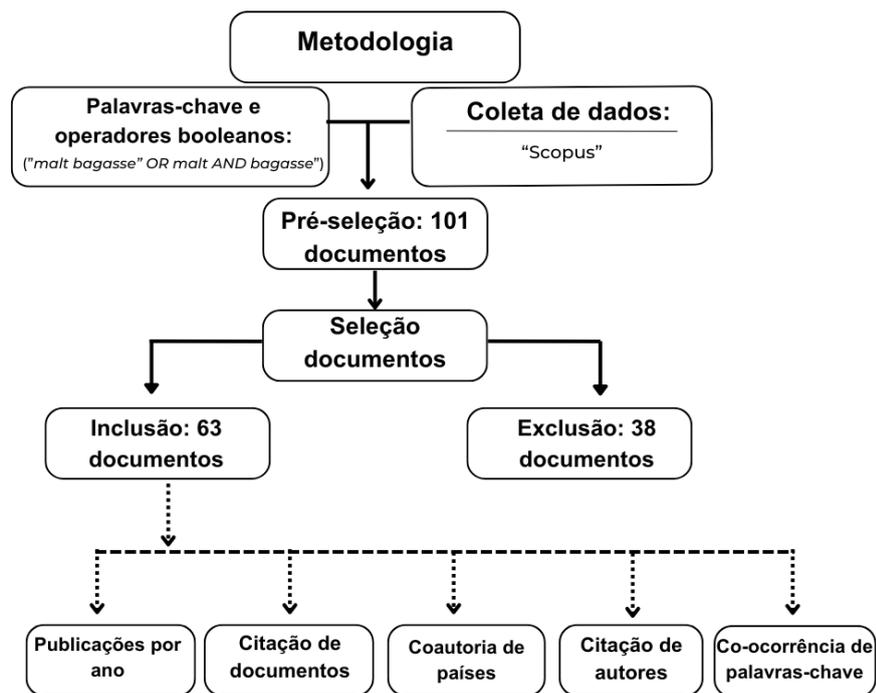
Ademais, o aproveitamento energético do bagaço de malte representa uma solução ambientalmente viável para a gestão de resíduos sólidos industriais, contribuindo significativamente para a mitigação de impactos decorrentes do descarte inadequado desse subproduto (Melo; Jesus; Cavalcanti, 2024). Estudos recentes têm evidenciado a viabilidade técnico-econômica da conversão do bagaço de malte em biocombustíveis líquidos e gasosos, ressaltando o potencial do resíduo como vetor de inovação e sustentabilidade na transição energética (Pinheiro *et al.*, 2019; Veroneze *et al.*, 2019). Dessa forma, explorar o bagaço de malte como matéria-prima para biocombustíveis não apenas agrega valor a um resíduo subutilizado, como também fortalece estratégias integradas de desenvolvimento sustentável e descarbonização da matriz energética.

## METODOLOGIA

### Levantamento Bibliométrico

Diante do tema abordado pelo estudo, foi realizado um levantamento bibliométrico baseado na coleta e análise de publicações científicas, a busca foi realizada no dia 10 de março de 2025, encontrando artigos internacionais e nacionais, através da plataforma Portal periódicos da *CAPES*. Optou-se pela base de dados *Scopus*, pois, em comparação a outras plataformas de acesso, forneceu os resultados mais relevantes e que se enquadram na temática sobre “Tendências de Pesquisa sobre o Uso do Bagaço de Malte”. A Figura 02 mostra o processo das etapas e como foram selecionados os documentos.

**Figura 02.** Etapas de busca dos dados na plataforma Scopus, Seleção e Análise dos documentos, para a bibliometria.



Fonte: Própria (2025)

Ao realizar a pesquisa, foram utilizadas as palavras-chave e operadores booleanos, usados para refinar e direcionar os termos de pesquisa. Dessa forma, no processo da busca pela temática, na base de dados do *Scopus*, foram empregados os operadores booleanos na seguinte combinação: (“*malt bagasse*” OR malt AND *bagasse*). Como resultado, foram identificados 101 documentos relacionados ao tema, demonstrando o crescente interesse da comunidade científica no reaproveitamento desse resíduo agroindustrial. Dentre os 101 documentos analisados, foram

selecionados aqueles que melhor se enquadravam no tema do projeto, este procedimento resultou na identificação de 63 documentos e a exclusão de 38. Após a seleção, os documentos obtidos na base de dados *Scopus* foram exportados no formato de arquivo “*Excel.CSV* e *txt*”, permitindo a manipulação e organização dos dados para as próximas etapas da análise. Posteriormente, o arquivo foi importado para o software *VOSviewer*, que possibilitou a visualização e análise de redes de coautoria, citações entre documentos, co-ocorrência de palavras-chave e demais métricas bibliométricas.

### **Utilização do Software *VOSviewer***

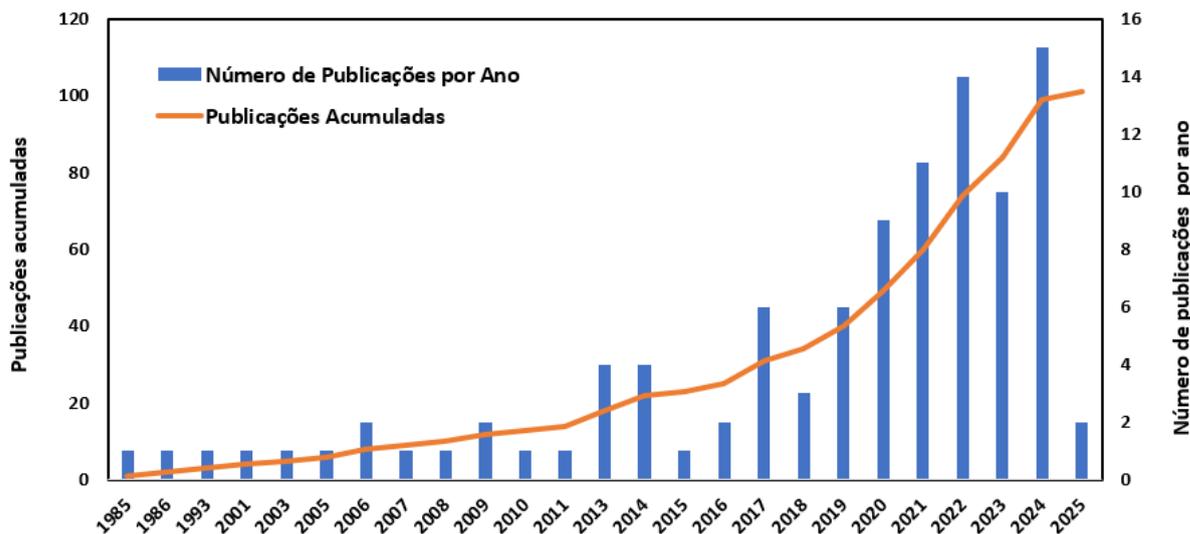
Ferramentas adotadas como o software *VOSviewer*, que permite a visualização e construção de mapas baseados em redes bibliométrica, utilizando método *Visualização of Similarities (VOS)*, é usado para publicar e criar redes de relações de conexões entre sistemas citação, bibliográfico, cocitação e coautoria, sendo que cada uma dessas opções é escolhida pelo pesquisador conforme a necessidade do estudo. Outra ferramenta foi a *Microsoft Excel*® utilizada para o desenvolvimento de análise e visualização de dados, criando tabelas e gráficos, também o *MapChart*® que possibilita a visualização de mapas e personalizar incluindo dados geograficamente.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Análise Bibliométrica**

#### **Análise e categorização da produção científica**

A Figura 03 ilustra a evolução das publicações científicas sobre o bagaço de malte ao longo do período de 1985 a 2025. A análise se baseia em um levantamento realizado na base de dados *Scopus*, do qual resultaram 101 documentos que abordam diferentes temáticas relacionadas ao bagaço de malte. No entanto, para este estudo, foram selecionados 63 artigos, correspondendo a 62,38% do total, por apresentarem maior pertinência com a temática da produção de *celulases* fúngicas a partir da fermentação sequencial desse substrato utilizando *Aspergillus* sp.

**Figura 03:** Evolução das publicações científicas sobre o bagaço de malte (1985-2025)

Fonte: Própria (2025)

Observa-se que, nas décadas de 1980 e 1990, a produção científica sobre o bagaço de malte era escassa, com apenas três publicações registradas até 1993, representando 2,97% do total de documentos recuperados. Entre 2001 e 2010, houve um leve crescimento, acumulando 13 publicações, o que equivale a 12,87% do total. Apesar do aumento, a pesquisa sobre esse resíduo ainda era pouco expressiva nesse período.

A partir de 2013, nota-se um crescimento mais significativo na produção científica sobre o bagaço de malte, com um aumento no número de publicações anuais. Em 2017, por exemplo, foram publicados seis novos artigos, representando 5,94% do total de documentos levantados. Esse crescimento se torna ainda mais acentuado nos anos seguintes, refletindo o crescente interesse acadêmico e industrial pelo aproveitamento desse resíduo agroindustrial (Vaz Júnior, 2020).

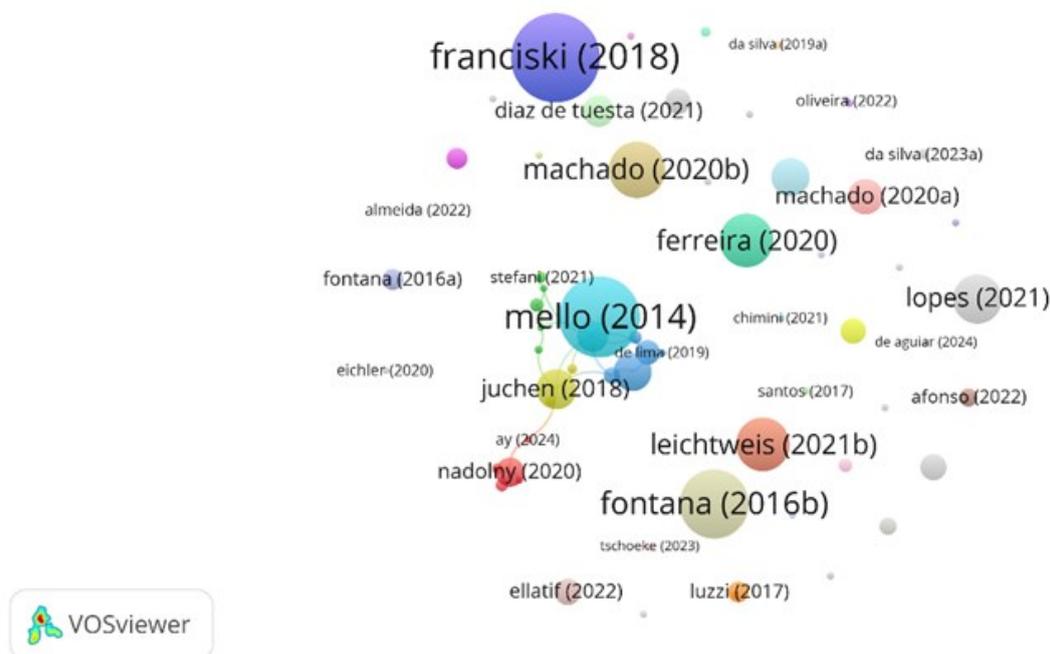
O marco mais expressivo desse avanço ocorreu na década de 2020, com um aumento substancial na quantidade de publicações. Em 2020, foram publicados 9 artigos, correspondendo a 8,91% do total, enquanto em 2021 houve um novo avanço, com 11 artigos publicados, elevando o percentual acumulado para 59,41%. Esse padrão ascendente se mantém nos anos seguintes, culminando no pico de publicações em 2024, com 15 novos artigos, representando 14,85% do total de documentos.

Além disso, a curva de publicações acumuladas demonstra um crescimento exponencial nos últimos anos, sugerindo a consolidação da aplicação específica na produção de *celulases* fúngicas utilizando *Aspergillus sp.*, acompanhando a crescente demanda por soluções biotecnológicas sustentáveis.

### Análise Bibliométrica de citação dos documentos

Dos 63 documentos analisados, todos atenderam aos critérios estabelecidos, garantindo que apenas documentos relevantes fossem incluídos. Alguns documentos, como “*Franciski (2018)*”, “*Mello (2014)*” e “*Fontana (2016b)*”, revelam que são trabalhos que têm maior influência dentro do campo de estudo, sugerindo que são referências centrais, como mostra a Figura 04.

**Figura 04.** Rede bibliométrica de citação de documentos



**Fonte:** Própria (2025)

No Tabela 01 destacam-se os cinco artigos amplamente mais citados. Nesse ranking o artigo com maior número de citações foi Franciski *et al.* (2018), sendo esse citado 150 vezes, com título “*Development of CO2 activated biochar from solid wastes of a beer industry and its application for methylene blue adsorption*”. O Artigo investiga produção de biocarvão ativado a partir de resíduos sólidos da indústria cervejeira, utilizando dióxido de carbono como agente ativante. O material resultante demonstrou alta eficiência na remoção do corante azul de metileno de soluções aquosas, sugerindo um potencial significativo para tratamento de efluentes industriais.

**Tabela 01.** O ranking dos 5 documentos mais citados.

Ranking	Título	Primeiro Autor/Ano	Nº de Citações	Revista	DOI
1º	<i>Development of CO<sub>2</sub> activated biochar from solid wastes of a beer industry and its application for methylene blue adsorption</i>	Franciski (2018)	151	<i>Waste Management</i>	<a href="https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.06.040">https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.06.040</a>
2º	<i>Use of malt bagasse to produce biodegradable baked foams made from cassava starch</i>	Mello (2014)	130	<i>Industrial Crops and Products</i>	<a href="https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.02.015">https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.02.015</a>
3º	<i>Textile dye removal from aqueous solutions by malt bagasse: Isotherm, kinetic and thermodynamic studies</i>	Fontana (2016b)	100	<i>Ecotoxicology and Environmental Safety</i>	<a href="https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.11.012">https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.11.012</a>
4º	<i>Treatment of effluents containing 2-chlorophenol by adsorption onto chemically and physically activated biochars</i>	Machado (2020b)	72	<i>Journal of Environmental Chemical Engineering</i>	<a href="https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104473">https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104473</a>
5º	<i>Wastewater containing emerging contaminants treated by residues from the brewing industry based on biochar as a new CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> / biochar photocatalyst</i>	Leichtweis (2021b)	66	<i>Process Safety and Environmental Protection</i>	<a href="https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.04.041">https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.04.041</a>

Fonte: Própria (2025)

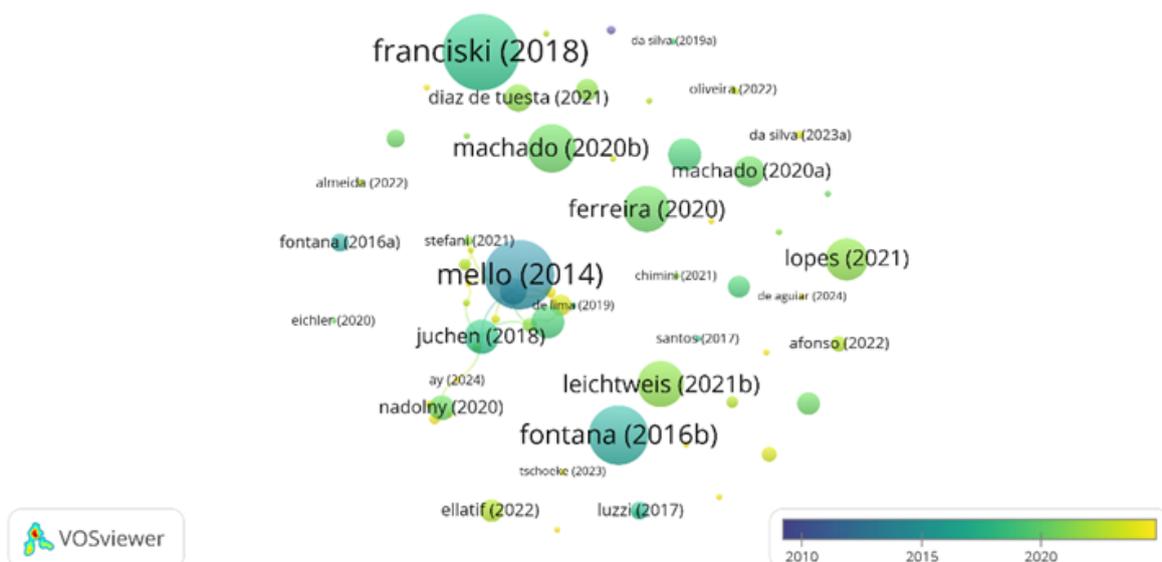
O segundo artigo mais citado foi dos autores Mello *et al.* (2014), que desenvolveram o tema “*Use of malt bagasse to produce biodegradable baked foams made from cassava starch*”, com 130 citações, teve sua publicação na *Industrial Crops and Products*. O artigo explora o processo do bagaço de malte na produção de espumas biodegradáveis à base de amido de mandioca, observando as propriedades microestruturais, físico-químicas e mecânicas das bandejas de espuma. O estudo demonstrou que esse resíduo pode melhorar na diminuição na higroscopicidade das espumas de amido, e assim oferecer uma alternativa sustentável ao uso de plásticos convencionais.

O terceiro artigo foi o “*Textile dye removal from aqueous solutions by malt bagasse: Isotherm, kinetic and thermodynamic studies*”, publicado ano de 2016b pela revista *Ecotoxicology and Environmental Safety*, sendo citado 100 vezes. Este trabalho analisa a eficiência do bagaço de malte como bioissorvente para remoção de corantes têxteis OS-TGL da água. Desenvolvidos através de estudos cinéticos e termodinâmicos, os autores demonstram que esse resíduo agroindustrial pode ser uma alternativa econômica e sustentável para o tratamento de águas contaminadas, pois os resultados foram considerados promissores.

O quarto artigo mais citado, com 72 citações foi “*Treatment of effluents containing 2-chlorophenol by adsorption onto chemically and physically activated biochars*” dos autores Machado *et al* (2020). O estudo investiga a adsorção de 2-clorofenol, um contaminante ambiental, utilizando biochar ativados quimicamente e fisicamente. Os resultados indicam que os biochar ativado por ZnCl<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> obtidos a partir de resíduos da indústria cervejeira, o bagaço de malte, apresentam alta capacidade de remoção deste poluente, contribuindo para o desenvolvimento de tecnologias de descontaminação de efluentes.

O quinto artigo do ranking de citação de documentos foi publicado no ano de 2021b pela revista *Process Safety and Environmental Protection*, titulado “*Wastewater containing emerging contaminants treated by residues from the brewing industry based on biochar as a new CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> / biochar photocatalyst*” . Os autores apresentam uma abordagem inovadora para o tratamento de águas residuais contendo contaminantes emergentes. Os pesquisadores desenvolveram um material fotocatalítico combinando biochar e (CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>), o biochar foi preparado a partir da pirólise da biomassa do bagaço de malte, demonstrando eficiência na degradação da rodamina B (RhB), um corante xanteno fluorescente solúvel em água que são liberado em águas residuais industriais. Na Figura 05 , a distribuição temporal dos documentos varia de 2014 a 2024, refletindo a evolução das publicações ao longo do tempo.

**Figura 05.** Distribuição temporal dos documentos mais citados (2014-2024)



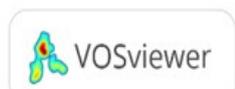
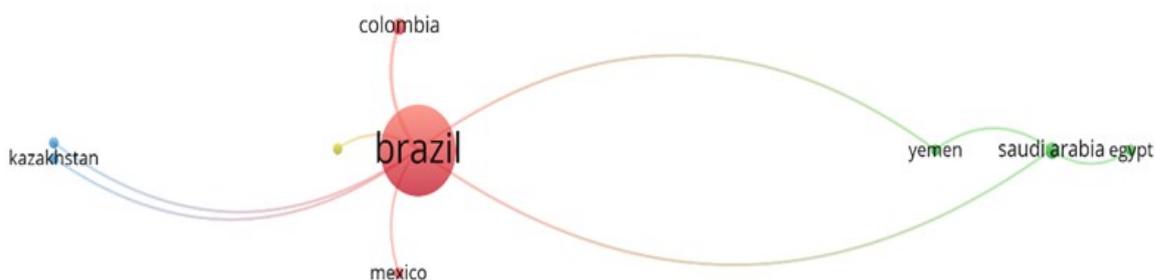
Fonte: Própria (2025)

Os documentos mais antigos (Azul) foram de maior número de citações, publicações mais recentes (Amarelos e Verdes) representam menores citações, mas alguns se mostraram com potencial para se tornarem influentes, como Almeida (2022) e de Aguiar (2024).

### **Análise Bibliométrica de Coautoria de países**

Dos 11 países avaliados, 9 possuem correlações entre eles como mostra a Figura 06, na escolha da limitação, o mínimo foi de 1 documento e 0 número de citação por países. A classificação por cluster demonstra a representação e a relação de coautoria entre países através das cores, totalizando 4 clusters. O cluster vermelho composto por Brasil, Colômbia e México, representa a forte interação entre países latino-americanos, o cluster azul representado por 2 países (Cazaquistão e Portugal), o cluster verde englobam Egito, Arábia Saudita e Iêmen, mostrando a diversidade de países, e o cluster amarelo com 1 país (Alemanha).

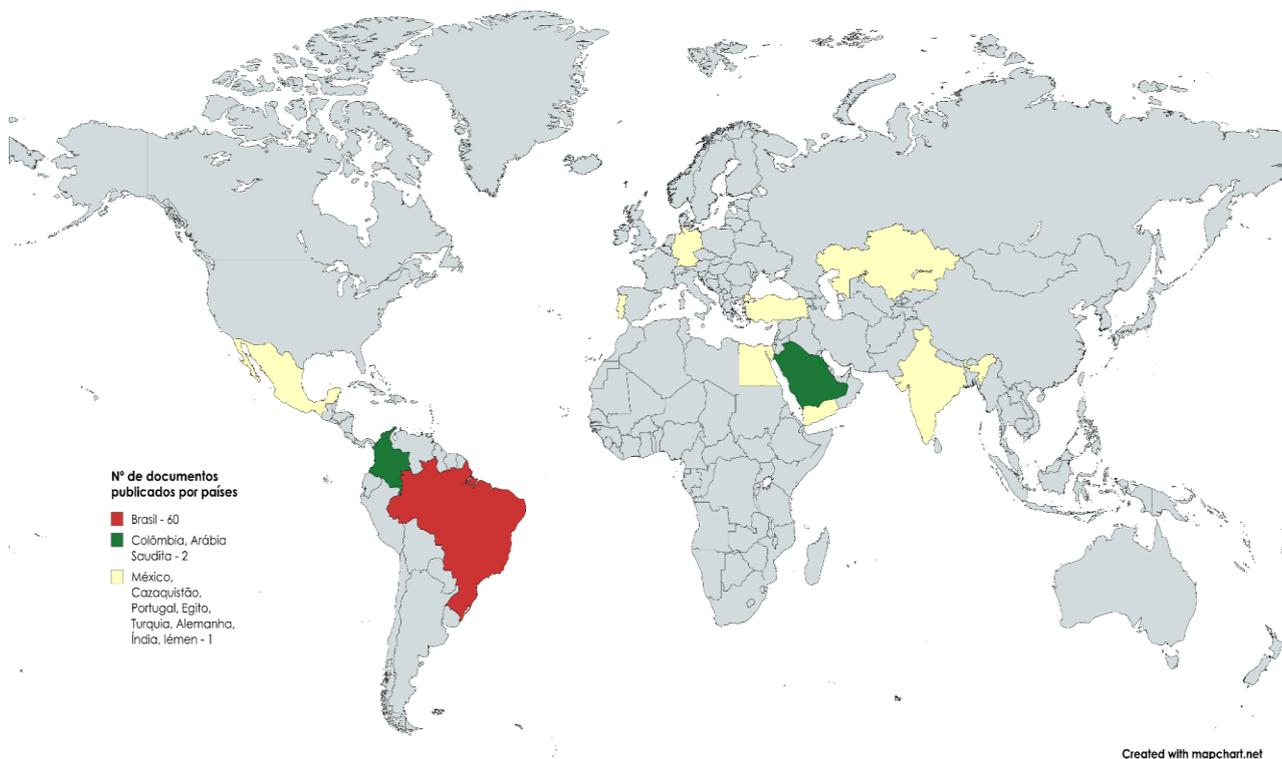
**Figura 06.** Rede bibliométrica de coautoria de países



**Fonte:** Própria (2025)

A Figura 07 apresenta a distribuição geográfica mundial de documentos publicados por países, destacados em diferentes cores de acordo com a quantidade de publicações. O Brasil se destaca como ponto central de interação entre esses países, com maior número de publicações (60) e com mais citações (1099), sendo representado pela cor vermelha.

**Figura 07.** Distribuição geográfica mundial de documentos publicados por países.



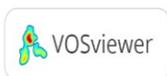
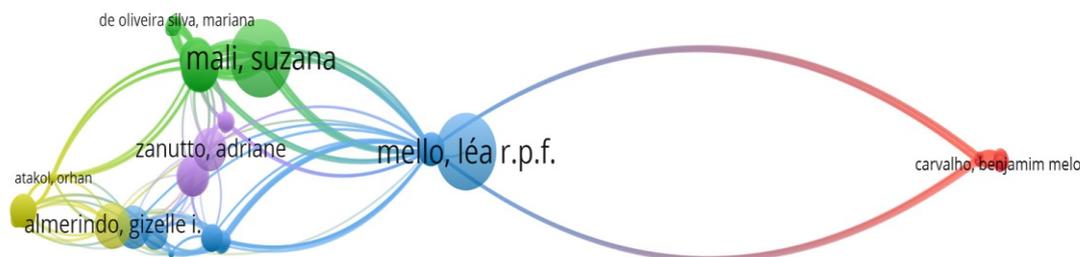
**Fonte:** Própria (2025)

O protagonismo do Brasil na temática abordada revela o quanto o país tem desempenhado um papel importante no tratamento de resíduos das indústrias de cervejaria, com a transformação do subproduto (bagaço de malte e outros) em alimentação animal, compostagem, produção de biogás, compostos bioativos e produtos de limpeza. Em seguida, aparecem Colômbia e Arábia Saudita com duas publicações cada, representadas pela cor verde. Já os países com apenas uma publicação cada estão destacados em amarelo e incluem uma diversidade geográfica mais ampla: México, Cazaquistão, Portugal, Egito, Turquia, Alemanha, Índia e Iêmen.

### **Análise Bibliométrica de citação dos autores**

A rede bibliográfica de citação de autores mostra que dos 327 autores inicialmente mapeados, 270 atenderam ao critério de terem no mínimo de um documento com uma citação, mas dentre estes, 82 estão conectados entre si, conforme pode ser observado na Figura 08.

**Figura 08.** Rede bibliométrica de citação de autores



**Fonte:** Própria (2025)

A visualização da rede revelou a existência de clusters distintos, demonstrando grupos de autores que compartilham um padrão de citação mais intenso entre eles. Os autores que tiveram mais citações estão delimitados por círculos maiores, como “Mali, Suzana” com 133 citações. Outro com grande destaque por ocupar uma posição central na rede, é “Mello, Léa r.p.f”, sendo citado 130 vezes, funcionando como elo entre diversos outros autores e grupos.

A Tabela 02 reúne os dez autores mais citados, considerando a quantidade total de citações e o número de documentos. Além disso, foi observado que há uma concentração significativa de autores nas instituições do sul do Brasil, com destaque para a Universidade de Caxias do Sul (UCS) representando metade da lista com cinco autores.

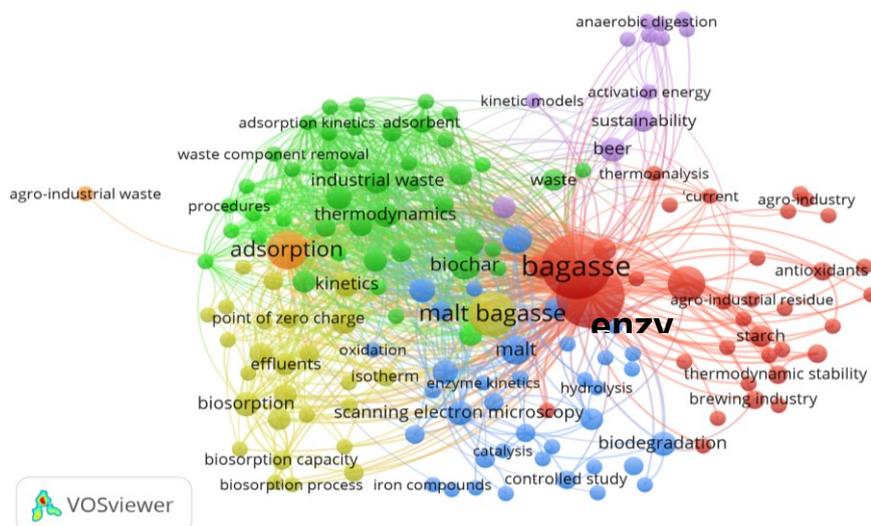
**Tabela 02.** Lista dos autores mais citados.**Fonte:** Própria (2025)

Autor	Nº de Documentos	Nº de Citações	Instituição
Collazzo, Gabriela C.	3	256	Universidade Federal de Santa Maria
Dotto, Guilherme L.	3	256	Universidade Federal de Santa Maria
Godinho, Marcelo	3	256	Universidade de Caxias do Sul
Perondi, Daniele	3	256	Universidade de Caxias do Sul
Foletto, Edson L.	1	151	Universidade de Caxias do Sul
Franciski, Mauro A.	1	151	Universidade de Caxias do Sul
Peres, Enrique C.	1	151	Universidade de Caxias do Sul
Mali, Suzana	2	133	Universidade Estadual de Londrina
Mello, Léa R.P.F.	2	130	Universidade Estadual de Londrina
Lenzi, Giane G.	2	128	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

### Análise Bibliométrica de co-ocorrência de palavras-chaves

Na análise de 772 palavras-chave, 160 selecionadas possuem conexões entre si, com uma limitação de no mínimo duas ocorrências. A Figura 09 representa a co-ocorrência das palavras-chave, resultando na formação de oito clusters.

Figura 09. Rede Bibliométrica de palavras-chave.



Fonte: Própria (2025)

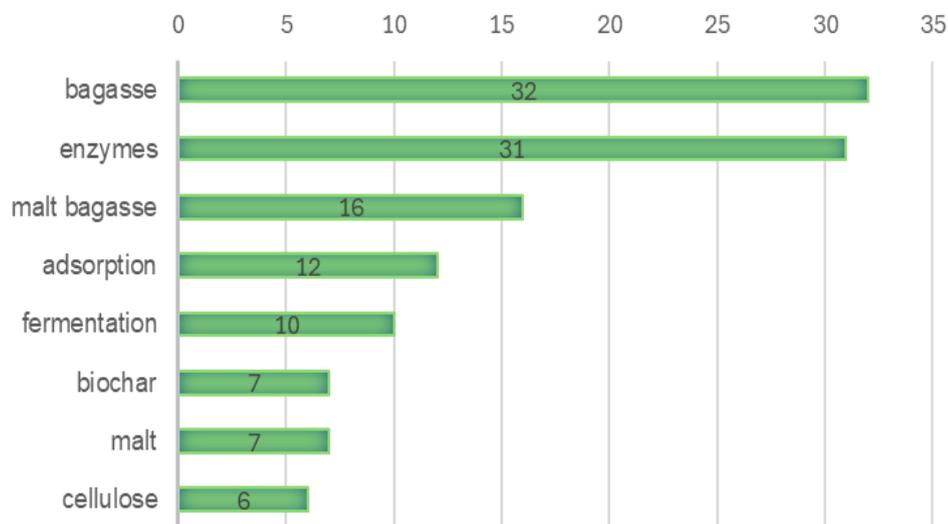
O mapa permite identificar os setores de pesquisa e sua aplicação em cada grupo. Além disso, o tamanho dos círculos destaca a frequência com que as palavras-chave foram mencionadas.

O cluster vermelho corresponde à parte da biotecnologia industrial, que aplica o uso de enzimas na conversão em biomassa, e na indústria de biocombustíveis, na utilização da fermentação de resíduos lignocelulósicos para etanol. O cluster verde está ligado no uso de adsorventes para remoção de contaminantes de águas residuais e o desenvolvimento desse material em biochar e carvões ativados, estudo realizado pela química ambiental e a engenharia química.

O cluster azul combina a parte da engenharia química e bioprocessos industriais, que aplica o estudo de enzimas para degradação da matéria orgânica. O cluster amarelo reflete a área da engenharia ambiental, por desenvolver tecnologias de biossorção para tratamento de efluentes. O cluster lilás condiz com a bioenergia, por usar digestão anaeróbia para geração de energia renovável.

A Figura 10 revela as tendências temáticas mais recorrentes nas publicações relacionadas. O termo "*bagasse*" lidera com 32 ocorrências, seguido de perto por "*enzymes*" (31 ocorrências), indicando uma forte ênfase em estudos relacionados ao aproveitamento de bagaço, possivelmente como resíduo agroindustrial, e seu processamento biotecnológico.

**Figura 10.** Relação da co-ocorrência das palavras-chave.



**Fonte:** Própria (2025)

Em terceiro lugar está "*malt bagasse*" com 16 ocorrências, reforçando a relevância do subproduto da indústria cervejeira como objeto de estudo, tanto em processos de reaproveitamento quanto de valorização. Termos como "*adsorption*" (12) e "*fermentation*" (10) também aparecem com destaque, sugerindo abordagens que envolvem processos físico-químicos e biológicos para o tratamento ou transformação desses materiais lignocelulósicos. Palavras como "*biochar*", "*malt*", e

"cellulose", com ocorrências entre 6 e 7, indicam uma frequência menor, mas ainda assim significativa, e refletem tópicos complementares dentro da temática da valorização de resíduos orgânicos e biomassa.

## CONCLUSÃO

Neste estudo bibliométrico, foi possível concluir que o bagaço de malte se apresenta como um resíduo agroindustrial com elevado potencial de valorização, especialmente na produção de celulases por meio da fermentação fúngica. O aumento das publicações a partir de 2013 reflete na preocupação em resolver os problemas que a indústria cervejeira pode gerar a partir de um descarte incorreto do bagaço de malte. Com análise científica sobre o tema, o Brasil se destaca como líder em publicações e citações, reforçando a relevância nacional na pesquisa voltada à biotecnologia e ao reaproveitamento de resíduos.

Além disso, o uso de ferramentas como VOSviewer e Excel® permitiu uma visualização clara das redes de coautoria e co-ocorrência de palavras-chave, revelando estudos, autores e instituições de destaque. Os artigos mais citados enfatizam no processo que o bagaço de malte pode gerar, como tratamento de efluentes, produção de espumas biodegradáveis e bioadsorventes. Diante disso, a utilização do bagaço de malte como substrato para a produção de celulases fúngicas representa uma solução ecologicamente correta, passando a ser uma oportunidade estratégica, que alinha com as diretrizes da economia circular e a preocupação por tecnologias limpas e eficientes.

## REFERÊNCIAS

ALHAZMI, H.; LOY, A. C. M. A review on environmental assessment of conversion of agriculture waste to bio-energy via different thermochemical routes: Current and future trends. **Bioresource Technology Reports**, v. 14, p. 100682, jun. 2021.

ALLEGRETTI, C. *et al.* Towards a Complete Exploitation of Brewers' Spent Grain from a Circular Economy Perspective. **Fermentation**, v. 8, n. 4, p. 151, 2022.

BARREIRA, I. B. F.. **Cervejaria industrial versus artesanal: um estudo de caso sobre o gerenciamento da água e resíduos de acordo com a P+L. 2022.** 72 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2022.

BROWN, L. M. et al. Ethanol Production from Renewable Lignocellulosic Biomass. In: LOVE, J.; BRYANT, J. A. **Biofuels and Bioenergy**. Chichester: Wiley Blackwell, 2017. p. 89–104. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781118350553.ch5>.

CORREA, C. R. et al. Pyrolysis vs. hydrothermal carbonization: Understanding the effect of biomass structural components and inorganic compounds on the char properties. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 140, 2019, p. 137–147.

DAVISON, B. H. et al. Plant cell walls: basics of structure, chemistry, accessibility and the influence on conversion. In: Wyman, C. E. (Ed.) **Aqueous Pretreatment of Plant Biomass for Biological and Chemical Conversion to Fuels and Chemicals**, p. 23–38, 2013.

FIGUEIREDO, G. S. **Análise de impactos ambientais ocasionados por resíduos de malte oriundos de uma cervejaria: um estudo de campo em uma empresa localizada no norte do Brasil**. 2023.

GUERI, M. V. D. et al. Pré-tratamentos de resíduos lignocelulósicos visando ao aumento da geração de metano nos processos de digestão anaeróbia: uma revisão. **Revista GEAMA**, p. 13–27, 2021.

KHAN, T. A. et al. Hydrothermal carbonization of lignocellulosic biomass for carbon rich material preparation. A review. **Biomass and Bioenergy**, v. 130, p. 105384, 2019.

LIU, Z. et al. Hydrochar and pyrochar for sorption of pollutants in wastewater and exhaust gas: a critical review. **Environmental Pollution**, v. 268, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115910>.

MARCHESE, L.; KÜHL, K. I. P.; SILVA, J. C. G.; MUMBACH, G. D.; ALVES, R. F.; ALVES, J. L. F.; DI DOMENICO, M. Exploring bioenergy prospects from malt bagasse: Insights through pyrolysis with multi-component kinetic analysis and thermodynamic parameter estimation. **Renewable Energy**, v. 226, p. 120453, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.120453>

MASSARDI, M. M.; MASSINI, R. M. M.; SILVA, D. J. Caracterização química do bagaço de malte e avaliação do seu potencial para obtenção de produtos de valor agregado. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, Viçosa/MG, v. 6, n. 1, p. 83–91, 2020. DOI: 10.18540/jcecvl6iss1pp0083-0091. ISSN 2527-1075.

MELLO, V. **Determinação da composição do bagaço do malte de cevada e estudo de suas aplicações potenciais**. 82 f. Monografia (Graduação em Engenharia Química) - Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2014.

MELO, A. E. S. S.; JESUS, L. F. F. S.; CAVALCANTI, L. A. P. Aproveitamento do bagaço de malte da produção cervejeira como matéria prima para biocombustíveis. **Revista Foco**, Salvador, v. 17, n. 1, p. 1-19, 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.54751/revistafoco.v17n1-119>.

MUSSATTO, S. I. et al. Brewers' spent grain: generation, characteristics and potential applications. **Journal of Cereal Science**, v. 43, n. 1, p. 1–14, 2006.

NETA, V. R. A. M. **Produção de biossurfactante por Rhodotorula mucilaginosa em hidrolisado hemicelulósico do bagaço de malte**. 2021.

OHRA-AHO T.; NIEMI P.; AURA AM. ORLANDI M.; POUTANEN K.; BUCHERT J. TAMMINENT. Estrutura da lignina do bagaço de Brewer e suas interações com a microbiota intestinal in vitro. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, p. 812 -820, 2016.

PINHEIRO, T. et al. Intensifying ethanol production from brewer's spent grain waste: use of whole slurry at high solid loadings. **New Biotechnology**, v. 53, p. 1–8, 2019.

PULIGUNDLA, P.; MOK, C. Avanços recentes na valorização biotecnológica de resíduos de cervejarias. **Food Sci Biotechnol** , v. 30, p. 341–353 (2021). <https://doi.org/10.1007/s10068-021-00900-4>

SILVA, A. A. dos S. et al. Biochar de resíduo de malte: Rumo a uma economia circular para remoção sustentável de fluoroquinolonas em sistemas aquosos. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 183, p. 106707, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2024.106707>.

SILVA, A. A. S.; BOUSADA, G. M.; MAZZINI, L. F. M.; GUEZGUAN, S. M.; FREITAS, C. P. M.; MONTEIRO, K. A.; RENATO, N. S.; MOREIRA, R. P. L.. Biochar de resíduo de malte: rumo a uma economia circular para remoção sustentável de fluoroquinolonas em sistemas aquosos. **Revista de Pirólise Analítica e Aplicada**, v. 183, p. 106707, out. 2024.

VERONEZE, M. L. **Avaliação da produção de biogás a partir de água residuária de cervejaria**. 2019. 85 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia em Energia na Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2019.